



Aus dem Institut für Natursport und Ökologie  
Deutsche Sporthochschule Köln  
Geschäftsführender Leiter: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Ralf-Dieter Roth  
Stellv. Institutsleiter: Prof. Dr. Helmut Lötzerich

# **Einsatz sportartspezifischer Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern**

Von der Deutschen Sporthochschule Köln  
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Sportwissenschaft

genehmigte Dissertation

vorgelegt von  
Jerry Medernach

aus  
Luxemburg

Köln 2014

Erster Referent: Prof. Dr. Helmut Lötzerich

Zweiter Referent: Prof. Dr. Wolfgang Kemmler

Vorsitzender des Promotionsausschusses: Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Bloch

Datum der Disputation: 20.05.2015

### **Eidesstattliche Versicherungen gem. § 7 Abs. 2 Nr. 4 und 5**

Hierdurch versichere ich: Ich habe diese Arbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen und technischen Hilfen angefertigt; sie hat noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden.

Hierdurch erkläre ich, dass ich die „Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis“ der Deutschen Sporthochschule Köln eingehalten habe.

Köln, den 18.12.2014

  
\_\_\_\_\_  
Jerry Medernach

## Danksagung

Während der Erarbeitung der vorliegenden Arbeit haben mich viele Personen begleitet und unterstützt. Daher möchte ich diese Stelle der Arbeit zum Anlass nehmen, den Menschen zu danken, die für das Zustandekommen dieser Arbeit einen erheblichen Beitrag geleistet haben.

Allen voran gilt mein größter Dank meinen beiden Betreuern Prof. Dr. Helmut Lötzerich und Dr. Heinz Kleinöder. Ich bin ihnen für die Unterstützung und das Vertrauen in das selbstständige Arbeiten unendlich dankbar.

Ein besonderer Dank gilt Edwin Jakob für die langjährige Unterstützung und die zahlreichen Verbesserungsvorschläge. Weiterhin möchte ich mich bei Prof. Dr. Klaus Baum und bei Dr. Helge Knigge bedanken, die mir mit Rat zur Seite standen.

Für die materielle Unterstützung bedanke ich mich bei Sirko Stenz der Firma JM Climbing, bei Pamela Busch der Firma Sigma-Elektro, bei Katrin Schmidt der Firma Power Plate und bei Prof. Dr. Jens Kleinert aus dem Psychologischen Institut. Weiterhin gilt mein besonderer Dank Stefan Rybarczyk der Firma T-Wall, der Kletterlegende Ben Moon, dem Erfinder des Moonboards, und Matthias Keller vom Deutschen Alpenverein für die Dreherlaubnis während dem Boulder-Weltcup 2013 in München.

Für die Hilfe bei der Datenauswertung bedanke ich mich ganz herzlich bei Dr. Zengyuan Yue und bei David Loosen. Für das Korrekturlesen möchte ich meiner Schwester Simone Medernach und meinem Freund Christian André danken.

Besonders danken möchte ich allen Probanden, die sich mit gewissenhaftem Einsatz und großem Engagement für die Datenaufnahme zur Verfügung gestellt haben. Überdies bedanke ich mich für die Unterstützung und das Vertrauen in diese Arbeit bei meiner Freundin Sally Weimerskirch und bei meinen Freunden Romain Houtsch und Gilbert Kohl.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, Jacqueline Levy und Roger Medernach, die immer zu mir hielten und ohne deren Unterstützung diese Arbeit wohl nie zustande gekommen wäre.

Für meinen verstorbenen Taufpaten Dr. Dr.-Ing. Prosper Schroeder

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Abbildungsverzeichnis .....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XII
Sachverzeichnis.....	XVI
Résumé.....	XVII
Abstract .....	XVIII
Kurzreferat.....	XIX
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Wettkampfbouldern.....	1
1.2 Problemstellung .....	2
1.3 Zielsetzung und Fragestellungen .....	4
1.4 Gang der Arbeit .....	5
<b>2 Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>8</b>
2.1 Das Anforderungsprofil im Klettersport .....	8
2.2 Die MAF im Wettkampfbouldern.....	13
2.3 Die KAS im Wettkampfbouldern .....	16
2.4 Die LOM im Wettkampfbouldern.....	17
<b>3 Gegenwärtiger Forschungsstand .....</b>	<b>21</b>
3.1 Entwicklung des Klettersports .....	21
3.2 Forschungsstand der MAF .....	24
3.3 Forschungsstand der KAS .....	29
3.4 Forschungsstand der LOM .....	29
3.5 Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM .....	43
3.6 Trainingsmethoden zur Steigerung der MAF, KAS und LOM.....	48
3.6.1 Bouldern.....	48
3.6.2 Intervall Bouldern .....	49
3.6.3 Moonboard .....	50
3.6.4 Hangboard.....	51
3.6.5 Vibrationsboard.....	52
3.7 Exkurs: CK im Bouldersport .....	59
3.8 Zusammenfassung.....	64
<b>4 Empirische Untersuchung .....</b>	<b>65</b>
4.1 Hypothesen.....	65
4.2 Untersuchungsgut .....	68

4.3	Untersuchungsgang.....	72
4.3.1	Gruppenbildung.....	72
4.3.2	Pre- und Posttest .....	74
4.3.2.1	Körpereigenschaften und WKV (Schritt 1 und 2) .....	78
4.3.2.2	Aufwärmen (Schritt 3) .....	79
4.3.2.3	Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Schritt 4).....	79
4.3.2.4	Laktat- und Herzfrequenzmessung (Schritt 5) .....	80
4.3.2.5	Dynamometer (Schritt 6) .....	81
4.3.2.6	MZW (Schritt 7) .....	82
4.3.2.7	Dead Hang-Test (Schritt 8-10).....	83
4.3.2.8	Klimmzüge (Schritt 11).....	86
4.3.2.9	Bent-Arm Hängetest (Schritt 12-16).....	87
4.3.2.10	Intermittent Hängetest (Schritt 17).....	88
4.3.2.11	Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung (Schritt 18).....	89
4.3.2.12	Tabata-Protokoll (Schritt 19).....	89
4.3.3	Trainingsinhalte .....	90
4.4	Apparaturbesprechung.....	93
4.5	Statistische Verfahren .....	98
5	Untersuchungsergebnisse .....	102
5.1	Reliabilitätsanalyse der Testverfahren .....	102
5.2	Korrelationsanalyse der Testverfahren .....	105
5.3	Zusammenfassung der Testergebnisse .....	112
5.4	Vorher-Nachher Vergleiche .....	117
5.4.1	Laktat (LAC) und Herzfrequenz (HF) (Schritt 5).....	118
5.4.2	Dynamometer (Schritt 6) .....	120
5.4.3	Maximale Zusatzlast für eine Wiederholung (Schritt 7) .....	121
5.4.4	Dead Hang-Test (Schritt 8-10) .....	122
5.4.5	Klimmzüge (Schritt 11).....	124
5.4.6	Bent-Arm Hängetest (Schritt 12-16).....	125
5.4.7	Intermittent Hängetest (Schritt 17) .....	127
5.4.8	Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung (Schritt 18).....	128
5.4.9	Tabata-Protokoll (Schritt 19).....	130
5.4.10	Körpergewicht .....	132
5.4.11	Wahrgenommene körperliche Verfassung.....	133
5.4.12	Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit.....	135
5.5	Gruppenvergleiche .....	137
5.5.1	Überprüfung der Einflussvariablen.....	137
5.5.1.1	Leistungsniveau .....	138
5.5.1.2	Körpergewicht .....	138
5.5.1.3	Wahrgenommene körperliche Verfassung.....	139
5.5.1.4	Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit .....	140

5.5.2	Gruppenvergleiche der MAF <sub>isoliert</sub> .....	141
5.5.3	Gruppenvergleiche der MAF <sub>funktional</sub> .....	142
5.5.4	Gruppenvergleiche der KAS .....	144
5.5.5	Gruppenvergleiche beim MZW-Test .....	149
5.5.6	Gruppenvergleiche der LOM.....	150
6	Diskussion .....	155
6.1	Überprüfung der Hypothesen.....	156
6.2	Methodendiskussion .....	158
6.3	Ergebnisdiskussion .....	169
7	Hinweise für die Trainingspraxis und Ausblick .....	187
7.1	Hinweise für die Trainingspraxis .....	187
7.2	Ausblick.....	192
8	Zusammenfassung .....	194
9	Literaturverzeichnis.....	196
10	Anhang.....	208
11	Lebenslauf.....	238

## Abkürzungsverzeichnis

BAT	Bent-Arm Hängetest
BL	Bouldern
Bzw.	Beziehungsweise
CI	Konfidenzintervall
CK	Kreatinkinase, Creatin-Kinase
DH	Dead Hang Test
EBG	Ellenbogengelenk
E.g.	Exempli gratia
Fb	Fontainebleau Bewertungsskala zur Bestimmung der Boulderleistungsfähigkeit
HB	Hangboard
HF	Herzfrequenz
Hz	Frequenz in Herz
IB	Intervall Bouldern
i.d.R.	In der Regel
ICC	Intra-Class Correlation
IFSC	International Federation of Sport Climbing
IHT	Intermittent Hängetest
KAS	Kraftfähigkeit der Armbeuger im Ellenbogengelenk und der Muskeln des Schultergürtels
kg	Kilogramm
KIA	Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung
KT	Krafttraining
KZ	Klimmzüge
LAC	Laktat
LOM	Lokale Muskelausdauer der Fingerflexoren
MAF	Maximalkraft der Fingermuskulatur
MB	Moonboard
min	Minuten
MVC	Maximum voluntary contraction
MZW	Maximale Zusatzlast für eine Wiederholung
<i>n</i>	Zahl der Beobachtungen, Stichprobenumfang
OS	Onsight Kletterleistungsfähigkeit
RM	Repetition maximum
RP	Rotpunkt Kletterleistungsfähigkeit
RPE	Rating of perceived exertion
S.	Seite
s	Sekunden
s	Standardabweichung
TE	Trainingseinheit
u.a.	Unter anderem
UpM	Umdrehungen pro Minute
v.a.	Vor allem
VB	Vibrationsboard
Vgl.	Vergleiche
VO <sub>2max</sub>	Maximale Sauerstoffaufnahme
VT	Vibrationstraining
Wdh.	Wiederholung
WKV	Wahrgenommene körperliche Verfassung
$\bar{x}$	Mittelwert

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1.</b> Qualifikationsrunde der Frauen während dem Boulder Welt-Cup 2013 in München. Der gelbe Tapestreifen dient zur Markierung der Startgriffe / -tritte und des Schlussgriffs. Der rosa Tapestreifen dient zur Markierung des Bonusgriffs. ....	1
<b>Abbildung 2.</b> Anteil der Kletterer und Boulderer (in Prozent) nach Pieber et al. [131]. ....	3
<b>Abbildung 3.</b> Aufbau und Struktur der Arbeit. Zur Erklärung der Abkürzungen wird auf das Abkürzungsverzeichnis auf S. VI verwiesen. ....	7
<b>Abbildung 4.</b> Leistungsfähigkeit, Training und Wettkampf als Gegenstandsbereiche der Trainingswissenschaft, modifiziert nach Hohmann, Lames und Letzelter [78]. ....	9
<b>Abbildung 5.</b> Darstellung der strukturellen und konsumptiven Ressourcen im Klettersport [100, S. 3]. ....	10
<b>Abbildung 6.</b> Darstellung der relevanten Komponenten der Kletterleistungsfähigkeit, modifiziert nach Neumann [122]. ....	11
<b>Abbildung 7.</b> Strukturierung der Kletterleistungsfähigkeit, modifiziert nach MacLeod [110]. ....	12
<b>Abbildung 8.</b> Anforderungsprofil im Klettersport, modifiziert nach Magiera et al. [112]. ....	12
<b>Abbildung 9.</b> Leistengriff (links) mit Beugung (90° und mehr) des proximalen und Überstreckung des distalen Interphalangealgelenks und Slopergriff (rechts) mit leichter Beugung im proximalen und einer Beugung (50-70°) im distalen Interphalangealgelenk. ....	15
<b>Abbildung 10.</b> Bedeutung der Kraftfähigkeit der Armbeuger und der Muskeln des Schultergürtels (KAS) für die Aufwärtsbewegung und das Blockieren der Klettergriffe [82, S. 165]. ....	17
<b>Abbildung 11.</b> Zusammenhang zwischen der relativen MAF zum Körpergewicht und der RP Kletterleistungsfähigkeit, modifiziert nach Balás et al. [10]. ....	25

---

<b>Abbildung 12.</b> Die MAF im Bouldern, modifiziert nach Macdonald und Callender [108].	25
<b>Abbildung 13.</b> Abbildung aus der Studie von Fanchini et al. [54, S. 311] mit Darstellung der relativen MAF am Leistengriff <i>Crimp</i> (voll aufgestellt) und <i>Open Crimp</i> (halbgestellt ohne Daumen). Boulderer (BC) hatten eine signifikant höhere Maximalkraft am <i>Crimp</i> -Griff ( $p = .005$ ) und <i>Open Crimp</i> -Griff ( $p = .015$ ) als Sportkletterer (LC) und Nicht-Kletterer (NC).	26
<b>Abbildung 14.</b> Die Qualifikationsrunde im Wettkampfbouldern nach dem Reglement der IFSC (B = Boulder und R = Ruhephase).	32
<b>Abbildung 15.</b> Systemwand zur Durchführung der Wettkampfsimulation.	34
<b>Abbildung 16.</b> Wettkampfsimulation an der Systemwand.	36
<b>Abbildung 17.</b> RPE-, Herzfrequenz- und Laktatergebnisse der Wettkampfsimulation.	37
<b>Abbildung 18.</b> Laktatbefunde im Sportklettern (Indoor & Outdoor).	38
<b>Abbildung 19.</b> Laktatwerte im Sportklettern post 6a-Kletterroute, modifiziert nach Bertuzzi et al. [16].	39
<b>Abbildung 20.</b> Herzfrequenzwerte im Sportklettern, modifiziert nach Mermier et al. [117].	41
<b>Abbildung 21.</b> Herzfrequenzwerte im Sportklettern, modifiziert nach Bertuzzi et al. [16].	42
<b>Abbildung 22.</b> Modifizierter Hand-Dynamometer aus der Studie von Macdonald und Callender [108].	44
<b>Abbildung 23:</b> Zusammenhang zwischen den Haltezeiten und der RP Kletterleistungsfähigkeit (französische Bewertungsskala), modifiziert nach Balás et al. [10].	46
<b>Abbildung 24.</b> Der BAT an der Klimmzugstange.	46
<b>Abbildung 25.</b> Bouldern zur Steigerung der MAF und KAS (Katharina Saurwein, Boulder Welt-Cup 2013 in München).	49
<b>Abbildung 26.</b> Ben Moon, der Erfinder des Moonboards (Quelle: <a href="http://www.flow-climbing.com">www.flow-climbing.com</a> , 02.11.2014, 11:06).	50

<b>Abbildung 27.</b> Das Training am Hangboard, Hörst [82], S. 166. ....	51
<b>Abbildung 28.</b> CK und $WKV_{Aktiviertheit}$ nach dem Boulder-Wettkampf, der Bouldereinheit und der Trainingseinheit am Vibrationsboard.....	61
<b>Abbildung 29.</b> Die fünf Trainingsgruppen der Studie.....	73
<b>Abbildung 30.</b> Untersuchungsverlauf der Studie. ....	75
<b>Abbildung 31.</b> Zeitlicher Ablauf der Pre- und Posttests zur Datenerhebung. ....	76
<b>Abbildung 32.</b> Hand-Dynamometrie zur Bestimmung der $MAF_{isoliert}$ .....	81
<b>Abbildung 33.</b> Bestimmung der MZW im Post- und Posttest.....	83
<b>Abbildung 34.</b> Dead Hang-Test am Leistengriff. ....	84
<b>Abbildung 35.</b> Dead Hang-Test am Slopergriff.....	85
<b>Abbildung 36.</b> Dead Hang-Test am Zangengriff. Die optische Markierung diente zur Gewährleistung des standardisierten Greifens. ....	85
<b>Abbildung 37.</b> Klimmzugstange zur Bestimmung der Klimmzüge (die roten Pfeile markieren die Greifstelle und die weißen Striche die äußere Begrenzung). ....	86
<b>Abbildung 38.</b> Griffbrett mit einstellbarer Grifftiefe für den Bent-Arm Hängetest am Leistengriff mit 7,5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm und 30 mm Grifftiefe.....	87
<b>Abbildung 39.</b> Der IHT am Hangboard Alien vom Hersteller Freestone (FR). ....	88
<b>Abbildung 40.</b> Definition von Training mit Anwendung auf die vorliegende Studie, modifiziert nach Hohmann, Lames und Letzelter [78]. ....	90
<b>Abbildung 41.</b> Skizze des Vibrationsboards (integrierte Power Plate Classic zur Generierung der Vibrationsstimuli) mit dem Transgression Hangboard (gelb) und einem Campusboard mit 19 mm tiefen Campusleisten vom Hersteller Metolius (USA). ....	97
<b>Abbildung 42.</b> Test-Retest Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse. ....	105
<b>Abbildung 43.</b> Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und der Zusatzlast beim Dead Hang-Test am Leistengriff.....	107
<b>Abbildung 44.</b> Zusammenhang zwischen dem Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim $BAT_{15mm}$ . ....	110

<b>Abbildung 45.</b> Steigerung der Haltezeiten nach vierwöchiger Trainingsintervention für die Testverfahren (a) Dead Hang <sub>Leiste</sub> , (b) Dead Hang <sub>Sloper</sub> , (c) Dead Hang <sub>Zange</sub> , (d) Bent-Arm <sub>7,5mm</sub> und (e) Bent-Arm <sub>10mm</sub> .....	113
<b>Abbildung 46.</b> Steigerung der Haltezeiten beim BAT <sub>15mm</sub> , BAT <sub>20mm</sub> und BAT <sub>30mm</sub> , sowie der Anzahl an Klimmzügen und der Wiederholungszahl beim Tabata-Protokoll nach vierwöchiger Untersuchungsdauer.....	114
<b>Abbildung 47.</b> Testergebnisse (in Prozent) der MAF, der KAS und der LOM nach vierwöchiger Trainingsphase. Zur Erklärung der Abkürzungen wird auf das Abkürzungsverzeichnis auf S. VI verwiesen. ....	118
<b>Abbildung 48.</b> Steigerung der Dynamometerwerte nach vierwöchiger Trainingsphase. ....	142
<b>Abbildung 49.</b> Steigerung des MAF <sub>funktional</sub> -Scores nach vierwöchiger Trainingsphase. ....	144
<b>Abbildung 50.</b> Steigerung des BAT <sub>15mm</sub> , BAT <sub>20mm</sub> und BAT <sub>30mm</sub> nach vierwöchiger Trainingsphase. ....	148
<b>Abbildung 51.</b> Steigerung der Klimmzüge und des Tabata-Protokolls nach vierwöchiger Trainingsphase. ....	148
<b>Abbildung 52.</b> Steigerung der Klimmzüge beim MZW-Test nach vierwöchiger Trainingsdauer.....	150
<b>Abbildung 53.</b> Steigerung der KIA nach vierwöchiger Trainingsphase. ....	153
<b>Abbildung 54.</b> Veränderung der IHT nach vierwöchiger Trainingsphase.....	153
<b>Abbildung 55.</b> Veränderung der Laktatwerte nach vierwöchiger Trainingsphase. ....	154
<b>Abbildung 56.</b> Veränderung der Herzfrequenz nach vierwöchiger Trainingsphase. ....	154
<b>Abbildung 57.</b> Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und der Zusatzlast beim Dead Hang Test am Slopergriff. ....	224
<b>Abbildung 58.</b> Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und der Zusatzlast beim Dead Hang Test am Zangengriff.....	224
<b>Abbildung 59.</b> Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und den Haltezeiten beim BAT <sub>7,5mm</sub> .....	225

<b>Abbildung 60.</b> Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und den Haltezeiten beim BAT <sub>10mm</sub> .....	225
<b>Abbildung 61.</b> Zusammenhang zwischen dem Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim BAT <sub>20mm</sub> .....	226
<b>Abbildung 62.</b> Zusammenhang zwischen dem Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim BAT <sub>30mm</sub> .....	226
<b>Abbildung 63.</b> Zusammenhang zwischen der KIA und dem IHT.....	227

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1.</b> Körpergewicht, Körpergröße und BMI im Bouldern (B; graue Markierung) und Sportklettern (S). .....	28
<b>Tabelle 2.</b> Ergebnisse (a) der Pilotstudie beim Boulder Welt-Cup in München, der Studie von (b) White und Olsen [171] und (c) der Studie von La Torre et al. [103] ( $x \pm s$ ). .....	31
<b>Tabelle 3.</b> Pilotstudie zur Überprüfung der CK-Werte ( $x \pm s$ ). .....	60
<b>Tabelle 4.</b> Personen-, Körper- und Klettereigenschaften der Gesamtstichprobe ( $x \pm s$ ) .....	68
<b>Tabelle 5.</b> Tabelle zur Einstufung der Kletter- und Boulderleistungsfähigkeit, modifiziert nach Brent et al. [25] und Draper et al. [45]. Rot markiert ist die durchschnittliche Leistungsfähigkeit der Gesamtstichprobe. ....	71
<b>Tabelle 6.</b> Personen-, Körper- und Klettereigenschaften der fünf Stichproben ( $x \pm s$ ). .....	72
<b>Tabelle 7.</b> Testverfahren zur Datenerhebung. Zur Erklärung der Abkürzungen wird auf das Abkürzungsverzeichnis auf S. VI verwiesen. ....	74
<b>Tabelle 8.</b> Skala für subjektives Anstrengungsempfinden, modifiziert nach Köstermeyer [100]. .....	79
<b>Tabelle 9.</b> Apparatur im Überblick. ....	93
<b>Tabelle 10.</b> Darstellung der statistischen Signifikanz nach Bühl [26] und Hoffmann & Orthmann [77]. .....	98
<b>Tabelle 11.</b> Personen-, Körper- und Klettereigenschaften der Stichprobe ( $n = 10$ ) aus der Reliabilitätsanalyse ( $x \pm s$ ). .....	102
<b>Tabelle 12.</b> Prüfung auf Normalverteilung der Raumtemperatur, der Luftfeuchtigkeit und der WKV. ....	103
<b>Tabelle 13.</b> Die t-Tests der Raumtemperatur, der Luftfeuchtigkeit und der WKV. ....	103
<b>Tabelle 14.</b> Reliabilitätsanalyse der Testverfahren zur Bestimmung der MAF, KAS und LOM. ....	104

<b>Tabelle 15.</b> Ergebnisse der Korrelationsanalyse der Testverfahren zur Bestimmung der MAF. ....	108
<b>Tabelle 16.</b> Korrelationsanalyse der Testverfahren zur Bestimmung der KAS. ....	109
<b>Tabelle 17.</b> Ergebnisse (in Prozent) der Leistungstests nach vierwöchiger Trainingsphase für die Stichproben BL ( $n = 12$ ), IB ( $n = 12$ ), MB ( $n = 11$ ), HB ( $n = 11$ ) und VB ( $n = 11$ ). Zur Erklärung der Abkürzungen wird auf das Abkürzungsverzeichnis auf S. VI verwiesen. ....	117
<b>Tabelle 18.</b> Laktat- und Herzfrequenzwerte aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	118
<b>Tabelle 19.</b> Prüfung auf Normalverteilung der Variablen Laktat und Herzfrequenz. ....	119
<b>Tabelle 20.</b> Dynamometerwerte aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	120
<b>Tabelle 21.</b> MZW Ergebnisse aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	121
<b>Tabelle 22.</b> Ergebnisse der Dead Hang-Tests am Leisten-, Sloper- und Zangengriff aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	122
<b>Tabelle 23.</b> Prüfung auf Normalverteilung der Variablen $DH_{\text{Leiste}}$ , $DH_{\text{Sloper}}$ und $DH_{\text{Zange}}$ . ....	123
<b>Tabelle 24.</b> Anzahl der Klimmzüge aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	124
<b>Tabelle 25.</b> Bent-Arm Hängetests aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	125
<b>Tabelle 26.</b> Prüfung auf Normalverteilung der BAT-Tests. ....	126
<b>Tabelle 27.</b> IHT Ergebnisse aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	127
<b>Tabelle 28.</b> Ergebnisse der KIA aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	129
<b>Tabelle 29.</b> Ergebnisse des Tabata-Protokolls aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	130
<b>Tabelle 30.</b> Vorher-Nachher Ergebnisse (in Prozent) der Variablen Körpergewicht, $WKV_{\text{Aktiviertheit}}$ , $WKV_{\text{Gesundheit}}$ , $WKV_{\text{Trainiertheit}}$ , Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit. ....	131
<b>Tabelle 31.</b> Körpergewicht aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	132
<b>Tabelle 32.</b> Ergebnisse der $WKV_{\text{Aktiviertheit}}$ , $WKV_{\text{Gesundheit}}$ und $WKV_{\text{Trainiertheit}}$ aus dem Pre- und Posttest ( $x \pm s$ ). ....	133
<b>Tabelle 33.</b> Prüfung auf Normalverteilung der Variablen $WKV_{\text{Aktiviertheit}}$ , $WKV_{\text{Gesundheit}}$ und $WKV_{\text{Trainiertheit}}$ . ....	133

<b>Tabelle 34.</b> Ergebnisse der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).....	135
<b>Tabelle 35.</b> Prüfung auf Normalverteilung der Variablen Temperatur und Luftfeuchtigkeit. ....	135
<b>Tabelle 36.</b> Ergebnisse der Einflussvariablen.....	137
<b>Tabelle 37.</b> Ergebnisse des Post-Hoc-Tests nach Bonferroni für die Variablen BAT <sub>15mm</sub> , BAT <sub>20mm</sub> , BAT <sub>30mm</sub> , Klimmzüge und Tabata-Protokoll.....	147
<b>Tabelle 38.</b> Ergebnisse des Post-Hoc-Tests nach Bonferroni für die Variablen IHT, KIA und LAC. ....	152
<b>Tabelle 39.</b> Wirkungsweise, Einsatzbereich und Eigenschaften der fünf Trainingsmethoden. ....	191
<b>Tabelle 40.</b> Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Bouldern (BL).....	216
<b>Tabelle 41.</b> Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Intervall Bouldern (IB).....	217
<b>Tabelle 42.</b> Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Moonboard (MB).....	218
<b>Tabelle 43.</b> Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Hangboard (HB).....	219
<b>Tabelle 44.</b> Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Vibrationsboard (VB). ....	220
<b>Tabelle 45.</b> Trainingseinheit A (Montags) am Hangboard und Vibrationsboard. ....	221
<b>Tabelle 46.</b> Trainingseinheit B (Mittwochs) am Hangboard und Vibrationsboard. ....	222
<b>Tabelle 47.</b> Trainingseinheit C (Freitags) am Hangboard und Vibrationsboard. ....	223
<b>Tabelle 48.</b> Überprüfung der Nullhypothese H <sub>01</sub> . ....	228
<b>Tabelle 49.</b> Überprüfung der Nullhypothese H <sub>02</sub> . ....	229
<b>Tabelle 50.</b> Überprüfung der Nullhypothese H <sub>03</sub> . ....	230
<b>Tabelle 51.</b> Überprüfung der Nullhypothese H <sub>04</sub> . ....	231
<b>Tabelle 52.</b> Überprüfung der Nullhypothese H <sub>05</sub> . ....	232

<b>Tabelle 53.</b> Überprüfung der Nullhypothese $H_{06}$ .	233
<b>Tabelle 54.</b> Überprüfung der Nullhypothese $H_{07}$ .	234
<b>Tabelle 55.</b> Überprüfung der Nullhypothese $H_{08}$ .	235
<b>Tabelle 56.</b> Überprüfung der Nullhypothese $H_{09}$ .	236
<b>Tabelle 57.</b> Überprüfung der Nullhypothese $H_{010}$ .	237

## Sachverzeichnis

Absprunghöhe	Höhe beim Bouldern, aus der ohne Gefahr abgesprungen werden kann.
Begehungsstil	Art und Weise, wie ein Boulder bzw. eine Route geklettert wird.
Bleausards	Bezeichnung der Alpinisten, die seit den 1920er Jahren an den Felsblöcken in Fontainebleau bei Paris bouldern.
Blockieren	Griff mit angewinkelttem Arm beim Weitergreifen fixieren.
Bonusgriff	Markierter Griff zur Ergebnistrennung bei Boulderwettkämpfen.
Campusboard	Trainingsgerät mit Griffleisten für diverse Hangel- und Blockierübungen.
Campusleiste	Griffleiste (i.d.R. aus Holz) am Campusboard.
Chalk	Engl. für Magnesia zum Trocknen der Hände.
Crimp	Engl. für Leistengriff.
Isolation	Raum, von dem aus die Wettkampfboulder nicht sichtbar sind, um Wettkampfvorteile durch Beobachten der anderen Wettkämpfer auszuschließen.
Onsight	Begehung eines Boulders oder einer Kletterroute im ersten Versuch ohne vor oder während der Begehung Informationen hinsichtlich des Boulders bzw. der Route zu erhalten.
Problem	Synonym für Boulder, auch Boulderproblem.
Rotpunkt	Begehung einer Kletterroute im Vorstieg ohne Belastung der Sicherungskette, bei der mehr als ein Versuch benötigt wird und Informationen hinsichtlich des Boulders bzw. der Route erlaubt sind.
Schultergriff	Seitengriff, von dem aus der Körper „aus der Schulter“ nach oben / zur Seite hin fixiert wird.
Schwierigkeitsgrad	Zahlen (zum Teil in Kombination mit Buchstaben) zur Kennzeichnung der Schwierigkeit einer Route bzw. eines Boulders.
Sloper	Runder, abschüssiger Reibungsgriff (Aufleger).
Systemwand	Boulderwand mit spezieller Griffanordnung, um isolierte Kletterbewegungen mehrmals hintereinander durchzuführen.
Untergriff	Klettergriff, der am besten mit Zugrichtung nach oben gehalten wird.

## Résumé

L'objectif de l'étude était d'analyser les effets de l'escalade en bloc (BL), des séries de blocs (IB), du Moonboard (MB) et de la poutre en présence (VB) et en absence (HB) des stimulations de vibrations sur la force maximale des doigts (MAF), la force musculaire des fléchisseurs et de la ceinture scapulaire (KAS) et la résistance (LOM). 57 compétiteurs d'escalade en bloc ( $25,4 \pm 4,5$  ans,  $177,9 \pm 5,7$  cm,  $70,0 \pm 5,6$  kg,  $6,6 \pm 2,9$  années d'escalade, 7b Fb niveau) ont été répartis en groupes BL ( $n = 12$ ), IB ( $n = 12$ ), MB ( $n = 11$ ), HB ( $n = 11$ ) et VB ( $n = 11$ ). 12 séances d'entraînement à 150 min ont été réalisées pendant quatre semaines et les données ont été collectées par des pré- et posttests (120 min). La MAF a augmenté significativement ( $p < .001$ ) pour VB (+7,3%) et HB (+5,0%), mais pas pour BL (+2,6%), IB (+1,0%) et MB (+1,2%). Le Tabata-protocole et le nombre de tractions ont augmenté significativement ( $p < .001$ ) pour VB (+36,8% ; +38,4%) et HB (+32,4% ; +21,3%), mais pas pour BL (+14% ; +4,8%), IB (+10,2% ; +7,1%) et MB (-7,5% ; +3,8%). Le temps d'escalade jusqu'à l'épuisement a augmenté significativement ( $p < .001$ ) pour IB (+38,8%) et VB (+31,1%), mais pas pour BL (+6,6%), MB (+2,6%) et HB (+10%). Ces résultats mettent en évidence que VB et HB pourront être utilisés pour améliorer la MAF et la KAS, alors que la LOM pourra être augmentée par IB et VB.

**Mots clés :** escalade, bloc, poutre, vibration, force maximale, résistance

## Abstract

The aim of the study was to investigate the effects of bouldering (BL), interval bouldering (IB), training on the Moonboard (MB) and fingerboard in the presence (VB) and absence (HB) of vibration stimuli on maximum finger strength (MAF), the strength of the arm flexors and the shoulder girdle (KAS), and finger endurance (LOM). 57 highly advanced male boulderers ( $25.4 \pm 4.5$  y,  $177.9 \pm 5.7$  cm,  $70.0 \pm 5.6$  kg,  $6.6 \pm 2.9$  y climbing, 7b Fb ability level) were randomly allocated to BL ( $n = 12$ ), IB ( $n = 12$ ), MB ( $n = 11$ ), HB ( $n = 11$ ), and VB ( $n = 11$ ). Twelve training sessions of 150 min were completed over a 4-week regimen and pre- and posttests for data collection were of 120 min duration. After the four-week regimen, the MAF increased significantly ( $p < .001$ ) for VB (+7.3%) and HB (+5.0%), but not for BL (+2.6%), IB (+1.0%), and MB (+1.2%). The Tabata-Protocol and the number of pull-ups increased significantly ( $p < .001$ ) for VB (+36.8%; +38.4%) and HB (+32.4%; +21.3%), but not for BL (+14%; +4.8%), IB (+10.2%; +7.1%), and MB (-7.5%; +3.8%). A significant ( $p < .001$ ) increase was found for the climbing time to exhaustion in IB (+38.8%) and VB (+31.1%), but not for BL (+6.6%), MB (+2.6%), and HB (+10%). These results suggest that FB and HB are highly effective to increase the MAF and the KAS, whereas the LOM can best be increased by IB and VB.

**Key Words:** Climbing, bouldering, fingerboard, vibration, finger strength, finger endurance

## Kurzreferat

Zielsetzung der Studie ist die Untersuchung der Wirkungsweise von Bouldern (BL), Intervall Bouldern (IB), dem Training am Moonboard (MB), am Hangboard (HB) und am Vibrationsboard (VB) auf die Maximalkraft der Fingermuskulatur (MAF), die Kraftfähigkeit der Armbeuger und der Schultergürtelmuskulatur (KAS) und die lokale Muskelausdauer (LOM). 57 männliche Wettkampfboulderer ( $25,4 \pm 4,5$  Jahre,  $177,9 \pm 5,7$  cm,  $70,0 \pm 5,6$  kg,  $6,6 \pm 2,9$  Jahre Klettererfahrung, 7b Fb Leistungsniveau) wurden in die Trainingsgruppen BL ( $n = 12$ ), IB ( $n = 12$ ), MB ( $n = 11$ ), HB ( $n = 11$ ) und VB ( $n = 11$ ) aufgeteilt und absolvierten 12 Trainingseinheiten à 150 min innerhalb von vier Wochen. Die Datenerhebung erfolgte mithilfe von Pre- und Posttests (120 min). Für VB (+7,3%) und HB (+5,0%) konnte nach vierwöchiger Intervention eine signifikante ( $p < .001$ ) Steigerung der MAF beobachtet werden, aber nicht für BL (+2,6%), IB (+1,0%) und MB (+1,2%). Eine signifikante ( $p < .001$ ) Zunahme der Anzahl an Wiederholungen beim Tabata-Protokoll und der Klimmzüge wurde für VB (+36,8%; +38,4%) und HB (+32,4%; +21,3%) festgestellt, aber nicht für BL (+14%; +4,8%), IB (+10,2%; +7,1%) und MB (-7,5%; +3,8%). Für die Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung konnte eine signifikante ( $p < .001$ ) Zunahme für IB (+38,8%) und VB (+31,1%) beobachtet werden, aber nicht für BL (+6,6%), MB (+2,6%) und HB (+10%). Diese Ergebnisse zeigen, dass die MAF und die KAS innerhalb einer vierwöchigen Trainingsphase durch HB und VB und die LOM durch IB und VB gesteigert werden können.

**Schlüsselwörter:** Klettern, Bouldern, Hangboard, Vibration, Maximalkraft, Kraftausdauer

---

*„Bouldern ist das Beste! Punkt. Ich bin getaucht, Wildwasser gepaddelt. Geflogen. Bin auf jeden Extremsporttrend aufgesprungen. Gebungeed. Geinlined. Gesnow-, geskate-, gesurfboarded. Nichts schlägt Bouldern! [...] Die Königsdisziplin.“*

Udo Neumann in Lizenz zum Bouldern (2010, 12)

# 1 Einleitung

## 1.1 Wettkampfbouldern

Wettkampfbouldern (*Boulder* - engl.: Felsblock) ist eine eigenständige Disziplin des Sportkletterns und beschreibt das seilfreie Klettern in Absprunghöhe an künstlichen Kletterwänden mit Fallschutzmatten zur Minimierung des Verletzungsrisikos [4,54,72,90,103,108,123,171]. Auf internationaler Ebene unterliegen Boulderwettkämpfe dem Reglement der *International Federation of Sport Climbing* (IFSC) und bestehen i.d.R. aus einer Qualifikationsrunde mit einem Satz von fünf Bouldern, sowie einem Halbfinale und einem Finale mit jeweils vier Bouldern [4,72,108]. Auf nationaler und regionaler Ebene gibt es auch alternative Wettkampfformate mit unterschiedlichem Reglement. Die Bewertung nach jeder Wettkampfrunde erfolgt anhand der Anzahl der erfolgreich durchgestiegenen Bouldern, sowie der Anzahl der Versuche, welche für den Durchstieg der Boulder benötigt werden [4,54,72,103]. Überdies dient ein Bonusgriff (vgl. Abbildung 1) zur weiteren Ergebnistrennung [4].



**Abbildung 1.** Qualifikationsrunde der Frauen während dem Boulder Welt-Cup 2013 in München. Der gelbe Tape-Streifen dient zur Markierung der Startgriffe / -tritte und des Schlussgriffs. Der rosa Tape-Streifen dient zur Markierung des Bonusgriffs.

Die Qualifikation und das Halbfinale werden im Intervallmodus durchgeführt, bei dem die Athleten<sup>1</sup> jeden Boulder innerhalb einer vorbestimmten Reihenfolge und einem festgelegten Zeitintervall (Rotationszeit) klettern müssen [4,72,103]. Die Kletterzeit pro Boulder beträgt in der Qualifikation und im Halbfinale jeweils fünf Minuten, wobei die Anzahl der Versuche, die ein Athlet pro Boulder durchführen darf, nicht vorgegeben wird und ausschließlich durch die Kletterzeit begrenzt wird [4,72,103,108,171]. Zwischen den einzelnen Bouldern haben alle Wettkämpfer eine gleichlange Ruhezeit, welche der Rotationszeit (5 min) entspricht [4,72,103].

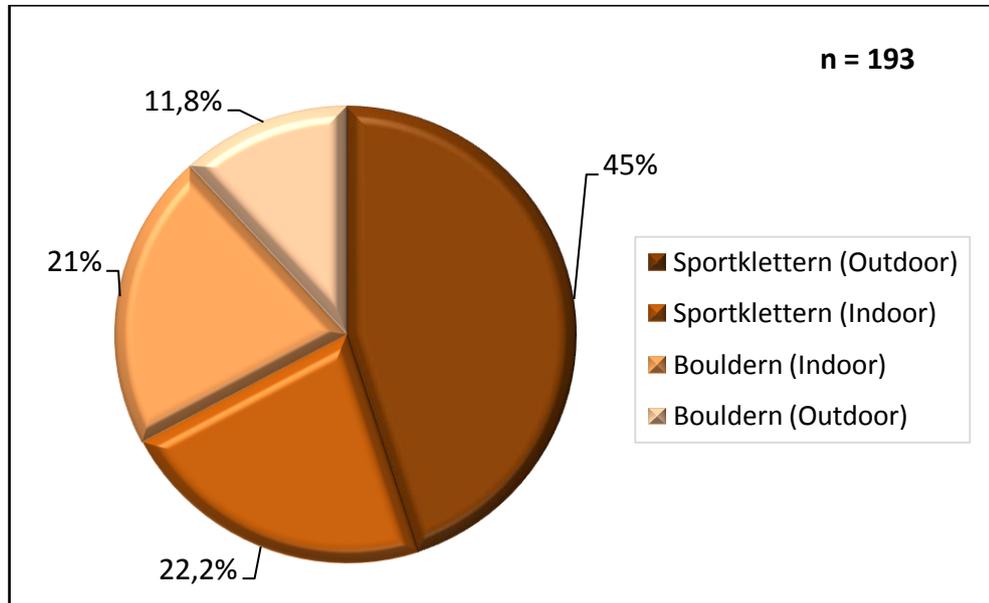
## 1.2 Problemstellung

Der Ursprung des Boulderns als Trainingsmethode zur Vorbereitung alpiner Bergtouren reicht zurück bis zu Oskar Eckstein im Lake District (GB) und den *Bleausards* in Fontainebleau (FR) gegen Ende des 19. Jahrhunderts [82]. Erst ein halbes Jahrhundert später beginnt John Gill in den 1950er Jahren als erster Kletterer systematisch für das Bouldern zu trainieren und legte somit als *father of modern bouldering* den Grundstein für den heutigen Bouldersport [82]. Ab den 1980er Jahren spielt überwiegend die Entstehung künstlicher Kletter- und Boulderanlagen für die zunehmende Popularisierung des Klettersports (vgl. Abbildung 2) eine entscheidende Rolle [14,60,82,91,93,129,142,153]. Moderne Indooranlagen ermöglichen (a) reproduzierbare und wetterunabhängige Trainingsbedingungen bei maximalen Sicherheitsstandards, (b) eine breite Zugänglichkeit zum Boulder- und Klettersport und folglich auch (c) eine Reduzierung des Einstiegsalters mit frühzeitiger Förderung junger Talente [11,27,41,60,91,129,142,168]. Heute gehen ca. elf Prozent der Mitglieder

---

<sup>1</sup> Zu Gunsten der Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit ausschließlich die männliche Form verwendet. In jedem Fall ist auch die entsprechende weibliche Person gemeint.

des Deutschen Alpenvereins (ca. 100.000) regelmäßig bouldern und deutschlandweit gibt es schätzungsweise 500.000 aktive Boulderer [14,93].



**Abbildung 2.** Anteil der Kletterer und Boulderer (in Prozent) nach Pieber et al. [131].

Die zunehmende Popularität und die verbesserten infrastrukturellen Gegebenheiten haben dazu beigetragen, dass sich das Sportklettern und das Bouldern an künstlichen Kletterwänden als eigenständige, wettkampforientierte Disziplinen etablieren konnten [5,6,16,23,25,41,43,46,51,54,60,82,90,91,108,117,124,129,150,152,153,165,166,171]. Infolgedessen lässt sich im Bouldersport eine enorme Zunahme der Wettkämpfe auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene beobachten [14,108]. Die *Hard Moves* beispielsweise gelten mit über 4.500 Teilnehmern im Jahre 2013 als größtes Boulderevent der Welt<sup>2</sup>.

Mit steigender Leistungsfokussierung und wachsender Leistungsdichte [105,124,129,148,171] gewinnt im modernen Wettkampfbouldern zur Maximierung der individuellen Leistungsfähigkeit die Trainingsplanung und -gestaltung zunehmend

---

<sup>2</sup> Quelle: <http://www.klettern.de/news/wettkampf-halle/hard-moves-2013-sensationelles-superfinale-in-der-schwimmoper.747544.5.htm> [Zugriff: 05.05.2014, 17:10].

an Bedeutung. Infolgedessen ist auch der Einsatz sportartspezifischer Trainingsmethoden und -geräte für Leistungssteigerungen im Bouldern eine *conditio sine qua non*. Allerdings entzieht sich die Mehrzahl der Trainingsmethoden und eingesetzten Trainingsgeräte, denen im Internet und in der Fachliteratur einen eminenten Stellenwert postuliert wird, seit über einem halben Jahrhundert einer fundierten, wissenschaftlichen Grundlage [1,25,27,44,47,63,82,108,110,142,165]. Infolgedessen ist die Trainingswirksamkeit vieler angewandter Trainingsmethoden bislang ungeklärt, sodass zahlreiche Athleten nach wie vor nach der „*Self-Coaching*“-Methode trainieren und die Trainingsgestaltung ad libitum nach dem „*Trial-And-Error*“-Prinzip erfolgt [27,44,47,63,82,91,108,110]. Trotz der zunehmenden Popularität, Professionalität und Leistungsorientierung, besteht im Kletter- und Bouldersport ein Defizit an Forschungsarbeiten, in denen die Wirkungsweise sportartspezifischer Trainingsmethoden und -geräte überprüft werden [1,25,47,91,104,110,116,153,165].

### **1.3 Zielsetzung und Fragestellungen**

Diese Studie verfolgt somit die Zielsetzung, sportartspezifische Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern auf ihre Wirkungsweise zu untersuchen. Im Mittelpunkt dieser Forschungsarbeit steht die Steigerung (a) der Maximalkraft der Fingermuskulatur (MAF), (b) der Kraftfähigkeit der Armbeuger und der Muskeln des Schultergürtels (KAS) und (c) der lokalen Muskelausdauer der Fingermuskulatur (LOM), welche im Wettkampfbouldern als leistungsbestimmende Einflussgrößen gelten [54,90,103,108,171]. Es soll versucht werden, nachfolgende Forschungsfragen zu beantworten:

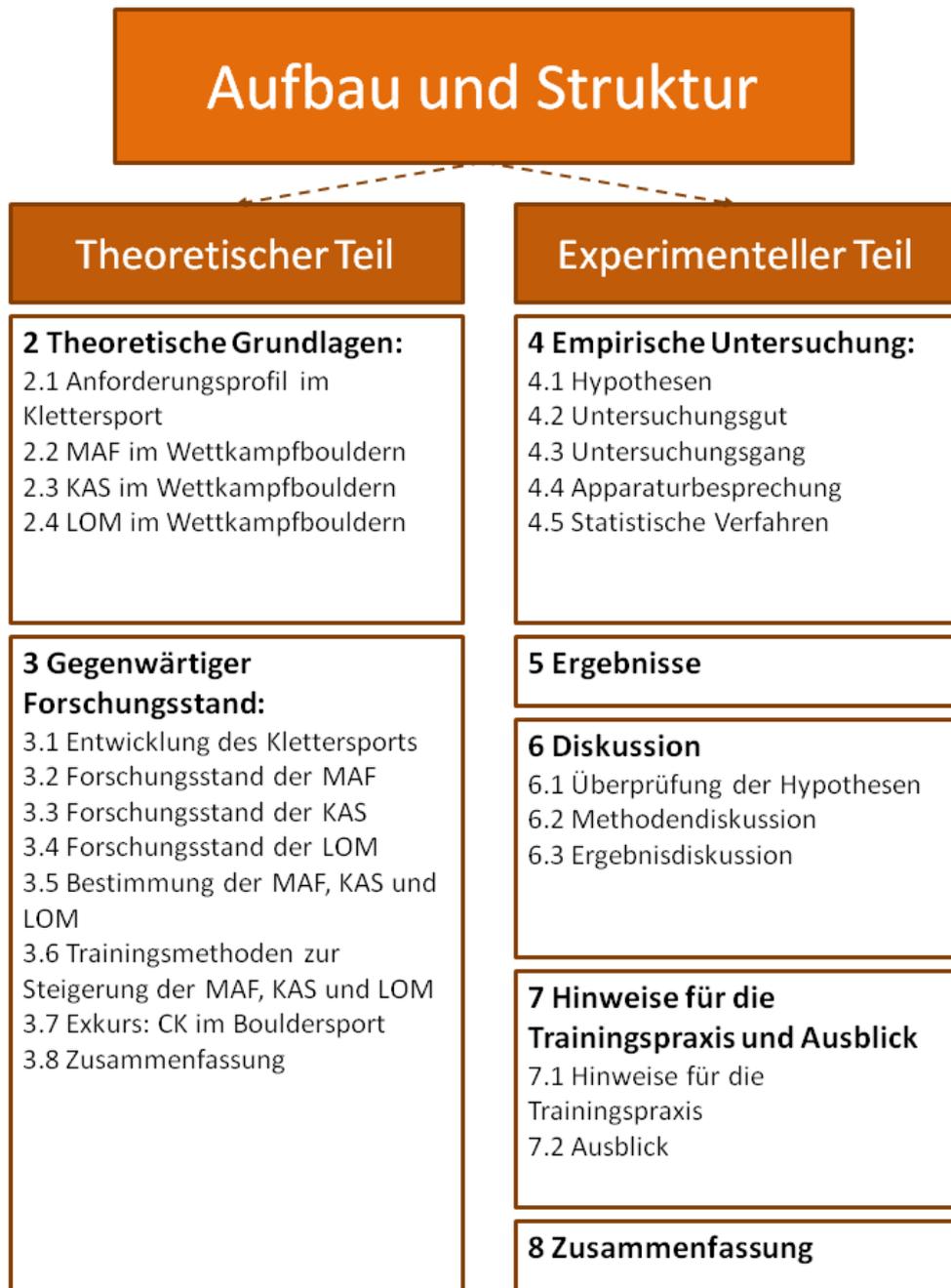
- Welche Trainingseffekte lassen sich durch (a) Bouldern, (b) Intervall Bouldern, (c) das Training am Moonboard, (d) am Hangboard und (e) am Vibrationsboard auf die boulderspezifische MAF, KAS und LOM erzielen?
- Führt das Training am Hangboard und Vibrationsboard im Vergleich zu (a) Bouldern, (b) Intervall Bouldern und (c) dem Training am Moonboard zu einer höheren Zunahme der MAF, der KAS und der LOM?
- Kann durch das Training am Vibrationsboard im Vergleich zum Training am Hangboard ohne Vibration eine höhere Steigerung der MAF, der KAS und der LOM erzielt werden?
- Führt Intervall Bouldern im Vergleich zu (a) Bouldern, (b) dem Training am Moonboard, (c) am Hangboard und (d) am Vibrationsboard zu einer höheren Zunahme der sportartspezifischen LOM?
- Und lassen sich durch das Training am Moonboard im Vergleich zum konventionellen Bouldern höhere Trainingseffekte in Bezug auf die MAF und die KAS erzielen?

## 1.4 Gang der Arbeit

Diese Studie gliedert sich in einen theoretischen und in einen experimentellen Teil. In Kapitel 2 (2 Theoretische Grundlagen) wird das Anforderungsprofil im Wettkampfbouldern (2.1 Anforderungsprofil im Wettkampfbouldern) mit besonderem Fokus auf die MAF (2.2 Die MAF im Wettkampfbouldern), die KAS (2.3 Die KAS im Wettkampfbouldern) und die LOM (2.4 Die LOM im Wettkampfbouldern) dargestellt. In Kapitel 3 (3 Gegenwärtiger Forschungsstand) wird zunächst die Entwicklung des Klettersports beschrieben (3.1 Entwicklung des Klettersports). Darauf aufbauend erfolgt die detaillierte Analyse des Forschungsstandes der MAF (3.2 Forschungsstand der MAF), der KAS (3.3

Forschungsstand der KAS) und der LOM (3.4 Forschungsstand der LOM). Danach werden die bisher angewandten Messmethoden zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM im Überblick dargestellt (3.5 Bestimmung der MAF, KAS und LOM), um anschließend, die im experimentellen Teil dieser Studie untersuchten Trainingsmethoden zu beschreiben (3.6 Trainingsmethoden zur Steigerung der MAF, KAS und LOM). Abschließend wird der Einsatz der Kreatinkinase-Bestimmung im Bouldersport untersucht (3.7 Exkurs: CK im Bouldersport) und zusammenfassend mit einem Überblick des Forschungsstandes abgeschlossen (3.8 Forschungsstand: Zusammenfassung und Ausblick).

Im experimentellen Teil der Studie (4 Empirische Untersuchung) erfolgt zunächst die Hypothesenbildung (4.1 Hypothesen). Anschließend wird das Untersuchungsgut (4.2 Untersuchungsgut), der Untersuchungsgang (4.3 Untersuchungsgang), die in der Studie eingesetzte Apparatur (4.4 Apparaturbesprechung) und die statistischen Verfahren (4.5 Statistische Verfahren) beschrieben. In Kapitel 5 erfolgt die Darstellung der Untersuchungsergebnisse (5 Untersuchungsergebnisse), welche in Kapitel 6 (6 Diskussion) diskutiert, hinterfragt und in den aktuellen wissenschaftlichen Zusammenhang gestellt werden. In Kapitel 7 werden zusammenfassend Hinweise für die Trainingspraxis (7.1 Hinweise für die Trainingspraxis) und der Ausblick auf zukünftige Forschungsbereiche dargestellt (7.2 Ausblick). Zum Schluss erfolgt in Kapitel 8 (8 Zusammenfassung) eine Zusammenfassung der gesamten Arbeit (vgl. Abbildung 3).



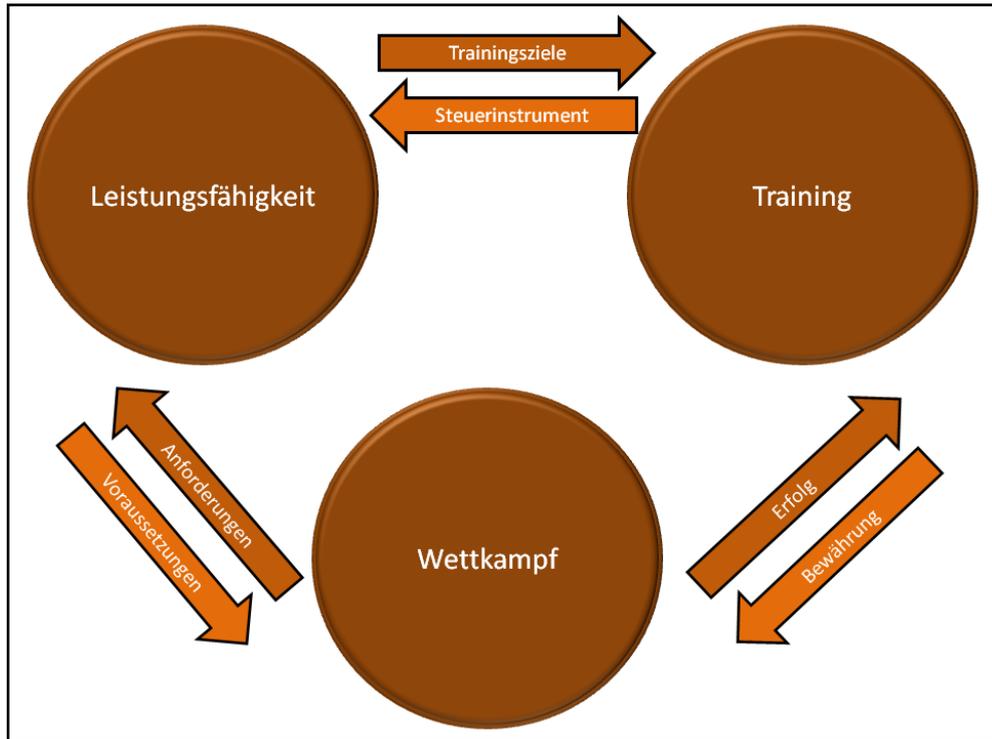
**Abbildung 3.** Aufbau und Struktur der Arbeit. Zur Erklärung der Abkürzungen wird auf das Abkürzungsverzeichnis auf S. VI verwiesen.

## 2 Theoretische Grundlagen

Bevor im empirischen Teil dieser Arbeit die Wirkungsweise sportartspezifischer Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern untersucht wird, erfolgt in diesem Kapitel der theoretischen Grundlagen zunächst die Analyse der übergeordneten Komponenten der Kletterleistungsfähigkeit (2.1 Das Anforderungsprofil im Klettersport). Darauf aufbauend wird anschließend der sportartspezifische Stellenwert der MAF (2.2 Die MAF im Wettkampfbouldern), der KAS (2.3 Die KAS im Wettkampfbouldern) und der LOM (2.4 Die LOM im Wettkampfbouldern) herausgearbeitet.

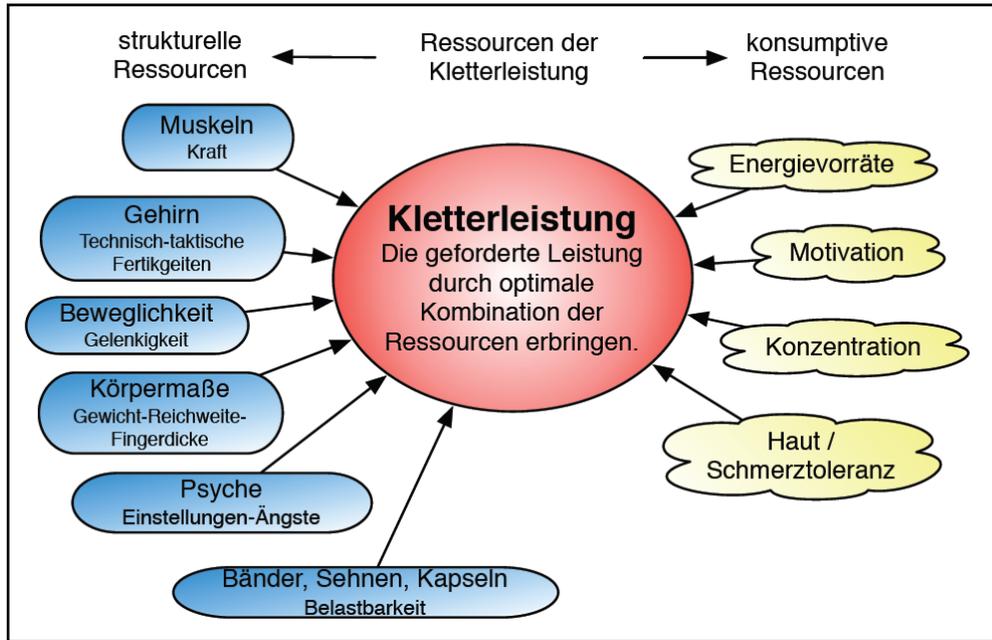
### 2.1 Das Anforderungsprofil im Klettersport

Nach Hohmann, Lames und Letzelter [78] können das Training, die Leistungsfähigkeit und der Wettkampf als Gegenstandsbereiche der Trainingswissenschaft betrachtet werden (vgl. Abbildung 4). Training gilt dabei mit (a) der Aufstellung von Trainingszielen, (b) dem Herausarbeiten von Trainingsinhalten, -plänen und -methoden und (c) der Trainingskontrolle und -auswertung als zentraler Gegenstand der Trainingswissenschaft [78]. Die Trainingsplanung und -durchführung werden im Wesentlichen von der Analyse der Leistungsstrukturen bestimmt, sodass die wissenschaftliche „*Fundierung von Training*“ und „*die begründete Spezifikation von Trainingszielen Wissen über die Leistungsstruktur im jeweiligen Anwendungsfeld*“ erfordern [78, S. 27].



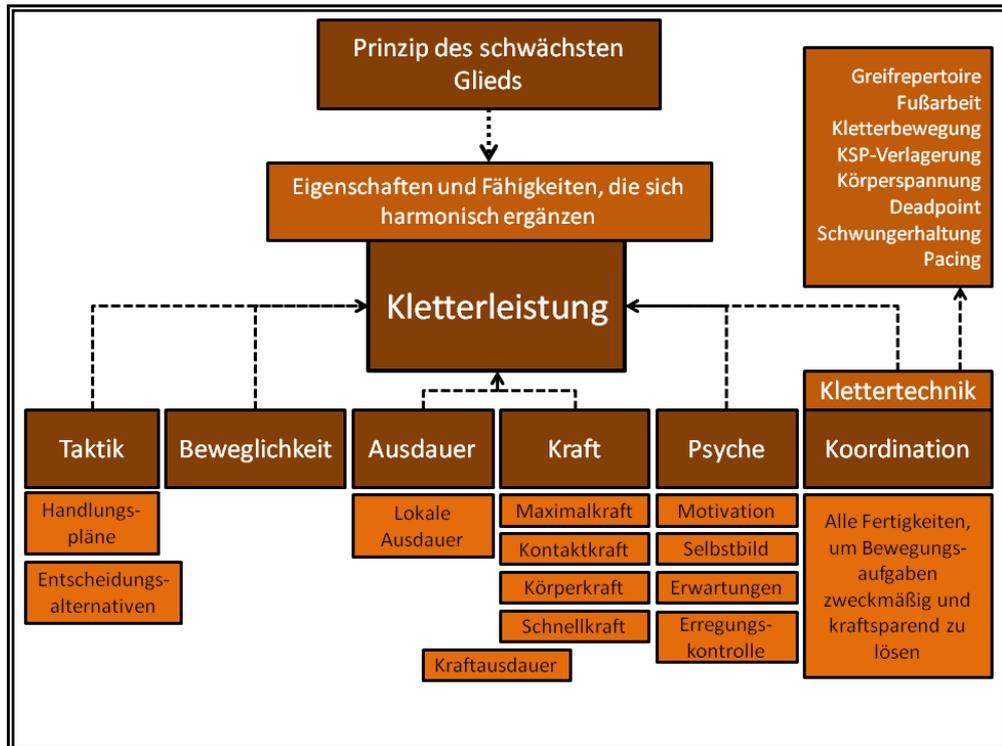
**Abbildung 4.** Leistungsfähigkeit, Training und Wettkampf als Gegenstandsbereiche der Trainingswissenschaft, modifiziert nach Hohmann, Lames und Letzelter [78].

Die Modellbildung zur Strukturierung der sportlichen Leistung dient der Komponentenanalyse der Leistungsfähigkeit und deren Gewichtung im Hinblick auf die Maximierung der Wettkampfleistung, um wissenschaftlich begründete Handlungsempfehlungen für das Training abzuleiten [78]. Köstermeyer [100] beschreibt für das Erbringen einer sportlichen Leistung im Klettersport die Kombination unterschiedlicher Ressourcen (vgl. Abbildung 5), welche als innere Potentiale zur Bewältigung verschiedener Aufgaben betrachtet werden können. Er unterscheidet dabei zwischen strukturellen, nur langfristig veränderbaren und konsumptiven, kurzfristig sich ändernden Ressourcen [100].



**Abbildung 5.** Darstellung der strukturellen und konsumptiven Ressourcen im Klettersport [100, S. 3].

Nach Neumann [122] besteht die Kletterleistung „aus einer Kette unterschiedlicher Eigenschaften und Fähigkeiten, die sich harmonisch ergänzen müssen“ [122, S. 15]. Zu den relevanten Komponenten zählt Neumann (a) die Taktik, (b) die Beweglichkeit, (c) die Ausdauer, (d) die Kraft, (e) die Psyche und (f) die Koordination (vgl. Abbildung 6). Die Leistung hängt dabei von dem kombinierten Einsatz einzelner Faktoren ab und wird durch die am wenigsten entwickelte Fähigkeit (Prinzip des schwächsten Glieds) limitiert [122].



**Abbildung 6.** Darstellung der relevanten Komponenten der Kletterleistungsfähigkeit, modifiziert nach Neumann [122].

Nach MacLeod [110] wird die Kletterleistungsfähigkeit primär durch die Komponenten (a) Klettertechnik (*movement technique*), (b) Fingerkraft (*finger strength*), (c) Fingerausdauer (*finger endurance*) und (d) Körpergewicht (*body mass*) bestimmt. Überdies ergänzt MacLeod [110], dass neben diesen „big four“ (a) die persönliche Einstellung (*attitude*), (b) der persönliche Lebensstil (*lifestyle*), (c) die individuellen Gegebenheiten (*circumstances*) und (d) taktische Maßnahmen (*tactics*) als wesentliche Einflussfaktoren auf die Kletterleistungsfähigkeit gelten. Sämtliche Komponenten stehen dabei in Wechselwirkung und beeinflussen sich somit gegenseitig. Magiera et al. [112] untersuchten bei 30 erfahrenen Sportkletterern (8a RP) das Anforderungsprofil im Sportklettern und beobachteten, dass 96% der RP und OS Kletterleistungsfähigkeit auf (a) physiologische und anthropometrische Variablen (38%), (b) die Koordination und Technik (33%) und (c) mentale und taktische Maßnahmen (25%) zurückzuführen sind (vgl. Abbildung 8).

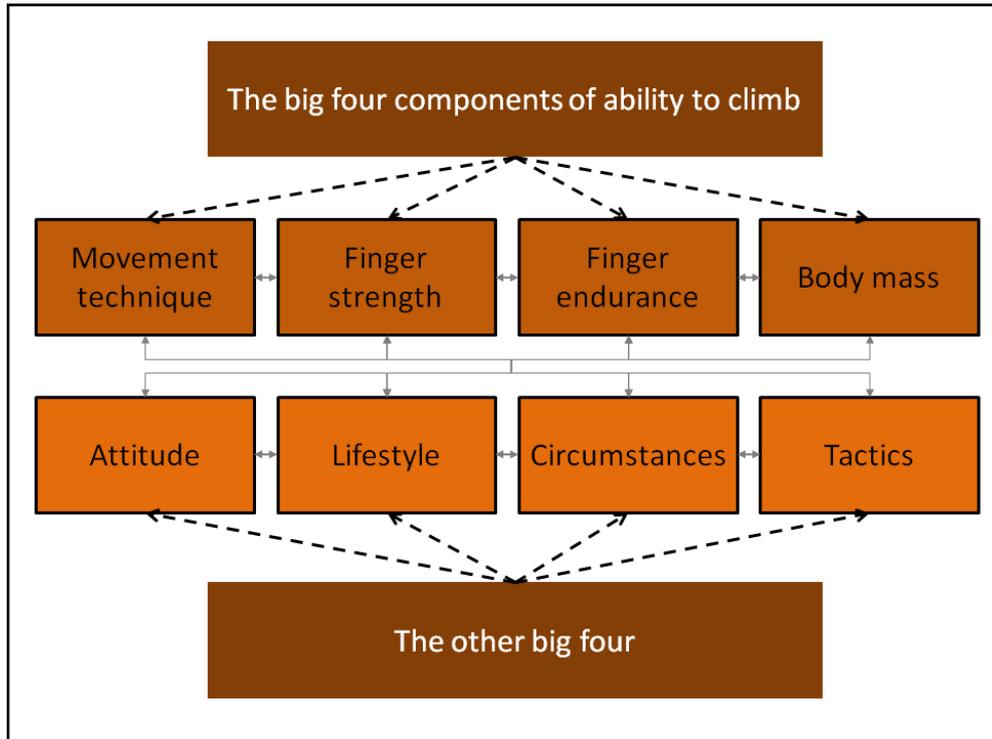


Abbildung 7. Strukturierung der Kletterleistungsfähigkeit, modifiziert nach MacLeod [110].

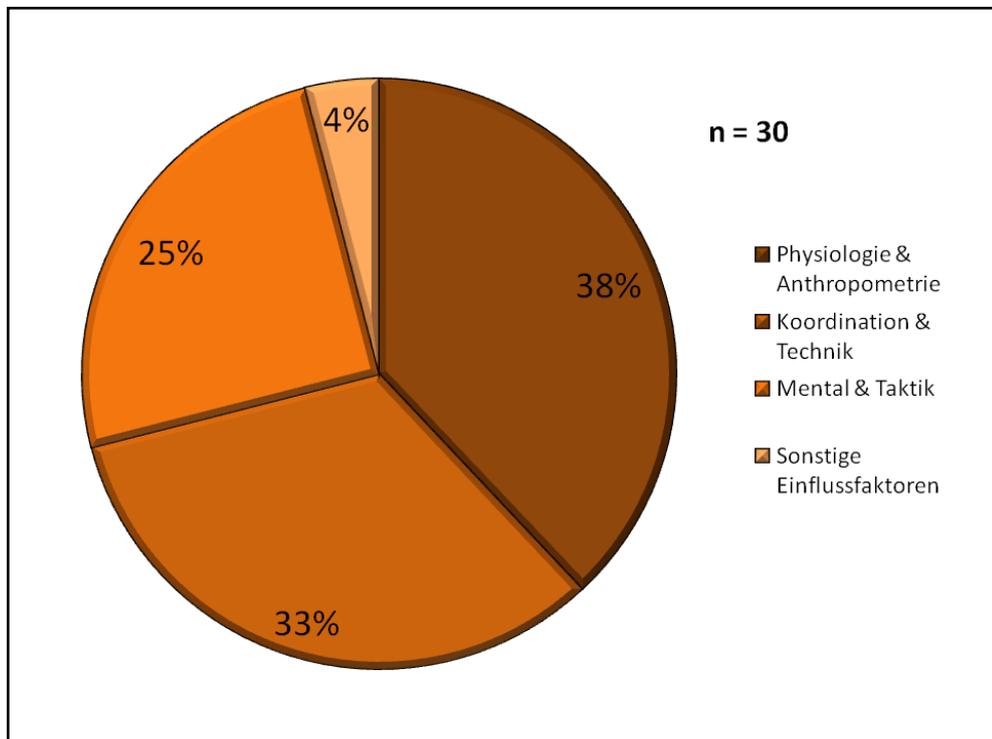


Abbildung 8. Anforderungsprofil im Klettersport, modifiziert nach Magiera et al. [112].

Summa summarum kann zusammengefasst werden, dass die Kletter- und Boulderleistungsfähigkeit von unterschiedlichen Eigenschaften, Komponenten und Fähigkeiten bestimmt wird und somit eine komplexe Interaktion multipler Variablen voraussetzt [3,27,63,65,82,110,116,152,165]. Die einzelnen Fähigkeiten stehen dabei in Wechselwirkung, sodass eine hohe Leistungsfähigkeit im Wettkampfbouldern durch persönliche Lösungsstrategien und individuelle Zugangswege erreicht werden kann [23,78,116]. Trotz zahlreicher Einflussfaktoren spielen die konditionellen Fähigkeiten „Kraft“ und „Ausdauer“ für Leistungssteigerungen im Klettersport eine entscheidende Rolle [1,10,23,63,82,110,116,153]. Mermier et al. [116] kamen zu dem Ergebnis, dass in summa 60% der absoluten Kletterleistungsfähigkeit durch die konditionellen Fähigkeiten erklärt werden können, womit die Autoren den besonderen Stellenwert des zielorientierten Maximalkraft- und Kraftausdauertrainings zur Leistungsmaximierung darlegen konnten. Infolgedessen soll in dieser Arbeit die Wirkungsweise sportartspezifischer Trainingsmethoden auf die konditionellen Fähigkeiten „Kraft“ und „Ausdauer“ untersucht werden. Nachfolgend werden hierfür zunächst die konditionellen Größen MAF, KAS und LOM beschrieben und deren Stellenwert im Wettkampfbouldern herausgearbeitet.

## 2.2 Die MAF im Wettkampfbouldern

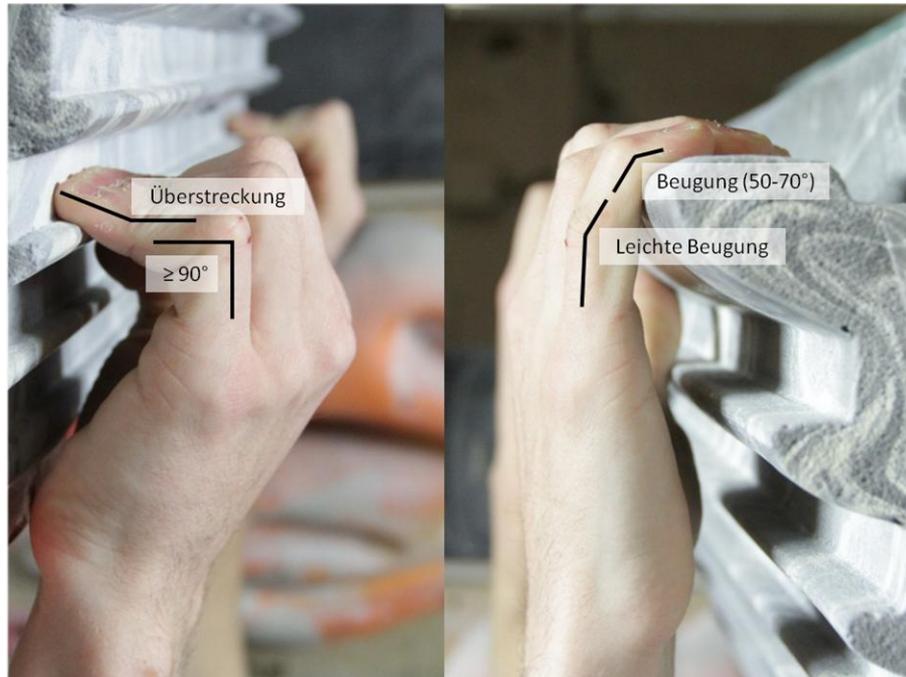
Hörst [82] beschreibt die Maximalkraft der Fingermuskulatur (MAF) als die Fähigkeit, im Klettersport möglichst kleine Klettergriffe greifen zu können. Dabei ist der besondere Stellenwert der MAF im Wettkampfbouldern grundsätzlich auf die geringe Kletterhöhe und die durchschnittliche Anzahl von vier bis acht Klettergriffen zurückzuführen [4,72]. Infolgedessen sind die einzelnen Kletterbewegungen im Bouldern maximalkräftiger und die Belastungsintensitäten höher als im Sportklettern [59,90,110,124,171]. Weiterhin werden die

oberen Extremitäten in steilen Wandbereichen, welche im Bouldern häufig vorkommen, besonders beansprucht [5,10,82,110,150,165]. Diesbezüglich konnte anhand von Studien gezeigt werden, dass der Anteil der Beinmuskulatur für die Aufwärtsbewegung in überhängenden Bereichen der Kletterwand relativ gering ist, sodass ein Großteil des Körpergewichts durch die relativ kleinen Muskeln der Unterarme und der Hände getragen werden muss [1,5,63,82,111,120,125,152,168].

Beim Training zur Steigerung der MAF ist zu berücksichtigen, dass das Bouldern i.d.R. verschiedene Griffarten impliziert [63,82,168], wodurch die beanspruchten Muskeln beim Greifen der Griffe variieren [76,82] und das Training an verschiedenen Griffpositionen durchgeführt werden sollte [82]. Primär leistungsbestimmend wirken für die Fixierung von Klettergriffen und für die Beugung der Finger im Grund-, Mittel- und Endgelenk der *M. flexor digitorum profundus* und der *M. flexor digitorum superficialis* [9,15,76]. Überdies sind für die Beugung der Fingergrundgelenke und die Streckung der Mittel- und Endgelenke die *Mm. interossei* und *Mm. lumbricales* leistungsbestimmend [9,76]. Weiterhin müssen für das Greifen die Palmarflexoren der Hand (*M. palmaris longus*, *M. flexor carpi ulnaris* und *M. flexor carpi radialis*) und für die Pronation des Unterarms (e.g. Schultergriff) der *M. pronator teres* und der *M. pronator quadratus* berücksichtigt werden [9,15,76]. Der *M. extensor digitorum* und die Dorsalflexoren der Hand (*M. extensor carpi radialis longus*, *M. extensor carpi radialis brevis* und *M. extensor carpi ulnaris*) sind im Klettern für die Fixierung des Handgelenks in leichter Streckstellung (optimale Kraftentwicklung der Fingerbeuger bei leichter Überstreckung im Handgelenk) verantwortlich [76]. Weiterhin muss der *M. supinator*, der zusammen mit dem *M. biceps brachii* für die Supination des Unterarms (e.g. Untergriff) mitverantwortlich ist, berücksichtigt werden [9,76].

Zu den grundlegenden Griffarten gehören der Leisten-, der Sloper- und der Zangengriff [5,23,82,133,151]. Beim Leistengriff (vgl. Abbildung 9) erfolgt das Aufstellen der Finger mit Beugung (90° und mehr) des proximalen Interphalangealgelenks und Überstreckung des distalen Interphalangealgelenks

[5,82,148,151,163]. Beim Slopergriff ist das proximale Interphalangealgelenk nur leicht und das distale Interphalangealgelenk um 50-70° gebeugt [5,82,148,151,163].

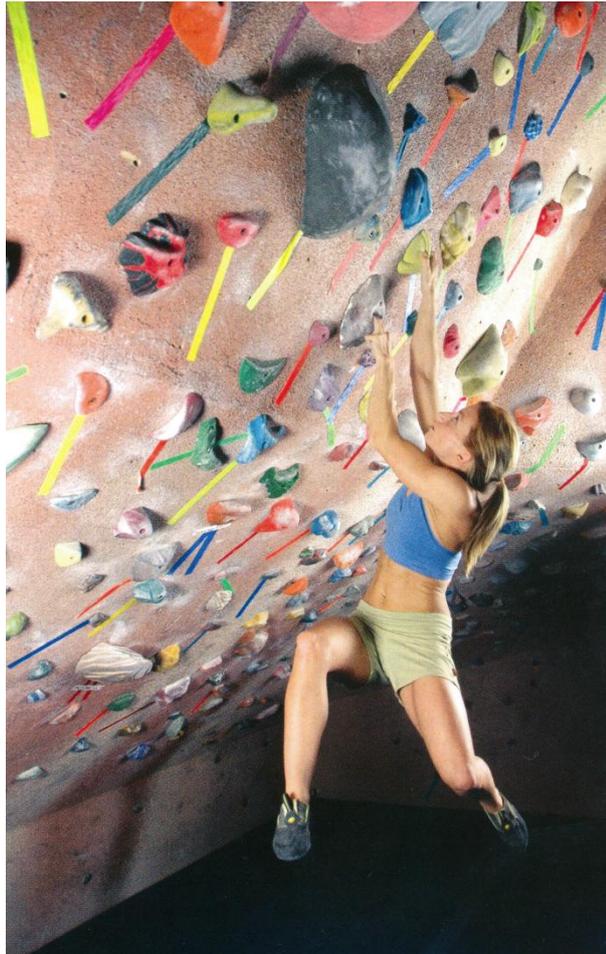


**Abbildung 9.** Leistengriff (links) mit Beugung (90° und mehr) des proximalen und Überstreckung des distalen Interphalangealgelenks und Slopergriff (rechts) mit leichter Beugung im proximalen und einer Beugung (50-70°) im distalen Interphalangealgelenk.

Vigouroux et al. [163] und Schweizer und Hudek [151] beobachteten, dass die *Mm digitorum superficialis* und *profundus* beim Leisten- und Slopergriff unterschiedlich stark beansprucht werden. So wird beim Aufstellen der Finger am Leistengriff der *M. digitorum profundus* (im Verhältnis von 1,75 : 1) und beim Slopergriff der *M. digitorum superficialis* (im Verhältnis von 0,88 : 1) vermehrt beansprucht [163]. Beim Zangengriff wird der Oppositionsstellung des Daumens eine leistungsbestimmende Wirkung zugeschrieben [76,82]. Überdies wird beim vollständigen Aufstellen der Finger am Leistengriff i.d.R. der Daumen über den Zeigefinger aufgelegt, um zusätzlich Kraft zu generieren [5,82,135]. Leistungsbestimmend sind hier der *M. flexor pollicis longus* (Beugung im Daumenendgelenk), der *M. flexor pollicis brevis* (Beugung im Daumengrundgelenk), der *M. opponens pollicis* (Oppositionsstellung) und der *M. adductor pollicis* (Adduktion des Daumens) [9,15,76].

## 2.3 Die KAS im Wettkampfbouldern

Neben der leistungsbestimmenden Funktion der MAF ist für die Aufwärtsbewegung und das Blockieren der Klettergriffe auch die Kraftfähigkeit der Armbeuger (*M. biceps brachii*, *M. brachialis* und *M. brachioradialis*) und der Muskeln des Schultergürtels (KAS) leistungsbestimmend (vgl. Abbildung 10) [1,63,76,82,110]. In Bezug auf die leistungsbestimmende Funktion der Muskeln des Schultergürtels ist zu beachten, dass die Armbeuger nur bei entsprechender Verspannung der oberen Extremität über den Schultergürtel zum Rumpfskelett wirkungsvoll arbeiten können [9,15,76]. Hier gewährleisten der *M. pectoralis major* und der *M. latissimus dorsi* als Muskeln vom Rumpf zum Oberarm eine belastbare Verbindung zwischen Rumpfskelett und Oberarm [9,15]. Überdies spielen sowohl die Muskeln vom Schultergürtel zum Oberarm mit dem *M. deltoideus* als wichtigster Muskel als auch die Rotatorenmanschette (*M. supraspinatus*, *M. subscapularis*, *M. infraspinatus* und *M. teres major*) eine zentrale Rolle [9,76]. Weiterhin sind die Muskeln zwischen Rumpf und Schultergürtel (*M. trapezius*, *M. rhomboideus*, *M. levator scapulae*, *M. pectoralis minor* und *M. serratus anterior*) für die allseitige Fixierung des Schulterblatts (Muskelschlingen) leistungsbestimmend [9,76].



**Abbildung 10.** Bedeutung der Kraftfähigkeit der Armbeuger und der Muskeln des Schultergürtels (KAS) für die Aufwärtsbewegung und das Blockieren der Klettergriffe [82, S. 165].

## 2.4 Die LOM im Wettkampfbouldern

Bislang konnte sowohl die Bedeutung der MAF zum Halten der Klettergriffe als auch die leistungsbestimmende Funktion der KAS für die Aufwärtsbewegung und das Blockieren der Klettergriffe dargelegt werden. Ergänzend hierzu kann als weitere leistungsbestimmende Größe im Wettkampfbouldern die

lokale Muskelausdauer der Unterarmflexoren (LOM) betrachtet werden. Die LOM bezeichnet im Klettern und Bouldern die periphere Ermüdungswiderstandsfähigkeit der Unterarmflexoren bei isometrischer Muskelkontraktion mit wiederkehrenden, mehr oder weniger langen Unterbrechungen während dem Weitergreifen zum nächsten Griff (i.d.R. einseitige Entlastung der Arme) oder während Schüttelstellen, in denen eine ein- oder beidseitige Entlastung der Arme erfolgen kann [20,63,82,99,102,110,111]. Dass die lokale Muskelausdauer der Unterarmflexoren (LOM) im Wettkampfbouldern trotz niedriger Kletterhöhe und einer durchschnittlichen Anzahl von vier bis acht Klettergriffen pro Boulder als leistungsbestimmend angesehen werden kann [4,72,82,103,110,171], hat mehrere Ursachen, welche in Kapitel 3.4 (Forschungsstand der LOM) im Detail beschrieben werden.

Würde die statische Beanspruchung der Unterarme beim Greifen der Griffe unterhalb von ca. 15% der maximalen statischen Kraft liegen, könnte die notwendige Energiemenge vollständig aerob zur Verfügung gestellt werden [80]. Im Bouldern sind die Belastungsintensitäten wesentlich höher und auch im Sportklettern sind maximalkräftige Bewegungssequenzen mit hohen Belastungsintensitäten (Einzelbelastungen bis ca. 80% der Maximalkraft) bei isometrischer Beanspruchung der Unterarmflexoren und relativ kurzen Entlastungsphasen wiederzufinden. Jenseits der Kontraktionsintensität von ca. 15% der maximalen statischen Kraft erfolgt eine Durchblutungsminderung, sodass bei ca. 15-50% der maximalen statischen Kraft eine aerob-anaerobe Mischform der Energiebereitstellung vorliegt [37,80]. Infolgedessen stellt die lokale anaerobe statische Muskelausdauer im Bouldern und Sportklettern eine leistungsbestimmende Größe dar [1,17,37,55,63,100,111,117,147,153,162,165].

Bei isometrischer Muskelkontraktion ab ca. 50% der maximalen statischen Kraft erfolgt eine, durch den intramuskulären Druck bedingte, Kapillarkompression mit anschließender Okklusion, sodass zeitweise weder Sauerstoff heran-, noch Metaboliten (u.a. Laktat) aus der Muskelzelle abtransportiert werden können

[1,20,37,59,80,82,102,110,111,123,166]. So beträgt die maximale Haltezeit beim beidseitigen Greifen mit 80% der maximalen statischen Kraft ohne Weitergreifen oder Ausschütteln ca. 40 s [122]. Leistungslimitierend wirken bei der lokalen anaeroben statischen Ausdauer die anaerob zu entwickelnde Energiemenge (Phosphatenergie) und die lokale sowie zentrale Ermüdung [80]. Desweiteren hängt die lokale, anaerobe statische Muskelausdauer auch von der Maximalkraft ab, sodass eine Steigerung ebenfalls über die Zunahme der statischen Kraft erfolgen kann [80].

Die anaerobe Glykolyse erreicht ihren Höhepunkt nach ca. 45 s [1,42,78,82,102] und mit zunehmender Belastungsdauer (Länge des Boulders bzw. der Route), sowie in Abhängigkeit der Belastungsintensität (Schwierigkeitsgrad) und der Eigenschaften des Boulders bzw. der Route (e.g. Überhang, Platte) nimmt der Anteil der lokalen aeroben Energiebereitstellung zu [17,20,42,50,63,69,99,110,139,145,153,165]. Überdies dient die lokale aerobe Ausdauer der belastungsbegleitenden Erholungsprozessen während den Ruhephasen [78,102,110,111], in denen kurzfristig die O<sub>2</sub>-Zufuhr zu der arbeitenden Muskulatur und der Abtransport von Metaboliten ermöglicht wird [16,20,37,102,110,111,129,132,153,154,165]. Trotz hohen bis maximalen Belastungsintensitäten wird über die Blutzufuhr in der Relaxationsphase versucht, ein Gleichgewicht zwischen Produktion und Elimination von Laktat (*Steady-State*) zu gewährleisten [102,110,166]. Leistungsbestimmend sind bei intakter Herz-, Atmungs- und Blutfunktion u.a. die Größe des intrazellulären Sauerstoffangebots pro Zeiteinheit, sowie die Kapazität des mitochondrialen Stoffwechsels und die Größe der lokalen Kohlenhydratdepots [37,78,80]. Im Mittelpunkt steht für den Kletterer insbesondere das intrazelluläre O<sub>2</sub>-Angebot pro Zeiteinheit, welches sowohl auf hämodynamischem (e.g. Verbesserte Vaskularisierung durch Gefäßquerschnittsvergrößerung, Kollateralenentwicklung, Kapillarisation), als auch auf metabolischem Wege (e.g. Vergrößerung des intramuskulären Glykogengehalts, Vergrößerung und Vermehrung der Mitochondrien) erfolgen kann [80].

Die LOM ist eine lokale Erscheinung mit relativ kleinen Muskelgruppen, die beansprucht werden, bei der die Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems keine primär leistungsbestimmende Größe darstellt [17,51,80,100,110,116,117,154,165]. Studien aus dem Sportklettern zeigten beim Klettern eine relative maximale Sauerstoffaufnahme im Bereich von 20-30 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup> mit Maximalwerten bis zu 40 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup> [17,35,50,117,153,154,165,166]. Überdies konnte gezeigt werden, dass für Sportkletterer mit einer durchschnittlichen VO<sub>2max</sub> von 52-55 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup> und vergleichbaren Werten wie Gewichthebern (ca. 55 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup>) und Turnern (ca. 53 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup>) im Vergleich zu ausdauertrainierten Sportlern (männliche Spitzensportler ≥ 80-90 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup>) keine besonders ausgeprägte Ausdauerleistungsfähigkeit beobachtet werden konnte [17,37,78,80,165]. Desweiteren konnten Pires et al. [132] keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die allgemeine Ausdauerleistungsfähigkeit zwischen fortgeschrittenen (36,8 ± 5,7 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup>) und weniger leistungsstarken Kletterern (35,5 ± 5,2 ml · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup>) beobachten.

## **3 Gegenwärtiger Forschungsstand**

Im Kapitel der theoretischen Grundlagen konnte gezeigt werden, dass die MAF, die KAS und die LOM im Wettkampfbouldern leistungsbestimmende Größen darstellen. Darauf aufbauend soll in diesem Kapitel der gegenwärtige Forschungsstand beschrieben werden. Dabei erfolgt zunächst ein Überblick im Hinblick auf die Entwicklung der Forschung im Klettersport (3.1 Entwicklung des Klettersports), um anschließend auf die bisherigen Forschungsarbeiten im Bereich der MAF (3.2 Forschungsstand der MAF), der KAS (3.3 Forschungsstand der KAS) und der LOM (3.3 Forschungsstand der LOM) einzugehen.

### **3.1 Entwicklung des Klettersports**

Ab den 1980er Jahren lässt sich im Zuge der Popularisierung des Klettersports ein zunehmendes Interesse für wissenschaftliche Forschungsarbeiten beobachten [25,43,45-47,51,112,116]. Erste Studien von Bannister und Foster [12], Bollen [19] und Cole [32] beschreiben einen, durch die Zunahme des Trainingspensums bedingten, Leistungszuwachs und sprunghaften Anstieg der Schwierigkeitsgrade. Diese Trainingsintensivierung und die kaum vorhandenen Trainingskenntnisse trugen zur Entstehung neuer Verletzungsformen und Überlastungsbeschwerden bei und erklären den ursprünglichen, sportmedizinischen Forschungsschwerpunkt im Klettersport [12,19,32,43,46,76,116,131,148]. Als exempli gratia lokalisierten Hochholzer und Schöffl [76] um die Jahrtausendwende über 80% aller Beschwerden im Bereich der oberen Extremitäten und ca. die Hälfte aller Verletzungen im Handbereich.

Etwa zeitgleich rückten mit wachsender Leistungsdichte und zunehmender Wettkampforientierung auch Forschungsarbeiten mit der Zielsetzung, leistungsbestimmende Einflussgrößen wie anthropometrische Voraussetzungen, psychophysiologische Zusammenhänge und physiologische Parameter ( $VO_2$ , Blutlaktat, Herzfrequenz) zu überprüfen, vermehrt in den Mittelpunkt [3,27,35,43,45-47,63,65,67,82,105,110,111,141,142,152,153,165]. Mitte der 1990er Jahre gehörten Goddard und Neumann [65] zu den ersten Autoren, die mit ihrem Sechskomponenten-Modell zeigten, dass Leistungssteigerungen im Klettersport die Interaktion multipler Variablen und Einflussgrößen mit der Abstimmung des „Gesamtsystems“ voraussetzen. Schweizer, Schneider und Goehner [152] untersuchten bei Sportkletterern die Trainingswirksamkeit von exzentrisch-konzentrischem Kraft- und Kraftausdauertraining auf die Fingermuskulatur und konnten nach einem Trainingszeitraum von 19 Monaten eine signifikante ( $p < .001$ ) Steigerung der Kletterleistungsfähigkeit beobachten. Sanchez, Boschker und Llewellyn [141] beobachteten während dem Finale der belgischen Klettermeisterschaft, dass leistungsstärkere Athleten die schwierigste Kletterstelle einer Kletterroute signifikant ( $p < .05$ ) langsamer kletterten ( $29,1 \pm 7,9$  s) als weniger erfolgreichere Athleten ( $23,7 \pm 7,2$  s). España-Romero et al. [50] konnten mit zunehmender Wiederholung derselben Kletterroute eine Reduktion der Gesamtkletterzeit und somit eine Reduzierung des Anteils der statischen Muskelkraft beobachten. Diesbezüglich konnten Fuss und Niegl [60] bereits einige Jahre zuvor eine Reduktion der Kontaktzeit und der Kontaktkraft mit zunehmender Familiarisierung der Kletterroute feststellen. López-Rivera und González-Badillo [105] untersuchten bei Sportkletterern die Trainingswirksamkeit von zwei unterschiedlichen Maximalkraftmethoden und beobachteten nach vierwöchiger Intervention eine Zunahme der Maximalkraft von ca. 10% und eine Verbesserung der lokalen Ausdauer von ca. 16%.

Für den Bouldersport liegen bislang nur vereinzelte Forschungsarbeiten vor [54,90,108,124,171]. In einer prospektiven Studie in Bezug auf die Prävalenz und Inzidenz von Verletzungen, lokalisierten Josephsen et al. [90] rund 61% aller

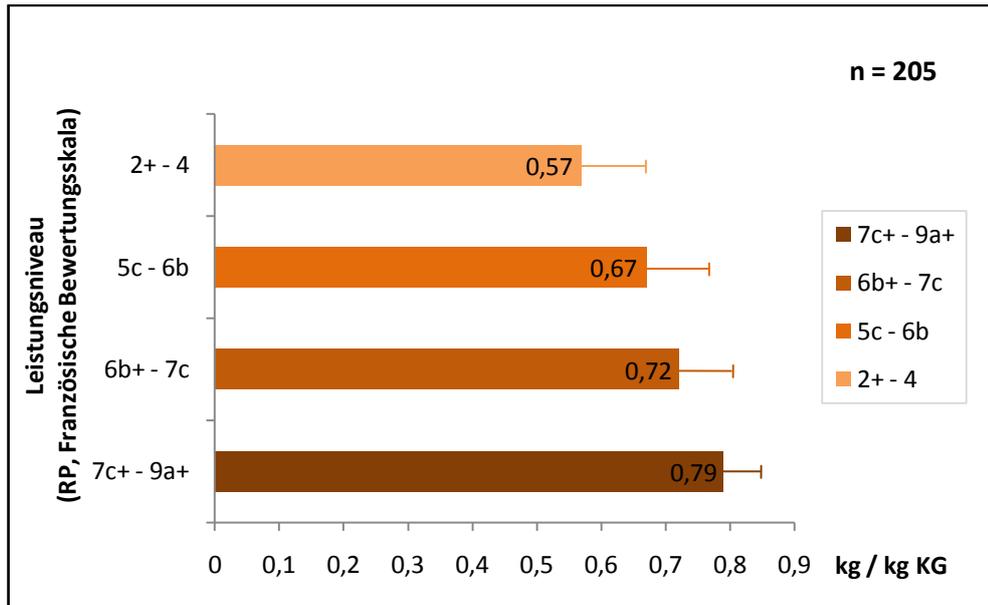
Verletzungen im Fingerbereich. Auch Pieber et al. [131] untersuchten in einer deskriptiven Studie die akuten Verletzungen und Überlastungsschäden im Bouldern und Sportklettern und ermittelten bei rund 30,7% der Befragten Verletzungen im Bereich der Finger. La Torre et al. [103] untersuchten die Blutlaktatwerte im Wettkampfbouldern und beobachteten während einer Wettkampfsimulation durchschnittliche Laktatwerte von  $5,6 \pm 1,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  und maximale Laktatwerte nach einem Boulderwettkampf von  $6,9 \pm 1,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ . In Ergänzung an La Torre et al. [103] beobachteten White und Olsen [171] per Videoanalyse eine durchschnittliche Begehungsdauer bei Boulderwettkämpfen von ca. 30 s und eine durchschnittliche Anzahl von ca. drei Versuchen pro Boulder. Mit diesen Befunden konnten die Autoren mit ihrer Arbeit den leistungsbestimmenden Stellenwert der LOM im Wettkampfbouldern darlegen. Macdonald und Callender [108] beobachteten bei fortgeschrittenen Boulderern im Vergleich zu ausdauertrainierten Nicht-Kletterern und Elitesportkletterern eine signifikant höhere ( $p < .001$ ) Maximalkraft der Fingermuskulatur. Überdies konnten Fanchini et al. [54] bei Eliteboulderern im Vergleich zu Sportkletterern mit gleichem Leistungsniveau ebenfalls signifikant ( $p = .005$ ) höhere Maximalkraftbefunde feststellen.

Zusammenfassend kann im Hinblick auf die bisherige Entwicklung des Klettersports festgehalten werden, dass das Wettkampfbouldern bislang wissenschaftlich weitestgehend unberührt ist [54,90,108,124,153,171]. Dabei sind insbesondere die Wirkungsweise angewandter Trainingsmethoden und der Einsatz sportartspezifischer Trainingsgeräte bislang wissenschaftlich kaum erforscht [12,47,63,67,111,116,142,153,165]. Dies gilt, trotz deutlicher Zunahme von wissenschaftlichen Publikationen seit über einem Jahrzehnt, für den gesamten Klettersport. Draper et al. [45] beobachteten diesbezüglich bis zum Jahre 2011 lediglich ca. 250 wissenschaftliche Publikationen für den gesamten Klettersport. Zusammenfassend kann somit festgehalten werden, dass die Überprüfung der Wirkungsweise sportartspezifischer Trainingsmethoden für die Entwicklung des Wettkampfboulderns von zentraler Bedeutung ist. Bevor in Kapitel 3.6 die im empirischen Teil dieser Arbeit untersuchten Trainingsmethoden beschrieben

werden, soll zunächst überprüft werden, welche Forschungsarbeiten bislang im Bereich der MAF, der KAS und der LOM für den gesamten Klettersport vorliegen.

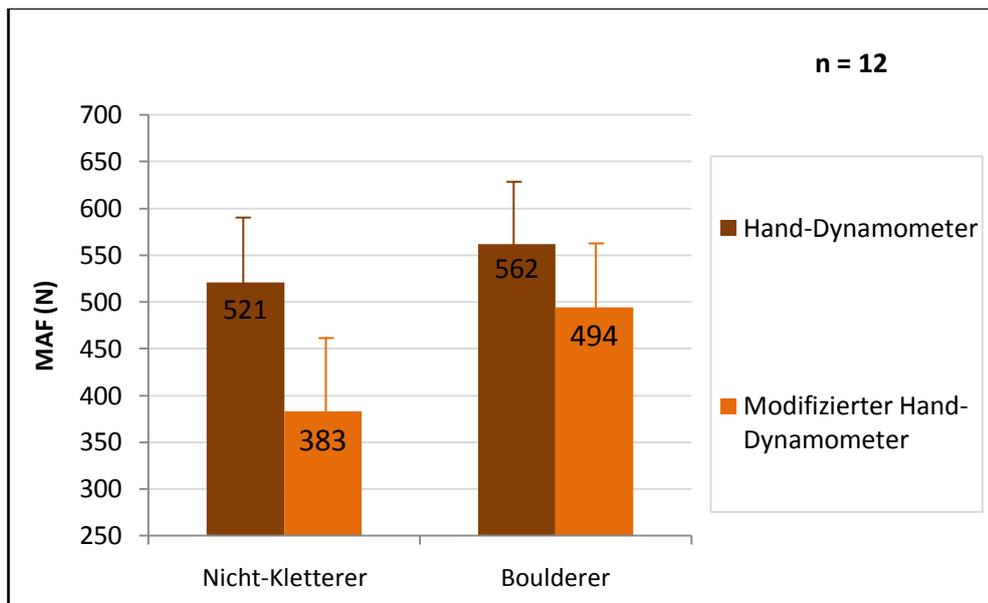
## 3.2 Forschungsstand der MAF

Mehrere Studien konnten bislang den besonderen Stellenwert der MAF als leistungsbestimmende Größe im Klettersport darlegen [10,25,54,68,82,108,110-112,116,120,124,129,134,150,152,165,171]. Grant et al. [68] beobachteten bei männlichen Sportkletterern (6c+ RP;  $383 \pm 35,6$  N) im Vergleich zu Ruderern ( $321 \pm 49,5$  N;  $p = .007$ ) und ausdauertrainierten Athleten ( $288 \pm 60,6$  N;  $p = .001$ ) eine signifikant höhere absolute MAF und auch Philippe et al. [129] ermittelten bei männlichen Elitesportkletterern (8b+ RP) im Vergleich zu Sportstudenten ohne Klettererfahrung ( $402,2 \pm 74,15$  N;  $5,4 \pm 0,64$  N/kg) eine signifikant höhere absolute ( $491,0 \pm 76,82$  N;  $p = .003$ ) und relative ( $7,1 \pm 1,31$  N/kg;  $p < .001$ ) MAF. Desweiteren konnten Philippe et al. [129] eine hohe Korrelation ( $r = .946$ ,  $p < .001$ ) zwischen der besten OS Kletterleistungsfähigkeit und der relativen MAF beobachten. Auch Balás et al. [10] (2012) beobachteten mithilfe eines Hand-Dynamometers einen vergleichbaren Zusammenhang zwischen der relativen MAF zum Körpergewicht und der RP Kletterleistungsfähigkeit (vgl. Abbildung 11).



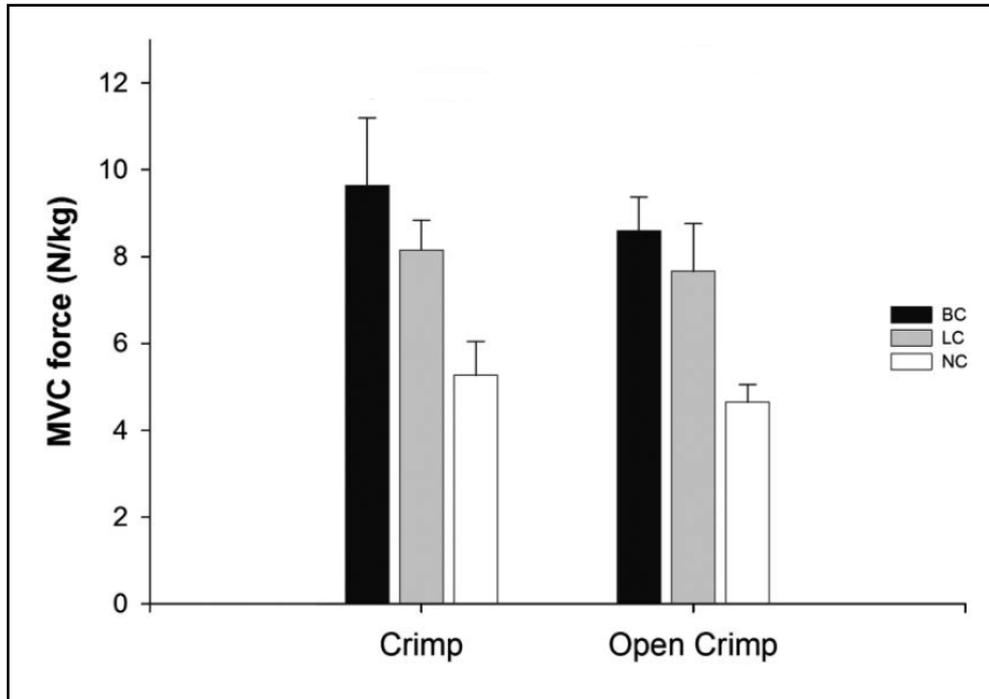
**Abbildung 11.** Zusammenhang zwischen der relativen MAF zum Körpergewicht und der RP Kletterleistungsfähigkeit, modifiziert nach Balás et al. [10].

Macdonald und Callender [108] beobachteten bei fortgeschrittenen Boulderern mithilfe eines konventionellen und modifizierten Hand-Dynamometers (ohne Daumeneinsatz) eine signifikant ( $p = .013$ ;  $p = .001$ ) höhere absolute MAF als bei ausdauertrainierten Probanden ohne Klettererfahrung (vgl. Abbildung 12).



**Abbildung 12.** Die MAF im Bouldern, modifiziert nach Macdonald und Callender [108].

Fanchini et al. [54] konnten bei Eliteboulderern im Vergleich zu Elitesportkletterern mit gleichem Leistungsniveau und einer Kontrollgruppe ohne Klettererfahrung eine signifikant ( $p = .005$ ) höhere relative MAF feststellen (vgl. Abbildung 13).



**Abbildung 13.** Abbildung aus der Studie von Fanchini et al. [54, S. 311] mit Darstellung der relativen MAF am Leistengriff *Crimp* (voll aufgestellt) und *Open Crimp* (halbgestellt ohne Daumen). Boulderer (BC) hatten eine signifikant höhere Maximalkraft am *Crimp*-Griff ( $p = .005$ ) und *Open Crimp*-Griff ( $p = .015$ ) als Sportkletterer (LC) und Nicht-Kletterer (NC).

Die Studien von Philippe et al. [129], Balás et al. [10], Magiera et al. [112] und Macdonald und Callender [108] zeigen, dass im Klettersport neben der absoluten auch die relative MAF zum Körpergewicht leistungsbestimmend ist. Ein reduziertes Körpergewicht scheint somit im Hinblick auf ein verbessertes Kraft-Gewicht-Verhältnis für die im Wettkampfsport angestrebte Leistungsmaximierung von zentraler Bedeutung zu sein [82,104,111,116,165]. Bislang aber wurden Leistungssteigerungen über die Reduktion des Körpergewichts empirisch nicht belegt. Dennoch konnte eine Vielzahl an Studien (vgl. Tabelle 1) zeigen, dass Sportkletterer und Boulderer i.d.R. ein relativ geringes Körpergewicht haben [10,16,51,63,103,104,108,111,116,129,150,153,165]. Schweizer und Furrer [150] etwa konnten bei fortgeschrittenen Sportkletterern (7b+ RP) eine negative Korrelation

zwischen dem Körpergewicht und der RP ( $r = -.467, p < .001$ ) und OS ( $r = -.477, p < .001$ ) Kletterleistungsfähigkeit feststellen, während MacLeod et al. [111] und Limonta, Veicsteinas und Esposito [104] bei Sportkletterern ein signifikant ( $p < .05$ ) niedrigeres Körpergewicht beobachten konnten als bei sportlichen Nicht-Kletterern. España-Romero et al. [E5] konnten bei fortgeschrittenen Sportkletterinnen (6c-7c+ RP) ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der OS Leistungsfähigkeit und (a) dem Körpergewicht, (b) dem BMI und (c) der fettfreien Körpermasse feststellen. Im Wettkampfbouldern konnten La Torre et al. [103] bei Eliteboulderern ähnliche Befunde in Bezug auf die Körpergröße und das Körpergewicht beobachten als bei Sportkletterern mit gleichem Leistungsniveau. Überdies konnten Macdonald und Callender [108] bei fortgeschrittenen Boulderern im Vergleich zu einer ausdauertrainierten Kontrollgruppe vergleichbare Körpergewichts- und Körperfettgehaltswerte beobachten. Desweiteren konnten Fanchini et al. [54] bei Sportkletterern ( $p = .01$ ) und Boulderern ( $p = .014$ ) im Vergleich zu sportlichen Nicht-Kletterern signifikant niedrigere Körpergewichtswerte feststellen.

**Tabelle 1.** Körpergewicht, Körpergröße und BMI im Bouldern (B; graue Markierung) und Sportklettern (S)<sup>3</sup>.

Quelle	Geschlecht (♀/♂)	Leistungs- niveau (Fb / RP / OS)	Körpergewicht	Körpergröße	BMI
			(kg)	(cm)	(kg/m <sup>2</sup> )
[103]	♂ (B)	Elite	63 ± 3	176 ± 6	/
	♂ (B)	Elite	62 ± 5	171 ± 5	
	♀ (B)	Elite	52 ± 5	161 ± 4	
	♀ (B)	Elite	47 ± 5	163 ± 4	
[108]	♂ (B)	7b Fb	70,2 ± 6,2	177,7 ± 4,9	22,3 ± 2,0
[54]	♂ (B)	7c Fb	69,7 ± 9,2	180,4 ± 8,1	/
	♂ (S)	8a+ (RP)	69,3 ± 7,4	179,1 ± 5,5	
[104]	♂ (S)	Elite	61,8 ± 1,5	175 ± 1,0	20,3 ± 0,3
[105]	♂ (S)	Elite	63,7 ± 11,9	171,4 ± 10,9	/
			68,9 ± 4,8	168,9 ± 4,5	
[142]	♂ (s)	≥ 7b+ (OS)	67 ± 7,9	177 ± 10,4	/
[134]	♂ (S)	7c+ (OS)	65,6 ± 2	177,4 ± 4,5	/
[50]	♂ (S)	6b+ - 7b+ (OS)	64,2 ± 7,1	172,4 ± 6,5	21,5 ± 1,2
[129]	♂ (S)	8b+ (RP)	70,5 ± 9,8	179,2 ± 6,4	21,8 ± 1,6
	♀ (S)	8a+/8b (RP)	54,1 ± 3,63	162,1 ± 2,6	20,6 ± 1,3
[154]	♂ (S)	8a (RP)	65,9 ± 8,2	171,0 ± 5,3	/
[35]	♂ (S)	7b-8a (OS)	64,1 ± 7,9	176 ± 4,2	20,1 ± 2,1
[47]	♂ (S)	≥7c+ (RP)	64,4 ± 10,4	170 ± 9	/
[51]	♂ (S)	8a (OS)	66,1 ± 3,9	172,7 ± 3,7	22,2 ± 1,1
	♀ (S)	7a (OS)	53,0 ± 3,9	161,8 ± 2,8	20,1 ± 1,1
[111]	♂ (S)	7a+ (RP)	66,4 ± 6,8	175,5 ± 6,7	/

<sup>3</sup> Zum Vergleich die männliche und weibliche Bevölkerung in Deutschland im Alter von 25-30 Jahren mit einem Körpergewicht von 80,7 kg bzw. 64,4 kg, einer Körpergröße von 180 cm bzw. 168 cm und einem BMI von 24,8 bzw. 23,0. Quelle: Statistisches Bundesamt 2009, Ergebnisse des Mikrozensus 2009.

### 3.3 Forschungsstand der KAS

Bereits Mitte der 1990er Jahre überprüften Grant et al. [67] den Stellenwert der KAS mithilfe des kletterspezifischen Bent-Arm Hängetests (BAT) am Hangboard und beobachteten bei erfahrenen Sportkletterern ( $\geq 6a$ ) signifikant ( $p < .05$ ) längere Haltezeiten ( $53,1 \pm 1,3$  s) als bei Anfängern ( $31,4 \pm 9,0$  s) und Nicht-Kletterern ( $32,6 \pm 15,0$  s). Ähnliche Befunde beobachteten die Autoren in Bezug auf die Anzahl an Klimmzügen mit durchschnittlich  $16,2 \pm 7,2$  Klimmzüge für die Kletterer, sowie  $3,0 \pm 9,0$  und  $3,9 \pm 3,9$  Klimmzüge für die Anfänger und die Nicht-Kletterer. Mermier et al. [116] untersuchten die BAT Haltezeiten bei 44 Kletterern (3+ - 8a+ RP) und beobachteten bei männlichen Probanden ( $51,80 \pm 14,62$  s) im Vergleich zu weiblichen Probanden ( $25,05 \pm 14,41$  s) signifikant ( $p < .05$ ) höhere Haltezeiten. Überdies konnten Macdonald und Callender [108] in ihrer Studie signifikant ( $p = .001$ ) höhere BAT Haltezeiten bei Eliteboulderern ( $58 \pm 13$  s) als bei ausdauertrainierten Nicht-Kletterern ( $39 \pm 9$  s) beobachten. Weiterhin konnten Balás et al. [10] in einer aktuelleren Studie ebenfalls signifikant ( $p < .05$ ) längere BAT Haltezeiten bei Elitesportkletterern (7c+ - 9a+ RP;  $84,5 \pm 23,2$  s) beobachten als bei leistungsstarken Kletterern (6b+ - 7c RP;  $64,2 \pm 19,1$  s), mittelstarken Kletterern (5c - 6b RP;  $45,6 \pm 15,5$  s) und Kletteranfängern ohne Klettererfahrung (2- - 4 RP,  $29,5 \pm 19,9$  s).

### 3.4 Forschungsstand der LOM

Im Sportklettern mit Wettkampfwänden von mehr als 15 Metern Länge [4,54,72,108] und einer Begehungsdauer im Bereich von zwei bis sieben Minuten [17,103,108,111,165,166,171] konnten mehrere Studien den besonderen Stellenwert

der lokalen Muskelausdauer (LOM) darlegen [10,34,55,68,99,108,110,111,134,147,153,166]. Demgegenüber wurde die leistungsbestimmende Funktion der LOM im Wettkampfbouldern bislang kaum erforscht, sodass im Hinblick auf die Überprüfung der LOM im empirischen Teil dieser Arbeit eine Pilotstudie mittels Videoanalyse (Sony FDR-AXiEB 4K Ultra-HD-Camcorder) durchgeführt wurde, bei der die nachfolgenden Parameter untersucht wurden:

- Die durchschnittliche Anzahl der Versuche pro Boulder,
- die durchschnittliche Dauer eines Versuchs an einem Boulder,
- die durchschnittliche Begehungsdauer pro Boulder,
- die durchschnittliche Gesamtkletterzeit pro Boulder,
- die durchschnittliche Pausendauer pro Boulder und
- die durchschnittliche Kontaktzeit bei isometrischer Muskelkontraktion mit beiden Händen.

Untersucht wurden diese Parameter in der Qualifikationsrunde beim Boulder Welt-Cup in München (24.-25. August 2013) an den, zu diesem Zeitpunkt nach dem IFSC-Ranking, 30 weltweit besten männlichen Athleten. Ähnliche Studien wurden bereits von La Torre et al. [103] und White und Olsen [171] durchgeführt (vgl. Tabelle 2), in beiden Studien wurden allerdings Boulderwettkämpfe auf nationaler Ebene mit Abweichungen zum IFSC-Reglement untersucht.

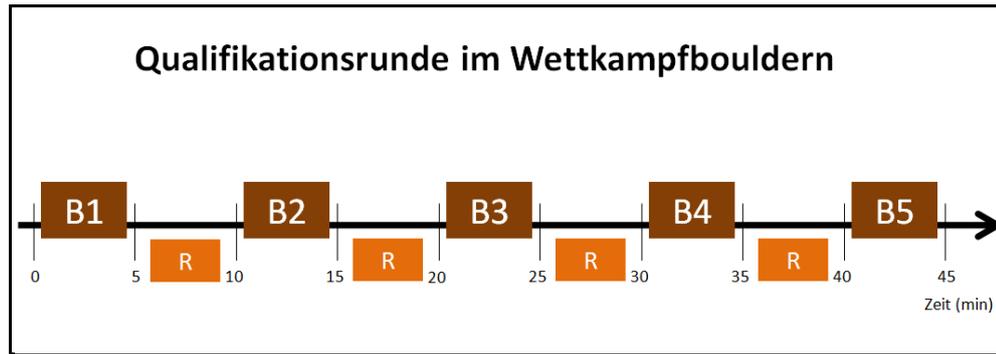
Die Befunde der Pilotstudie sind in Tabelle 2 dargestellt und deuten daraufhin, dass trotz der niedrigen Kletterhöhe und einer durchschnittlichen Anzahl von vier bis acht Klettergriffen pro Boulder [4,72] die LOM im Wettkampfbouldern als leistungsbestimmende Größe betrachtet werden kann [82,103,110,171]. Tatsächlich betrug die Begehungsdauer (die Zeit für die erfolgreiche Top-Begehung) beim Welt-Cup in München durchschnittlich ca. 40 s, während der längste Versuch ca. 95 s dauerte. Rund 18% aller Versuche (unabhängig vom Durchstieg) dauerten länger als 30 s, ca. 10% länger als 40 s und 6% aller Versuche länger als 50 s. Maximale

Belastungsintensitäten und Kletterzeiten von über 40 s sind Zeugnis für die Prädominanz der anaeroben (alaktaziden und laktaziden) Energiebereitstellung und die Bedeutung einer hohen Ermüdungswiderstandsfähigkeit im Wettkampfbouldern [1,42,82,102,110,171].

**Tabelle 2.** Ergebnisse (a) der Pilotstudie beim Boulder Welt-Cup in München, der Studie von (b) White und Olsen [171] und (c) der Studie von La Torre et al. [103] ( $\bar{x} \pm s$ ).

	<b>Pilotstudie</b>	<b>[171]</b>	<b>[103]</b>
Anzahl der Versuche pro Boulder (n)	4,3 ± 2,2	2,8 ± 1,7	/
Versuchsdauer pro Boulder (s)	23,8 ± 15,2	28,9 ± 10,8	/
Dauer für Top-Begehung (s)	41,0 ± 14,5	/	/
Gesamtkletterzeit pro Boulder (s)	79,6 ± 38,5	76,3 ± 19,5	65 ± 20
Kontaktzeit beider Hände bei isometrischer Muskelkontraktion (s)	6,1 ± 4,1	7,9 ± 1,3	5,3 ± 0,7
Dauer der einseitigen Greifphase (s)	/	0,6 ± 0,1 s	/
Pausendauer zwischen den Versuchen (s)	27,2 ± 13,7	/	/

Neben der Begehungsdauer ist auch das Wettkampfformat bei internationalen, sowie bei einer Vielzahl von nationalen und regionalen Wettkämpfen für den besonderen Stellenwert der lokalen Muskelausdauer (LOM) maßgebend (vgl. Abbildung 14). Beim Rotationsmodus beträgt die Erholungszeit post Belastung zwischen zwei Bouldern fünf Minuten, sodass der schnellen Regeneration in der Ruhephase eine leistungsbestimmende Funktion zugeschrieben werden kann [171].



**Abbildung 14.** Die Qualifikationsrunde im Wettkampfbouldern nach dem Reglement der IFSC (B = Boulder und R = Ruhephase).

Hinzu kommen im Durchschnitt ca. 3-4 Versuche, die ein Athlet pro Boulder durchführt, sodass die Gesamtkletterzeit pro Boulder rund 80 s beträgt (ca. 30% der Gesamtkletterzeit). In summa entspricht die Qualifikationsrunde beim Wettkampfbouldern mit einer Gesamtkletterzeit von ca. 6-7 min somit ungefähr der Gesamtdauer einer Wettkampfroute im Sportklettern [103,171]. Die Pausendauer zwischen den 3-4 Versuchen an einem Boulder betrug in der Pilotstudie in etwa 30 s, sodass zwischen den jeweiligen Versuchen an einem Boulder ebenfalls eine möglichst schnelle Erholung erfolgen muss. Durch die nachlaufende Wiederherstellung in den Pausen versucht der Athlet eine Minimierung der Laktatakkumulation mit Absinken des intrazellulären pH-Wertes zu erzielen, um so eine Azidose mit Erliegen der glykolytischen Stoffwechselprozessen zu umgehen oder zumindest hinauszuzögern [1,63,82,102,103,110,129,165].

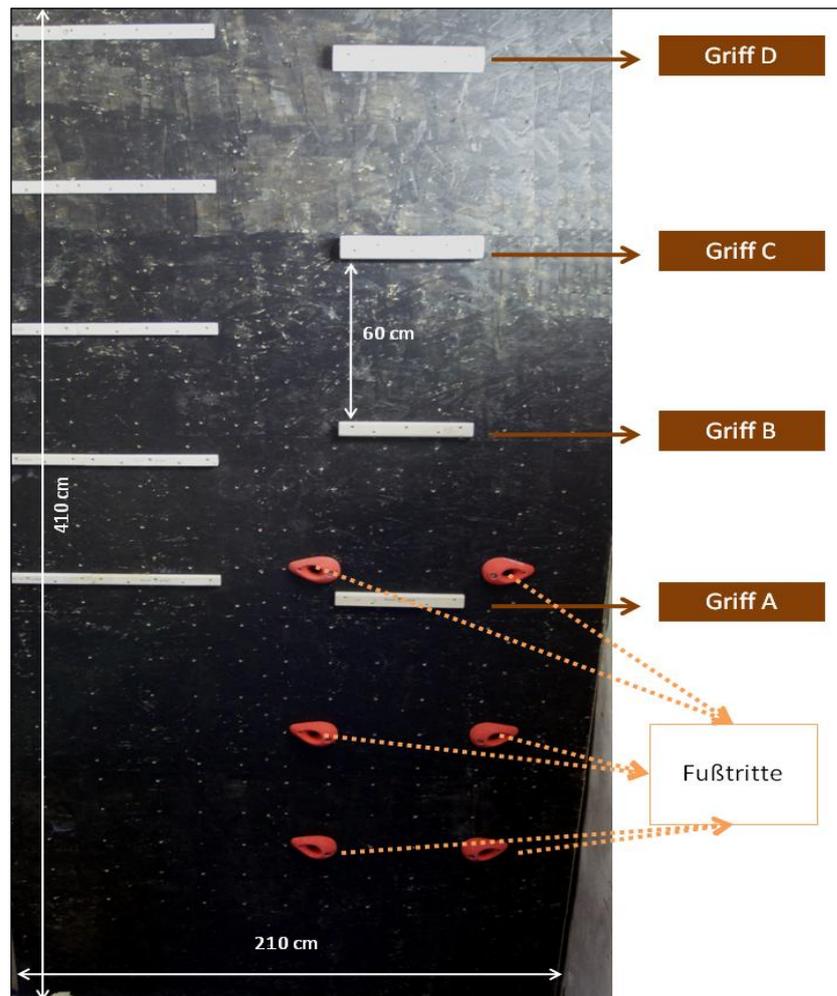
Die Kontaktzeit beider Hände bei isometrischer Muskelkontraktion liegt im Wettkampfbouldern, gemäß den Befunden der Pilotstudie und den Ergebnissen von White und Olsen [171] und La Torre et al. [103], im Bereich von ca. 5-8 s mit einer Greifdauer zum nächsten Klettergriff (einseitige Entlastungsphase) von weniger als einer Sekunde. Das Verhältnis von isometrischer Belastung und Entlastung der Unterarmflexoren erhob sich in der Studie von White und Olsen [171] auf ca. 13:1. Infolgedessen sind die O<sub>2</sub>-Zufuhr zur arbeitenden Muskulatur und der Abtransport von Metaboliten während der Belastung nur eingeschränkt möglich, sodass überwiegend den Aufbauprozessen in den Pausen eine leistungsbestimmende

Funktion zukommt. Beim Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit den Befunden von Billat et al. [17], scheint der Anteil der statischen Muskelarbeit der Unterarmflexoren im Bouldern (ca. 25%) geringer zu sein als im Sportklettern (ca. 36%). Diese Ergebnisse lassen sich einerseits auf den dynamischeren Kletterstil im Bouldern zurückführen, und sind andererseits dadurch bedingt, dass im Bouldern kein Einhängen der Expressschlingen zum Selbstschutz erfolgen muss [58,171].

Zusammenfassend konnte anhand dieser Pilotstudie gezeigt werden, dass die anaerobe Muskelausdauer im Wettkampfbouldern aufgrund der maximalen Belastungsintensitäten und einer Begehungsdauer von durchschnittlich 40 s eine leistungsbestimmende Größe darstellen kann. Neben der Ermüdungswiderstandsfähigkeit, spielt auch die Regenerationsfähigkeit in den Ruhephasen zwischen den Versuchen an einem Boulder und zwischen zwei Bouldern eine entscheidende Rolle. Denn einerseits wird die Erholungszeit zwischen zwei Bouldern durch den Rotationsmodus begrenzt und andererseits sind für die erfolgreiche Topbegehung i.d.R. mehrere Versuche notwendig. Über eine verbesserte lokale aerobe Ausdauer wird versucht, kurzfristig eine höhere O<sub>2</sub>-Zufuhr zur arbeitenden Muskulatur und einen schnellen Abtransport der Stoffwechselmetaboliten zu gewährleisten.

In-vitro Laktatmessungen gelten in der Sportwissenschaft als zentrales Instrument zur Diagnostik der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit [79]. Demzufolge wurden in einer weiteren Pilotstudie zur Bestimmung der LOM in einer Wettkampfsimulation bei 14 männlichen Wettkampfboulderern (26,7 ± 5,0 Jahre, 70,2 ± 5,1 kg, 179,0 ± 4,2 cm, 6,6 ± 2,9 Jahre Bouldererfahrung, 7b+ Fb Leistungsniveau) die Laktatwerte untersucht. Da die Laktatbestimmung aufgrund der Isolationsregelungen während offiziellen Boulderwettkämpfen nur eingeschränkt möglich ist [103], wurde eine Wettkampfsimulation gemäß dem IFSC-Reglement mit fünf Bouldern und einer Rotationszeit von fünf Minuten durchgeführt. Die Pilotstudie wurde an einer 4,10 Meter hohen und 2,10 Meter breiten Systemwand mit 30° Wandneigung und vier Handgriffen sowie sechs

Fußritten durchgeführt (vgl. Abbildung 15). Als Handgriffe wurden Campusleisten mit Griff A 20 mm, Griff B 30 mm, Griff C 45 mm und Griff D 45 mm Grifftiefe vom Hersteller MR Climbing (FR) eingesetzt. Die Distanz zwischen zwei Campusleisten betrug jeweils 60 cm.



**Abbildung 15.** Systemwand zur Durchführung der Wettkampfsimulation.

Durch Auswahl der Griffe und Tritte sollte eine Wettkampfsimulation mit geringen technisch-koordinativen Anforderungen ermöglicht werden, um ein Abbrechen vor der individuellen Ausbelastung aufgrund der Bewegungskomplexität ausschließen zu können. Im Hinblick auf ein sportartspezifisches Belastungsschema und zur Gewährleistung einer standardisierten Klettergeschwindigkeit, wurde, gemäß den Untersuchungsergebnissen aus Tabelle 2, pro Boulder eine beidseitige isometrische

Muskelkontraktion von durchschnittlich 5-8 s vorgegeben. Zu diesem Zweck wurde die Dauer, für welche sich die Probanden an den Griffen A bis D bei beidseitiger isometrischer Kontraktion halten mussten, im Vorfeld für jeden Griff festgelegt:

- Griff A: 4 s,
- Griff B: 6 s,
- Griff C: 8 s und
- Griff D: 10 s.

Zur Gewährleistung unterschiedlich langer Boulder (vgl. Abbildung 16), wurden für die Wettkampfsimulation nachfolgende fünf Boulder festgelegt:

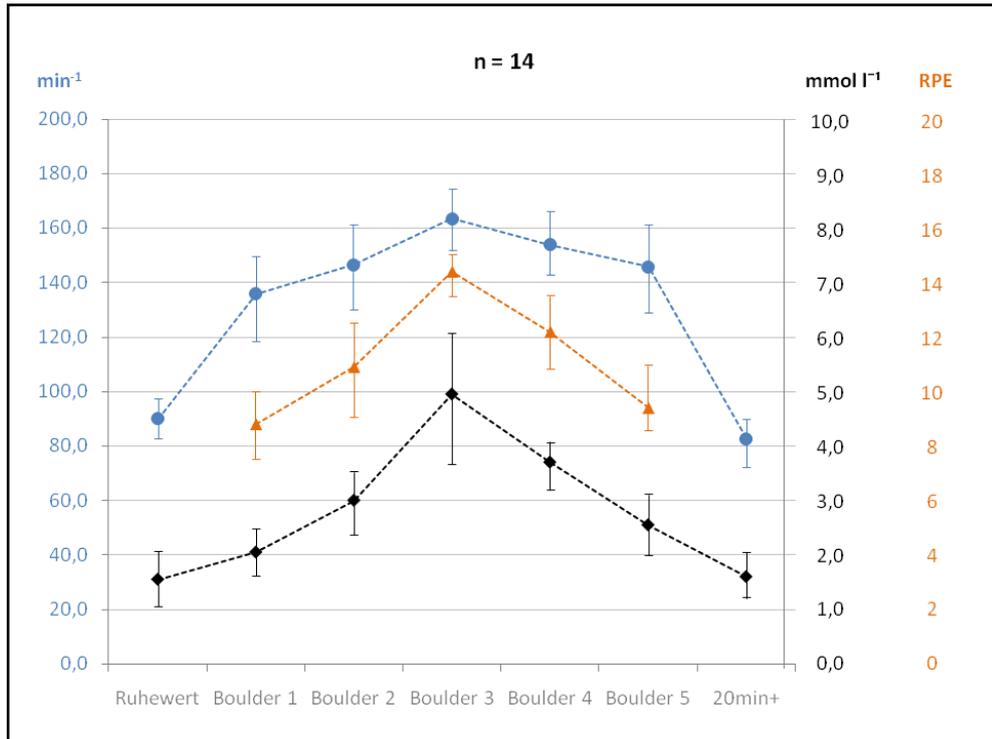
- **Boulder 1 (B1) mit 4 Griffen:** Alle Probanden beginnen an Griff A (4 s halten), klettern hoch zu Griff B (6 s halten), Griff C (8 s halten) und abschließend zu Griff D (10 s halten).
- **Boulder 2 (B2) mit 6 Griffen:** Wie B1, dann abklettern zu Griff C (8 s halten) und Griff B (6 s halten).
- **Boulder 3 (B3) mit 8 Griffen:** Wie B2, dann abklettern zu Griff A (4 s halten) und hochklettern zu Griff B (6 s halten).
- **Boulder 4 (B4) mit 6 Griffen:** Wie B2.
- **Boulder 5 (B5) mit 4 Griffen:** Wie B1.

Alle fünf Boulder wurden, gemäß den in Tabelle 2 dargestellten Befunden, insgesamt dreimal wiederholt. Die Datenerhebung erfolgte unmittelbar nach Belastungsabbruch und beinhaltete die Diagnostik der Laktat- und Herzfrequenzwerte, sowie das subjektive Anstrengungsempfinden mithilfe der RPE-Skala. Für die Laktatbestimmung mit dem Vario Photometer II von Diaglobal GmbH (4.4 Apparaturbesprechung) wurden 10 µL Kapillarblut aus dem hyperämisierten (nicht-alkoholischer Zellstofftupfer) Ohrläppchen entnommen. Die Messung der Herzfrequenz erfolgte unmittelbar nach Belastungsabbruch mit dem Herzfrequenzmessgerät Polar FT7 (4.4 Apparaturbesprechung).

	B1	Pause	B2	Pause	B3	Pause	B4	Pause	B5
Zeit (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Klettergriffe (n)	4		6		8		6		4
Griffabfolge	ABCD		ABCD CB		ABCD CBAB		ABCD CB		ABCD
Kletterzeit / Versuch (s)	33 ± 2		52 ± 2		64 ± 3		49 ± 3		34 ± 3
Dauer der statischen Position (s)	7		7		6,5		7		7
	↑		↑ ↓		↑ ↓ ↑		↑ ↓		↑

**Abbildung 16.** Wettkampfsimulation an der Systemwand.

Der Ruhelaktatwert vor Beginn der Wettkampfsimulation betrug  $1,6 \pm 0,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Nach B1 ( $2,1 \pm 0,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) erfolgte ein weiterer Anstieg des Laktats post B2 ( $3,0 \pm 0,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ), um post B3 einen Maximalwert von  $4,9 \pm 1,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  zu erreichen. Mit Abnahme von Belastungsdauer und -intensität erfolgte eine Reduktion der Laktatwerte nach B4 ( $3,7 \pm 0,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) und B5 ( $2,6 \pm 0,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Der Ruhelaktatwert nach 20 Minuten betrug im Durchschnitt  $1,7 \pm 0,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Der Befund, dass höhere Laktatwerte im Wettkampfbouldern primär von der Belastungsdauer abhängen, stimmt mit den Ergebnissen von La Torre et al. [103] überein. Weiterhin deuten die höheren LAC-Werte nach B4 ( $+0,7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) im Vergleich zu B2 sowie nach B5 ( $+0,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) im Vergleich zu B1 darauf hin, dass trotz der Pausendauer zwischen zwei Bouldern von 5 min mit Fortschreiten des Wettkampfs eine Laktatakkumulation nicht verhindert werden konnte (vgl. Abbildung 17).



**Abbildung 17.** RPE-, Herzfrequenz- und Laktatergebnisse der Wettkampfsimulation.

La Torre et al. [103] beobachteten unmittelbar nach Ende einer italienischen Bouldermeisterschaft maximale Laktatwerte von durchschnittlich  $6,9 \pm 1,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Die höheren Befunde im Vergleich zu der vorliegenden Pilotstudie scheinen dadurch erklärt werden zu können, dass die Kletterzeit pro Boulder in der Studie von La Torre et al. [103] jeweils sechs Minuten betrug und demnach eine höhere Gesamtkletterzeit erzielt wurde. Desweiteren könnte eine höhere Motivation beim Wettkampf im Vergleich zu der Simulation die Unterschiede erklären. Überdies lassen die RPE-Werte vermuten, dass in der vorliegenden Pilotstudie keine vollständige Ausbelastung stattgefunden hat.

In Studien aus dem Sportklettern (vgl. Abbildung 18) konnten bislang Blutlaktatwerte im Bereich von 2,4 bis  $7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  beobachtet werden [17,20,63,117,153,165]. Maximalwerte bei sportartspezifischer Ausbelastung, sodass ein Weiterklettern aufgrund der peripheren Ermüdung nicht mehr erfolgen kann, scheinen im Sportklettern im Bereich von ca.  $5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  zu liegen [153]. Diese

Befunde stimmen mit den Ergebnissen der vorliegenden Pilotstudie im Wettkampfbouldern überein.

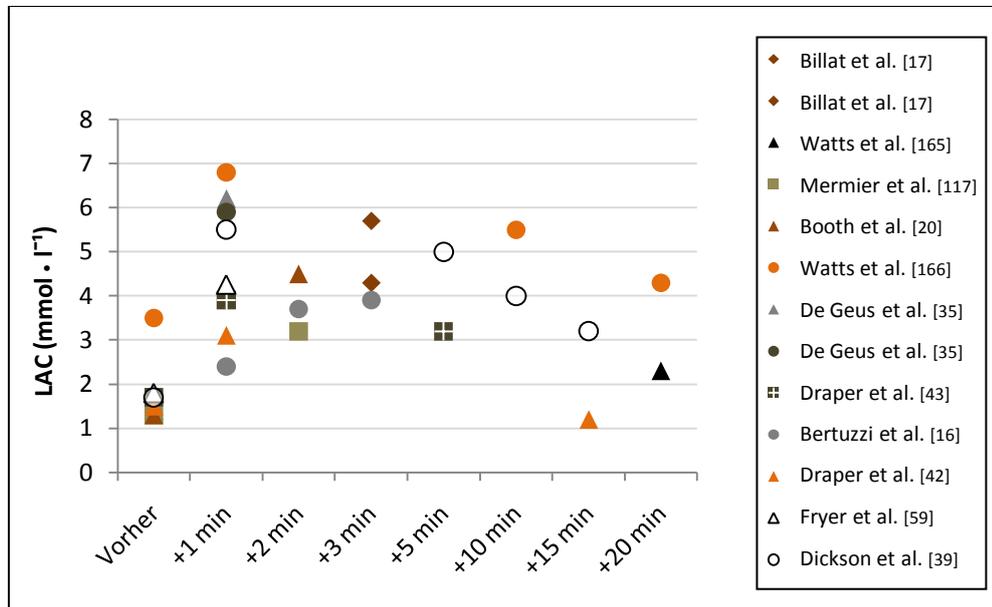
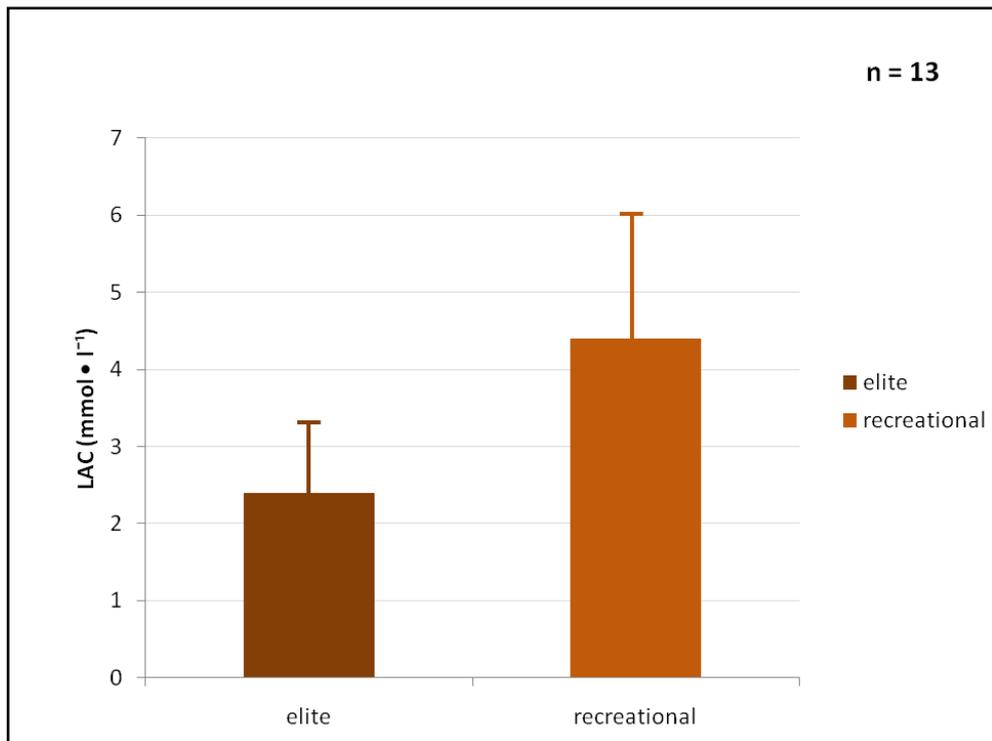


Abbildung 18. Laktatbefunde im Sportklettern (Indoor & Outdoor).

Trotz maximaler Belastungsintensitäten sind die Blutlaktatwerte im Vergleich zu anderen Sportarten wie etwa beim Laufen, Fahrradfahren oder Rudern ( $15\text{-}20/25\text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) aufgrund der relativ kleinen Muskelgruppen der Unterarme deutlich geringer [37,59,63,153,165]. Überdies scheinen keine Unterschiede zwischen den maximalen Laktatwerten nach der Qualifikationsrunde im Wettkampfbouldern und nach dem Klettern einer Wettkampfroute im Sportklettern vorzuliegen [103], was dadurch begründet werden kann, dass Sportkletterrouten zwar länger dauern, im Wettkampfbouldern aber mehrere Versuche bei höherer Belastungsintensität erfolgen, sodass im Bouldern und Sportklettern in summa ähnliche Gesamtkletterzeiten erreicht werden [103,171]. Weiterhin zeigen Studien aus dem Sportklettern, dass erhöhte Blutlaktatwerte bei passiver Erholung nach dem Klettern bis ca. 20-30 min post Belastung nachweisbar sind [1,153,165,166], während in der vorliegenden Pilotstudie die Ausgangswerte bereits nach ca. 20 min erreicht wurden.

Bertuzzi et al. [16] untersuchten die Laktatwerte im Sportklettern und konnten unmittelbar post 6a-Kletterroute bei leistungsschwächeren Kletterern („recreational“, > 6c+;  $4,4 \pm 1,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) im Vergleich zu leistungsstärkeren Sportkletterern („elite“ > 7c;  $2,4 \pm 0,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) signifikant ( $p < .05$ ) höhere Laktatwerte beobachten (vgl. Abbildung 19).



**Abbildung 19.** Laktatwerte im Sportklettern post 6a-Kletterroute, modifiziert nach Bertuzzi et al. [16].

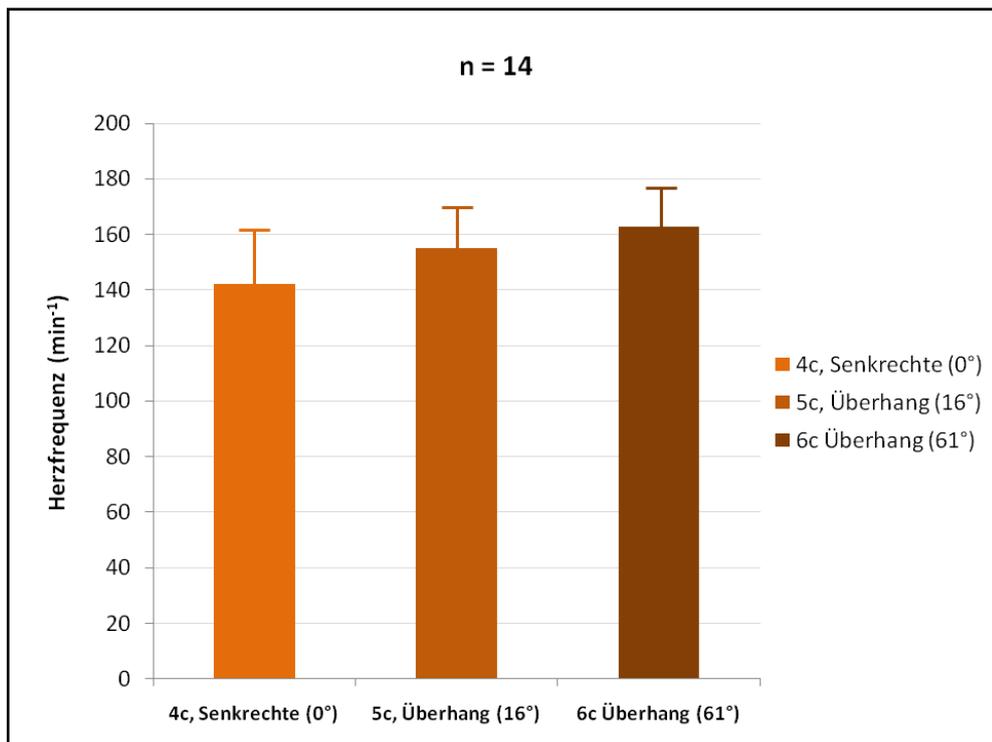
Weiterhin konnten Studien aus dem Sportklettern einen signifikanten Zusammenhang zwischen den beobachteten Blutlaktatwerten und dem Schwierigkeitsgrad der Kletterrouten beobachten [35,59,63,117,153], was überwiegend dadurch erklärt werden kann, dass durch die höheren Belastungsintensitäten der Anteil der anaeroben Energiebereitstellung zunimmt. Weiterhin ist aufgrund der Bewegungskomplexität mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad einer Kletterroute eine Reduktion der Klettergeschwindigkeit und folglich auch eine Zunahme der isometrischen Haltearbeit anzunehmen [20].

In der Pilotstudie betrug die Herzfrequenz in Ruhe  $90,0 \pm 7,8 \text{ min}^{-1}$ . Mit zunehmender Belastungsdauer und -intensität erhöhte sich die Herzfrequenz auf  $135,9 \pm 16,6 \text{ min}^{-1}$  post B1,  $146,5 \pm 14,6 \text{ min}^{-1}$  post B2 und  $163,5 \pm 11,3 \text{ min}^{-1}$  post B3. Nach B4 wurde eine durchschnittliche Herzfrequenz von  $153,9 \pm 11,1 \text{ min}^{-1}$  und nach B5 von  $145,8 \pm 15,6 \text{ min}^{-1}$  beobachtet.

Die relativ hohen Herzfrequenzwerte (im Sportklettern wurden Herzfrequenzwerte im Bereich von  $129\text{-}180 \text{ min}^{-1}$  diagnostiziert) sind, trotz kurzer Begehungsdauer, auf den hohen Anteil der isometrischen Muskelkontraktion und den Einsatz der oberen Extremitäten zurückzuführen [35,63,103,117,153]. Einige Autoren beschreiben als Ursache für die hohen Herzfrequenzbefunde die Aktivierung des Metaboreflex, ausgelöst durch die Ischämie während der isometrischen Muskelkontraktion [35,58,153]. Durch den Metaboreflex wird durch die Aktivierung des sympathischen Nervensystems die Blutzufuhr in die Muskelzelle erhöht. Die Herzfrequenz wird, in Abhängigkeit des Schwierigkeitsgrades und des Routenprofils, auch maßgebend durch die Pressatmung beeinflusst. Denn bei Krafteinsätzen von ca. 80% RM und mehr folgen eine Reduzierung des venösen Rückflusses und ein Absenken des Schlagvolumens, wodurch die Herzfrequenz und anschließend der Blutdruck kompensatorisch erhöht werden [37].

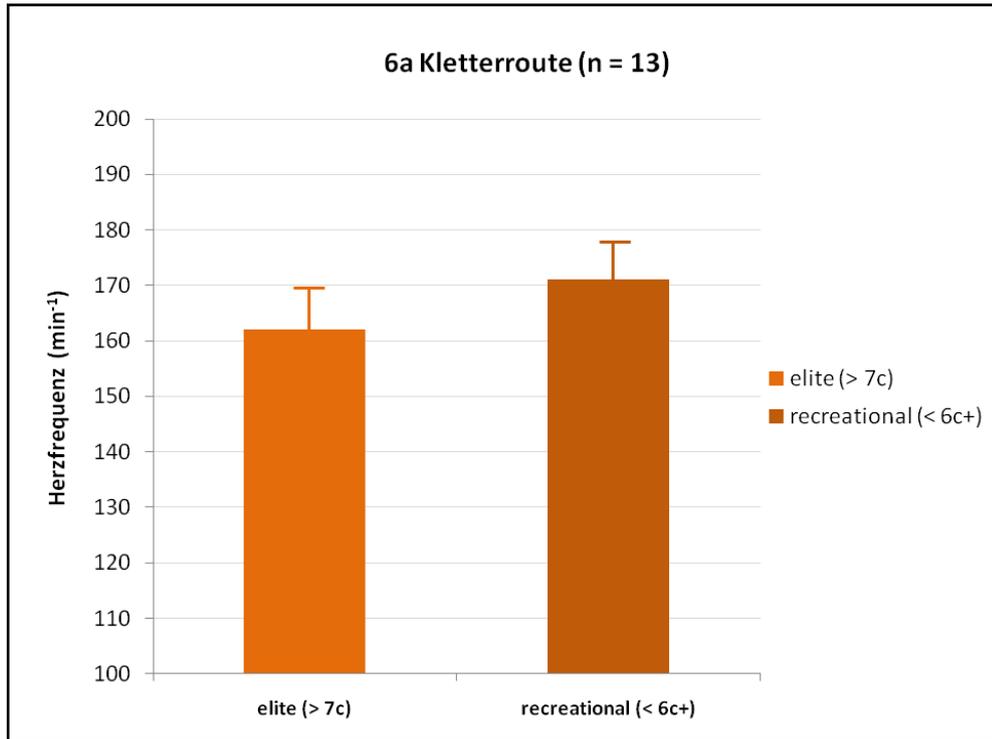
Die Ergebnisse der Pilotstudie stimmen mit den Befunden aus dem Sportklettern überein, wo Studien ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und dem Schwierigkeitsgrad und der Routenlänge darlegen konnten [63,153,154,165]. Sheel et al. [154] untersuchten die Herzfrequenz bei männlichen Sportkletterern und konnten in einer schwierigeren 6c+ Kletterroute signifikant ( $p < .05$ ) höhere Herzfrequenzwerte ( $\approx 144 \text{ min}^{-1}$ ) beobachten als in einer leichteren 6b-Kletterroute ( $\approx 129 \text{ min}^{-1}$ ). Neben dem Schwierigkeitsgrad und der Länge einer Route, wird die Herzfrequenz auch maßgebend vom Routenprofil bestimmt [17,35,117]. De Geus, Villanueva-O'Driscoll und Meeusen [35] beobachteten bei männlichen Sportkletterern (7b-8a OS) signifikant höhere maximale Herzfrequenzbefunde in einer 7c-Kletterroute ( $173,8 \pm 8,8 \text{ min}^{-1}$  und  $175 \pm 13,9 \text{ min}^{-1}$

<sup>1)</sup> als in einer 7c- Traverse ( $164,5 \pm 10,5 \text{ min}^{-1}$  und  $167,3 \pm 9,9 \text{ min}^{-1}$ ). Überdies beobachteten auch Mermier et al. [117] mit zunehmender Wandneigung und höherem Schwierigkeitsgrad der Kletterroute eine signifikante ( $p < .05$ ) Steigerung der Herzfrequenz (vgl. Abbildung 20).



**Abbildung 20.** Herzfrequenzwerte im Sportklettern, modifiziert nach Mermier et al. [117].

Weiterhin kann die Herzfrequenz durch Faktoren wie (a) individuelles Leistungsniveau, (b) Ausbelastung, (c) die Familiarisierung (dadurch ökonomischer Kletterstil) mit der Route bzw. mit dem Boulder, (d) die Klettertechnik und (e) mentalen Stress beeinflusst werden [16,20,58,63,153]. Bertuzzi et al. [16] beispielsweise beobachteten im Sportklettern (6a Route) bei leistungsschwächeren Sportkletterern ( $171 \pm 6 \text{ min}^{-1}$ ) im Vergleich zu leistungsstärkeren Sportkletterern ( $162 \pm 8 \text{ min}^{-1}$ ) signifikant ( $p < .05$ ) höhere maximale Herzfrequenzwerte (vgl. Abbildung 21).



**Abbildung 21.** Herzfrequenzwerte im Sportklettern, modifiziert nach Bertuzzi et al. [16].

Zusammenfassend konnte mithilfe der zweiten Pilotstudie gezeigt werden, dass die maximalen Laktatwerte im Wettkampfbouldern im Bereich von  $5\text{-}7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  zu liegen scheinen. Infolgedessen scheinen zwischen den Befunden im Wettkampfbouldern und denen im Sportklettern keine maßgebenden Unterschiede vorzuliegen. Im Wettkampfbouldern werden die Laktatwerte im Wesentlichen von der Belastungsdauer und -intensität der Boulder bestimmt. Weiterhin gelten das Leistungsniveau und das Profil der Boulder als Einflussfaktoren auf die Laktatwerte. Die Ausgangswerte post Belastung werden im Wettkampfbouldern bei passiver Erholung nach ca. 20-30 min erreicht. Überdies konnte gezeigt werden, dass sich mit zunehmender Belastungsdauer und -intensität auch die Herzfrequenz in Abhängigkeit vom individuellen Leistungsniveau, der Ausbelastung und dem Routenprofil auf ca.  $160\text{-}170 \text{ min}^{-1}$  erhöht.

### 3.5 Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM

Anhand des Forschungsstandes konnte gezeigt werden, dass die MAF, die KAS und die LOM im Klettersport leistungsbestimmende Größen darstellen. Abschließend sollen in Ergänzung an den Stellenwert dieser konditionellen Fähigkeiten zwei Fragen beantwortet werden:

- Wie lassen sich die MAF, die KAS und die LOM im Klettersport bestimmen und
- mit welchen Trainingsmethoden lassen sich die MAF, die KAS und die LOM steigern?

Das Wegziehen des Körpergewichts auf einer analogen Körperwaage ist im Klettersport die einfachste Messmethode zur indirekten Bestimmung der MAF [156]. Diese Form der Datenerhebung ermöglicht aufgrund einer hohen Messvariabilität allerdings keine gesicherte Aussage. Demgegenüber erfolgt die direkte Bestimmung der isolierten Maximalkraft in der Mehrzahl der Studien per Hand-Dynamometer [10,11,51,63,67,108,116,166,168]. Die Hand-Dynamometrie gilt als einfache, valide und reliable Messmethode [138], welche nicht an sportartspezifische, infrastrukturelle Gegebenheiten gebunden ist (Labormessung). Als wesentlicher Nachteil der konventionellen Hand-Dynamometermessung gilt der Einsatz des Daumens (Opposition des Daumens gegen die Handfläche bzw. die Finger), wodurch, im Hinblick auf die Bestimmung der Fingermaximalkraft, eine sportartspezifische Datenerhebung nur bedingt gewährleistet werden kann [10,54,63,120,129,150,165,168]. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Opposition des Daumens im Klettern i.d.R. nur beim Zangengriff erfolgt [63,165]. In einigen Studien wurde mittels spezieller Vorrichtungen die Dynamometermessung derart angepasst (modifizierte Hand-Dynamometrie), dass durch die Fixierung der Hand und des Armes keinen Einsatz des Daumens erfolgen kann (vgl. Abbildung 22) [108,120].



**Abbildung 22.** Modifizierter Hand-Dynamometer aus der Studie von Macdonald und Callender [108].

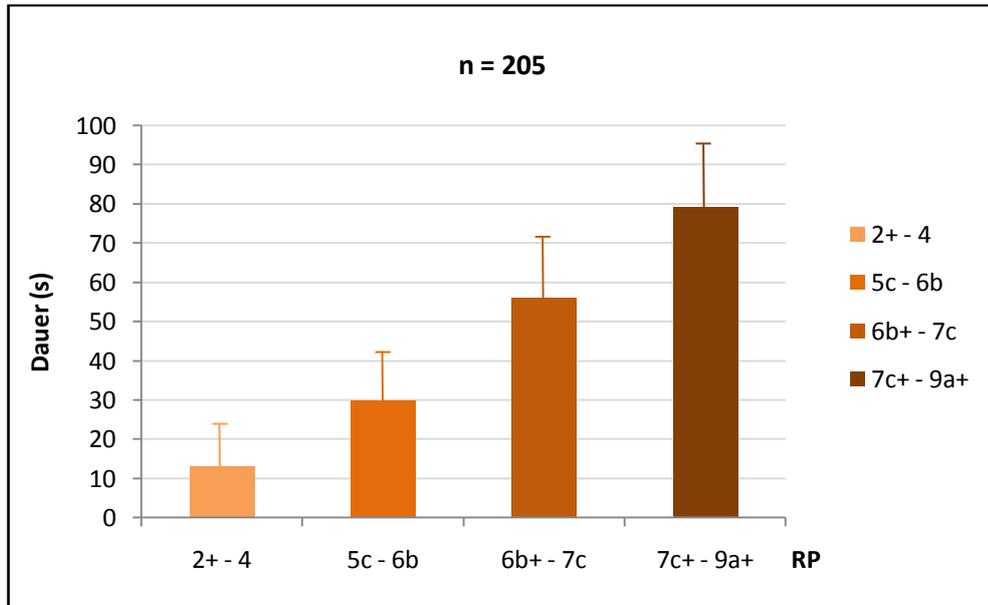
Überdies werden auch komplexere Messverfahren (e.g. Dynamometer mit Dehnungsmessstreifenprinzip, Kraftmessplatten auf piezoelektrischer Basis) mit standardisierter Positionierung der Hand und des Armes bei isolierter Beanspruchung der Fingermuskulatur eingesetzt [54,55,68,104,111,120,133,134,150,167]. Diese komplexen, i.d.R. laborgebundenen Messverfahren haben im Gegensatz zu der Feldforschung den Nachteil einer eingeschränkten Zugänglichkeit. Weiterhin wird sowohl bei der einfachen Dynamometermessung als auch bei komplexen Messverfahren aus nachfolgenden Gründen eine sportartspezifische Datenerhebung nur bedingt gewährleistet [63,120,133,163,168]:

- In der Mehrzahl der Studien erfolgt die Bestimmung der MAF für eine Griffart (überwiegend Leistengriff), obwohl im Klettern alle drei Hauptgriffarten Leisten-, Sloper- und Zangengriff in einer Vielzahl an Ausführungsformen vorkommen [63,82,110,168].
- Neben der isolierten Maximalkraft ( $MAF_{\text{isoliert}}$ ) wird in der Praxis die Fähigkeit, einen Griff zu halten (insbesondere beim Slopergriff) auch von der Reibung zwischen Körperhaut und Griffoberfläche bestimmt [163]. Diese Reibungskraft ist u.a. vom Druck, welche die Hand auf den Klettergriff ausübt, abhängig [101]. Dieser Druck wiederum ist, neben der

Fingermuskulatur, auch von der Kraftflusskette zahlreicher Muskelgruppen (Agonisten und Synergisten) abhängig [101], sodass die Bestimmung dieser *funktionalen* MAF ( $MAF_{\text{funktional}}$ ) bei isolierter Messung nicht gewährleistet werden kann.

- Die Bestimmung der MAF erfolgt i.d.R. im Sitzen oder Stehen anstatt in einer, im Klettersport üblichen, Hängeposition. Die Messung erfolgt somit unabhängig vom Körpergewicht und überprüft wird lediglich die Kraft, welche die Finger bei konzentrischer Muskelkontraktion auf das Messinstrument übertragen können [168]. Im Klettern aber wirkt die Maximalkraft der Schwerkraft entgegen, um so den Kontakt zur Kletterwand aufrechtzuerhalten [168]. Da die Kraft bei der einfachen Dynamometermessung und den komplexen Messverfahren somit in Abwesenheit vom Körpergewicht ermittelt wird, entfällt bei den Labormessungen auch die anfangs, durch die Gegenkraft des Körpergewichts stattfindende, exzentrische Kontraktion der Fingerflexoren [150,163,168].

Als Pendant zu den Labortests sind in den letzten Jahren vermehrt Hängetests zur indirekten (da keine Bestimmung der physikalischen Kraft  $F = m \times a$ ) Bestimmung der Maximalkraft über die Haltezeit in Sekunden in den Mittelpunkt gerückt [10,105,114]. Balás et al. [10] untersuchten mit Hilfe eines sportartspezifischen Hängetests (25 mm Leistentiefe, gestreckte Armausführung) die Haltezeiten bei isometrischer Muskelkontraktion und beobachteten einen signifikanten ( $p < .05$ ) Zusammenhang zwischen der RP Kletterleistungsfähigkeit und den Haltezeiten in Sekunden (vgl. Abbildung 23).



**Abbildung 23:** Zusammenhang zwischen den Haltezeiten und der RP Kletterleistungsfähigkeit (französische Bewertungsskala), modifiziert nach Balás et al. [10].

Eine häufig angewandte Variante des Hängetests zur indirekten Bestimmung der KAS ist der Bent-Arm Hängetest (BAT), bei dem die maximale Haltezeiten bei isometrischer Muskelkontraktion und 90° Beugung im Ellenbogengelenk ermittelt werden (vgl. Abbildung 24) [10,67,116].



**Abbildung 24.** Der BAT an der Klimmzugstange.

Da der BAT i.d.R. an der Klimmzugstange bzw. an sehr guten Griffen des Hangboards durchgeführt wird, sind primär die Armbeuger *M. biceps brachii*, *M. brachialis* und der *M. brachioradialis* leistungsbestimmend. In Abhängigkeit der Griffgröße (e.g. BAT an Leistengriff am Hangboard) sind auch die MAF und die LOM zunehmend leistungsbestimmend. Neben dem BAT wird die KAS in einigen Studien auch über die Zahl der Klimmzüge bestimmt [67,116].

Das Klettern einer Route ist aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren und der schwer reproduzierbaren Belastungskriterien zur Bestimmung der LOM nur bedingt geeignet [147]. Demgegenüber erfolgte in einigen Studien der Einsatz von Kletterergometern mit standardisierten und reproduzierbaren Belastungsschemata [51,132,147]. Überdies erfolgte die Messung der LOM in einigen Studien ebenfalls mittels konventionellem Hand-Dynamometer oder komplexeren (Kraftmessplatten auf piezoelektrischer Basis oder Dehnungsmessstreifen) Messverfahren [51,55,63,68,104,108,111,116,129,133,134]. Hierbei wurden bislang diverse Belastungsschemata bis zur Ausbelastung angewandt, sodass Vergleiche zwischen den einzelnen Studien nur eingeschränkt ermöglicht werden:

- Ferguson und Brown [55]: 40% MVC, 5 s Belastung - 2 s Entlastung.
- Grant et al. [68]: 40% MVC, anhaltend.
- Grant et al. [68]: 40% MVC, 6 s Belastung - 4 s Entlastung.
- Grant et al. [68]: 40% MVC, 18 s Belastung - 12 s Entlastung.
- Limonta et al. [104]: 80% MVC, anhaltend.
- MacLeod et al. [111]: 40% MVC, anhaltend.
- MacLeod et al. [111]: 40% MVC, 10 s Belastung - 3 s Entlastung.
- Macdonald und Callender [108]: 100% MVC, 5 s Belastung - 3 s Entlastung.
- Mermier et al. [116]: 50% MVC, anhaltend.
- Philippe et al. [129]: 40% MVC, 10 s Belastung - 3 s Entlastung.
- Quaine und Vigouroux [133]: 80% MVC, 5 s Belastung - 5 s Entlastung.
- Quaine et al. [134]: 80% MVC, 5 s Belastung - 5 s Entlastung.
- Vigouroux und Quaine [162]: 80% MVC, 5 s Belastung - 5 s Entlastung.

## **3.6 Trainingsmethoden zur Steigerung der MAF, KAS und LOM**

Im Anschluss an die bisher angewandten Verfahren zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM, werden nachfolgend angewandte Trainingsmethoden zur Steigerung der MAF, KAS und LOM dargestellt.

### **3.6.1 Bouldern**

Bouldern wird in der Literatur als einfache und direkte Methode zur Steigerung der MAF und der KAS beschrieben (vgl. Abbildung 25) [82]. Infolgedessen haben Trainingseinheiten an der Boulderwand für Sportkletterer und Boulderer einen eminenten Stellenwert [10,158]. Der Vorteil beim Bouldern liegt in der Isolierung maximalkräftiger und höchstkoordinativer Kletterbewegungen in Absprunghöhe, sodass keine Selbstsicherung erfolgen muss und das Training auch ohne Seilpartner durchgeführt werden kann [82,110]. Eine Steigerung der MAF, der KAS und der LOM durch Bouldern wurde bislang empirisch nicht untersucht.



**Abbildung 25.** Bouldern zur Steigerung der MAF und KAS (Katharina Saurwein, Boulder Welt-Cup 2013 in München).

### 3.6.2 Intervall Bouldern

Intervall Bouldern wird in der Literatur als Standardmethode zur Verbesserung der LOM beschrieben [1,82,110,158]. Intervall Bouldern beinhaltet das Klettern von Boulderzirkeln, sodass ein Boulder mehrmals wiederholt wird, wobei zwischen den einzelnen Wiederholungen eine „lohnende“ Pausendauer stattfindet [82,110]. Die Boulder bestehen i.d.R. aus vier bis 10 Kletterzügen und werden insgesamt vier- bis sechsmal wiederholt [69,100,102]. Daraus folgt eine ein- bis vierminütige Beanspruchungsdauer mit einer Pausendauer zwischen den einzelnen

Wiederholungen kürzer, gleich lang oder länger als die Belastungsdauer. Eine Steigerung der MAF, der KAS und der LOM durch IB wurde bislang empirisch nicht erforscht.

### 3.6.3 Moonboard

Das Moonboard ist eine weltweit angewandte Trainingsalternative zum Bouldern und wurde 2005 von Ben Moon und Rich Simpson entwickelt (vgl. Abbildung 26).



**Abbildung 26.** Ben Moon, der Erfinder des Moonboards (Quelle: [www.flow-climbing.com](http://www.flow-climbing.com), 02.11.2014, 11:06).

Beim Moonboard handelt es sich um eine 3,15 Meter hohe und 2,44 Meter breite Systemwand mit online Datenbank für das Nachschrauben standardisierter Trainingsboulder. Die Vorteile des Moonboards liegen in einem relativ günstigen Anschaffungspreis, in den geringen räumlichen Voraussetzungen und in der Reproduzierbarkeit von weltweit angewandten Trainingsboulder. Eine Steigerung

der MAF, der KAS und der LOM wurde auch für das Training am Moonboard bislang empirisch nicht belegt.

### 3.6.4 Hangboard

Das Hangboard wurde in den 1980er Jahren entwickelt und gehört im Leistungssport zu den Standardgeräten zur Verbesserung der MAF, der KAS und der LOM (vgl. Abbildung 27) [2,82,110,114,167].



**Abbildung 27.** Das Training am Hangboard, Hörst [82], S. 166.

Maximale Belastungsintensitäten werden am Hangboard durch das Training ohne Einsatz der Beine gewährleistet [82,110,114]. Infolgedessen ist das Hangboard

vorzugsweise für fortgeschrittene Kletterer konzipiert [82,110]. Eine hohe Griffvariabilität [82,110,114,167] ermöglicht ein vielseitiges Krafttraining bei individueller Beanspruchungsintensität [82,110,114]. Weitere Vorteile sind (a) der relativ günstige Anschaffungspreis, (b) die Möglichkeit, zuhause zu trainieren (hohe Zugänglichkeit), (c) die geringen Platzvoraussetzungen, (d) die exakte Bestimmung der Belastungsdauer und -intensität sowie (e) das isolierte Fingerkrafttraining an unterschiedlichen Griffarten [2,82,110,114,167]. Überdies ermöglicht die symmetrische Bauweise des Hangboards mit spiegelgleichen Griffen ein simultanes Krafttraining beider Arme [114]. Als Nachteile des Hangboards gelten die relativ hohe Verletzungsgefahr und die Monotonie des Trainings [2,27]. Zu den grundlegenden Übungen gehören Klimmzüge und Hängeübungen, sowie Hangelübungen für die Schnellkraft und Greifpräzision [2,82,110,114]. Das Hangboard wurde bislang überwiegend als Medium zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM (e.g. Bent-Arm Test) eingesetzt [6,67,116,167]. Medernach [114] untersuchte bei fortgeschrittenen Sportkletterern die Trainingseffekte eines 12-wöchigen Hangboardtrainings (1 TE / Woche) auf die LOM und konnte eine durchschnittliche Zunahme der Haltezeiten bei isometrischer Muskelkontraktion von bis zu 28 s (+94%) beobachten. Im Wettkampfbouldern wurde eine Steigerung der MAF, der KAS und der LOM bislang nicht untersucht.

#### **3.6.5 Vibrationsboard**

Das im empirischen Teil dieser Arbeit eingesetzte Vibrationsboard wurde speziell für diese Arbeit konzipiert und besteht aus einem Transgression Hangboard von JM Climbing und einer Power Plate Classic zur Generierung der Vibrationsstimuli (vgl. 4.4 Apparaturbesprechung). Der Einsatz von sportartspezifischen Vibrationsstimuli zur Steigerung der MAF, der KAS und der LOM wurde für das Wettkampfbouldern

bislang nicht erforscht. Demgegenüber wird das vibrationsgestützte Krafttraining, das seit Beginn seiner Erforschung vor mehr als 30 Jahren zunehmend Einzug in die Sportwissenschaft gefunden hat, heute in vielen Sportarten als populäre Trainingsmethode zur Steigerung der Kraftfähigkeit eingesetzt [53,62,70,95,97,107,127,128,136,155]. Im Mittelpunkt der Erforschung der Wirkungsweise von VT stehen diverse Formen der Ganzkörpervibration (WBV), sowie die direkte, lokale Vibration (Teilkörperstimulation) auf den Muskel-Sehnen-Komplex mithilfe von Vibrationskabeln oder -hanteln [22,28,40,70,83-85,89,95,96,107]. Durch den Einsatz von Vibrationsstimuli soll mithilfe von kurzen, intensiven Trainingseinheiten (kurze Belastungsdauer aufgrund der hohen Belastungsintensität) sowohl eine Trainingsökonomisierung [70,95] als auch eine Trainingsoptimierung (Effektivitätssteigerung) erzielt werden [70]. Generell scheint das vibrationsgestützte Krafttraining damit v.a. für fortgeschrittene Athleten ein hohes Nutzen zu haben, um durch den ständigen Wechsel zwischen konzentrischer und exzentrischer Muskelarbeit (*stretch-shortening-cycle*) Akkomodationsprozessen entgegenzuwirken [83,107].

Die unwillkürliche Muskelkontraktion durch den Vibrationsstimulus wurde erstmals von Eklund und Hagbarth [49] als tonischer Vibrationsreflex (*tonic vibration reflex*) beschrieben. Durch mechanische Schwingungsbewegungen beim Vibrationstraining erfolgt eine schnelle, kurzzeitige Längenänderung des Muskel-Sehnen-Komplexes [28,95]. Diese wiederkehrenden Muskeldehnungen führen über das nicht-kontraktile Mittelstück der intrafusalen Muskelfasern zu einer gesteigerten Aktivität der Muskelspindel (Zunahme der Spindelerregung), was eine Aktivierung der  $\alpha$ -Motoneuronen und somit die Kontraktion des Muskels zur Folge hat [28,33,37,83,89,128,155]. Somit führt die rhythmische, neuromuskuläre Stimulation der Muskulatur zu einer permanenten Auslösung des tonischen (myotatischen) Vibrationsreflexes mit bis zu 2.400 Muskelkontraktionen pro Minute [22,28,33,36,70,84,89,95,107,118]. Die Frequenz der Spindelerregung hängt von der Größe der Dehnung (Längenzunahme des Muskels) und von der Dehnungsgeschwindigkeit (Längenänderung pro Zeiteinheit) ab [37]. Neben den

Belastungsnormativen des konventionellen Krafttrainings, sind beim VT zusätzlich die Amplitude (halbe Distanz der Schwingungsweite, *peak-to-peak displacement* als gesamte Auslenkung), die Frequenz (Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit), die Beschleunigung (Interaktion von Frequenz und Amplitude) und die Vibrationseigenschaft als zentrale Parameter zu beachten [28,40,62,70,89,106,107,128,155]. In der Mehrzahl der Studien liegt die Vibrationsfrequenz im Bereich von 20-50 Hz [36,40,70,95,107,128] und die Amplitude, trotz widersprüchlicher Befunde, im Bereich von 1-5 mm [40,107].

Zahlreiche Studien konnten bislang die positive Wirkungsweise des vibrationsgestützten Krafttrainings auf die Kraftfähigkeit (akute und chronische Effekte) belegen [28,33,36,40,62,70,83,84,89,107,118,136,155]. Issurin, Liebermann und Tenenbaum [84] untersuchten über einen dreiwöchigen Trainingszeitraum (*sitting bench-pull*; 3 TE / Woche) die chronischen Anpassungserscheinungen bei lokaler Vibration (Frequenz: 44 Hz; Amplitude: 3 mm) auf die Maximalkraft und konnten im Vergleich zum konventionellen Krafttraining ohne Vibration (+16%; Pretest: 88,25 ± 12,48 kg, Posttest: 102,50 ± 15,55 kg) für das Krafttraining mit Vibration eine signifikant ( $p < .05$ ) höhere Maximalkraftzunahme (+49,8%; Pretest: 84,69 ± 7,84 kg, Posttest: 126,88 ± 18,84 kg) beobachten. Issurin und Tenenbaum [85] erforschten die akuten Effekte bei dynamischer Muskelkontraktion (*concentric biceps curls*) mit lokaler Vibrationsstimulation (Frequenz: 44 Hz; Amplitude: 3 mm; vibrierender Griff über Kabel) und diagnostizierten post Vibrationsbelastung sowohl bei Elitesportlern (+10,4%) als auch bei Breitensportlern (+7.9%) akut erhöhte Kraftwerte. Im gleichen Jahr untersuchten Bosco, Cardinale und Tsarpela [22] bei 12 Boxern auf internationalem Leistungsniveau ebenfalls die akuten Effekte eines Vibrationstrainings (1 TE mit 5 Wiederholungen à 1 min bei isometrischer Muskelbeanspruchung; Frequenz: 30 Hz; Amplitude 3 mm) auf die Kraftfähigkeit der Armbeugemuskulatur und beobachteten infolge der mechanischen Vibration eine signifikante ( $p < .001$ ) Zunahme der maximalen dynamischen Kraftfähigkeit der Armbeuger. Delecluse, Roelants und Verschueren [36] erforschten in 67 untrainierten Frauen die Trainingseffekte eines 12-wöchigen

Ganzkörpervibrationstrainings (Frequenz: 35-40 Hz; Amplitude: 2,5-5 mm; 3 TE / Woche; 3-20 min / TE) und konnten eine signifikante ( $p < .001$ ) Zunahme der isometrischen und dynamischen Maximalkraft der Kniestreckermuskulatur ( $+16,6 \pm 10,8\%$  und  $+9,0 \pm 3,2\%$ ) und eine signifikante ( $p < .001$ ) Zunahme der Sprunghöhe beim *Counter-Movement Jump* ( $+7,6 \pm 4,3\%$ ) feststellen. Haleva [70] untersuchte in seiner Dissertation die Effekte eines 12-wöchigen Krafttrainings (Kniebeugen mit Langhantel; 12-15 Wdh. mit 60 s Pause; 6 Sätze bei 40% des 1 RM; 3 TE / Woche) mit Ganzkörpervibration (Amplitude: 2 mm vs. 4 mm; Frequenz: 30-40 Hz) bei 44 männlichen Sportstudenten und beobachtete

- eine signifikante Steigerung ( $p < .001$ ) der Sprunghöhe beim *Drop-Jump* ( $+12,93\%$  bei VT mit 2 mm vs.  $+17,2\%$  bei VT mit 4 mm),
- eine signifikante Steigerung ( $p < .001$ ) der Sprunghöhe beim *Counter-Movement Jump* ( $+9,8\%$  bei VT mit 2 mm vs.  $+11,66\%$  bei VT mit 4 mm),
- eine signifikante Steigerung ( $p < .001$ ) der Sprunghöhe beim *Squat-Jump* ( $+13,84\%$  bei VT mit 2 mm vs.  $+17,72\%$  bei VT mit 4 mm),
- eine signifikante ( $p < .007$ ) Verbesserung der statischen Maximalkraft der Beinstreckerschlinge ( $+11,73\%$  bei VT mit 2 mm vs.  $+14,74\%$  bei VT mit 4 mm) und
- ein signifikanter ( $p < .002$ ) Anstieg der maximalen Wiederholungszahl der Kniebeugen ( $+34,55\%$  bei VT mit 2 mm vs.  $+39,54\%$  bei VT mit 4 mm).
- Allerdings wurden signifikante ( $p < 0,01$ ) Unterschiede im Vergleich zum konventionellem KT nur für die Ergebnisse beim *Drop-Jump* beobachtet (keine signifikanten Unterschiede bei allen anderen Tests).

Mester, Kleinöder und Yue [118] erforschten bei 42 Sportstudenten den Einfluss eines sechswöchigen, vibrationsgestützten Maximalkrafttrainings (*repeat squatting* während Ganzkörpervibration mit 50% der RM Zusatzlast; Frequenz: 30-50 Hz; Amplitude: 2 mm und 4 mm; 3 TE / Woche) auf die Maximalkraft und die Sprungkraft und konnten im Vergleich zum konventionellen KT (A. Isometrische Maximalkraft:  $+5\%$ ; B. Maximale Wiederholungszahl:  $+17,1\%$ ; C. Höhe beim *Drop-*

*Jump*: +2,9%) signifikant ( $p < .05$ ) höhere Werte für das VT (A. Isometrische Maximalkraft: +8,9% bei 2 mm vs. +14,7% bei 4 mm; B. Maximale Wiederholungszahl: +32,4% bei 2mm vs. +39,3% bei 4 mm; C. Höhe beim *Drop-Jump*: +13,3% bei 2 mm vs. +15,6% bei 4 mm) beobachten. Stewart, Cochran und Morton [155] untersuchten die akuten Effekte von Ganzkörpervibrationsbelastungen (Frequenz: 26 Hz; Amplitude: 2 mm) bei unterschiedlich langer Belastungsdauer (2, 4 und 6 min) auf die isometrische Kraft der Kniestrecker und konnten nach zweiminütigem VT eine signifikante ( $p < .05$ ) Kraftzunahme (+3,8%) und eine ermüdungsbedingte Abnahme der Maximalkraft nach vierminütigem VT (-2,7%) und sechsminütigem VT (-6,0%) feststellen. Di Giminiani, Tihanyi, und Safar [40] untersuchten bei 33 aktiven Studenten die Trainingseffekte eines achtwöchigen Ganzkörpervibrationstrainings (3 TE / Woche; 10 x 1 min mit 1 min Pause; Frequenz: Individuell; Amplitude: 1 mm) auf die Explosiv- und Reaktivkraft und konnten eine signifikante Zunahme der Sprunghöhe beim *Squat-Jump* (+11%;  $p = .001$ ) und bei wiederholten *Rebound Jumps* (+22%;  $p = .006$ ) feststellen. Kleinöder et al. [96] untersuchten bei 28 Personen (17 weibliche und 11 männliche Angestellten der DSHS) die Auswirkungen eines Kurzhanteltrainings (BodyVib D1; 2800 g schwere Kurzhantel; 4 Wochen; 3 TE / Woche) mit und ohne Vibration (Frequenz: 26 Hz; Amplitude: 1,3 mm) auf mechanische und medizinische Parameter und konnten u.a. eine signifikante Verbesserung der relativen Leistung bei der Trizeps- (+20,35% mit Vibration vs. +14,97% ohne Vibration) und Bizepsmuskulatur (+20,58% mit Vibration vs. -1,58% ohne Vibration) beobachten. Couto et al. [33] untersuchten die akuten Trainingseffekte lokaler Vibrationsstimuli auf den Oberkörper (Einmaltraining; 4 Sätze mit maximaler Anzahl an Wiederholungen bei *Lat Pulldown*; Frequenz: 20 Hz; Amplitude: 12 mm) und beobachteten post Belastung im Vergleich zum Training ohne Vibrationsstimuli (Pre:  $1,89 \pm 0,48 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  vs. Post:  $14,76 \pm 4,06 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ; +727,4  $\pm$  339,4%) eine signifikant ( $p < .05$ ) höhere Blutlaktatkonzentration für das Training mit Vibrationsstimuli (Pre:  $1,79 \pm 0,53 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  vs. Post:  $16,92 \pm 4,23 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ; +909,7  $\pm$  315,1%). Und Ritzmann et al. [136] untersuchten bei trainierten Studenten die Sprunghöhe (*Counter-Movement Jump*) und die lokale, statische Muskelausdauer (auf Vorderfuß stehend und Knie gebeugt; Zusatzlast via

Langhantel: 60% des Körpergewichts) nach einem vierwöchigen Krafttraining (3 TE / Woche; Vorderfuß, Ferse gehoben, 10° Beugung im Kniegelenk) mit und ohne Ganzkörpervibration (Frequenz: 25 Hz; Amplitude: 4 mm) und konnten im Vergleich zum Training ohne Vibration (+11%) eine signifikant ( $p < .05$ ) höhere Zunahme der lokalen Ausdauer beim VT (+36%) beobachten (keine signifikante Änderungen der Sprunghöhe mit VT: +3%;  $p = .25$ ).

Aufgrund unterschiedlicher und teilweise widersprüchlicher Ergebnisse, wird das vibrationsgestützte Krafttraining trotz zahlreicher, positiver Befunde in der Literatur auch kontrovers diskutiert [62,70,89,95,96,107,118,127,136,155]. Diese Befunde lassen sich grundsätzlich durch Unterschiede hinsichtlich der Untersuchungsmethodik erklären [62,89,107], wodurch ein Vergleich der funktionalen Anpassungserscheinungen zwischen den einzelnen Studien erschwert wird [136]. So gibt es bislang beispielsweise kaum Nachweise in Bezug auf die optimale Dauer der Vibrationsbelastung [136]. Zusammenfassend können nachfolgende Aspekte als Ursache für die unterschiedlichen Befunde herangezogen werden:

- **Vibrationsmethode** [70,89,95,107]: Direkte Vibration (Teilkörpervibration) auf den Muskel-Sehnen-Komplex versus indirekte Vibration (Ganzkörpervibration), bei der die Vibration vom Vibrationsursprung durch mehrere Körperteile geleitet wird [107]. Der Vorteil der indirekten Vibration liegt in der gleichzeitigen Stimulation vieler Muskelgruppen [107]. Sie hat aber den Nachteil, dass die Amplitude und Frequenz für die Muskeln, die weiter von der Quelle wegliegen, zu abgeschwächt sind [107].
- **Vibrationsamplitude** [70,83,84,89,95,100,107,155]: Die Amplitude kann je nach Studie erheblich variieren (0,2-10+ mm), wobei eine höhere Amplitude i.d.R. eine erhöhte Muskeldehnung zur Folge hat, wodurch vermehrt motorische Einheiten angesprochen werden [70,107].
- **Vibrationsfrequenz** [83,84,89,95,96,107,155]: In Abhängigkeit der Studie kann auch die Frequenz erheblich variieren (20-200Hz). Dabei hängt der tonische Vibrationsreflex in hohem Maße von der Vibrationsfrequenz ab [89], wobei

insbesondere niedrigere Frequenzen (20-25Hz) eine hohe Muskelstimulation zu gewährleisten scheinen [95].

- **Trainingsprotokoll / design** [28,84,89,95,96,107,118,136,155]: Die Wirkungsweise von VT variiert in Abhängigkeit von Belastungsart, Belastungsintensität, Belastungsdauer und Belastungsfrequenz. Eine zu geringe Belastungsintensität und -dauer mit nicht ausreichend hoher Muskelvorspannung führt zu unterschwelligen Trainingsreizen mit Massageeffekt [28,70].
- **Körperposition** [89,155]: Ausgangsstellung auf der Vibrationsplatte (Stehen, Sitzen, Stützen).
- **Leistungszustand** der Probanden und der Kontrollgruppe [95,96,136].
- **Zusatzlast** [89]: Vibrationsgestütztes Krafttraining mit und ohne Zusatzlast.
- **Vibrationsgeräte** [62,83,106,95,155]: Multidimensionale Schwingungen, seitenalternierende Systeme, rotierende Systeme.

### 3.7 Exkurs: CK im Bouldersport

Die im Blutserum messbare Gesamtaktivität der Kreatinkinase (CK) wird in der Leistungsdiagnostik zur Intensitätsbestimmung muskulärer Belastungen und zur Überprüfung von Mikrotraumata eingesetzt [13,24,37,53,98,109]. Durch die muskuläre Beanspruchung können infolge von intensiven Trainingsreizen mit hohen Belastungsintensitäten akute Schäden im Sarkolemm und in den Z-Scheiben entstehen [24,98], wodurch die Durchlässigkeit der Zellmembran erhöht wird [37,52,98] und mit zunehmender Muskelzellschädigung verstärkt CK aus der Muskelzelle ins Blut gelangen kann [24,37,52,98]. Infolgedessen scheint die CK-Diagnostik im Leistungssport als Ausdruck der Trainingsintensität insbesondere dann sinnvoll, wenn Trainingsspitzen mit gegebenenfalls mehreren Trainingseinheiten an einem Tag erfolgen [52]. Der CK-Gesamtwert im Serum besteht beim gesunden Sportler, trotz mehrerer Isoformen, überwiegend aus der, in der Skelettmuskelzelle vorkommenden, CK-MM Isoform [24]. Erhöhte Werte sind i.d.R. erst nach 6-8 Stunden zu erwarten [24,98] und nach 24 Stunden können die CK-Werte infolge eines Krafttrainings um 50-100% des Ausgangswertes ansteigen [80]. Deutlich erhöhte CK-Werte sind bis ca. 24 Stunden nach Belastung zu verzeichnen, wobei, insbesondere nach exzentrischem Krafttraining, CK-Werte von 300-6.000+ auch erst nach 24-96 Stunden erreicht werden können [24,98,126].

Im Klettersport gibt es bislang keine Forschungsarbeiten, in denen die CK-Werte post Training erforscht wurden. Zur Überprüfung der Einsetzbarkeit der Kreatinkinase-Bestimmung als Ausdruck der Trainingsintensität, erfolgte eine weitere Pilotstudie, in der die CK-Werte 24, 48 und 72 Stunden post (a) Boulderwettkampf, (b) Bouldern und (c) Training am Vibrationsboard untersucht wurden (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3.** Pilotstudie zur Überprüfung der CK-Werte ( $\bar{x} \pm s$ ).

	<b>Boulderwettkampf<sup>4</sup></b>	<b>Bouldern<sup>5</sup></b>	<b>Vibrationsboard<sup>5</sup></b>
<b>Beschreibung</b>	CK-Werte 24, 48 und 72 Stunden post Wettkampf	CK-Werte 24, 48 und 72 Stunden post Bouldern	CK-Werte 24, 48 und 72 Stunden post Training am Vibrationsboard
<b>Dauer (min)</b>	240	150	150
<b>n</b>	12 (männlich)	12 (männlich)	9 (männlich)
<b>Alter (Jahre)</b>	27,0 ± 5,2	26,3 ± 5,1	26,4 ± 4,4
<b>Größe (cm)</b>	178,6 ± 7,4	178,2 ± 8,2	178,2 ± 3,5
<b>Gewicht (kg)</b>	70,3 ± 6,5	69,4 ± 5,9	70,5 ± 5,6
<b>Klettererfahrung (Jahre)</b>	8,3 ± 3,1	6,2 ± 2,5	5,9 ± 2,2
<b>Leistungsniveau (S-Score)</b>	10,0 ± 0,7	9,9 ± 0,7	9,8 ± 0,8

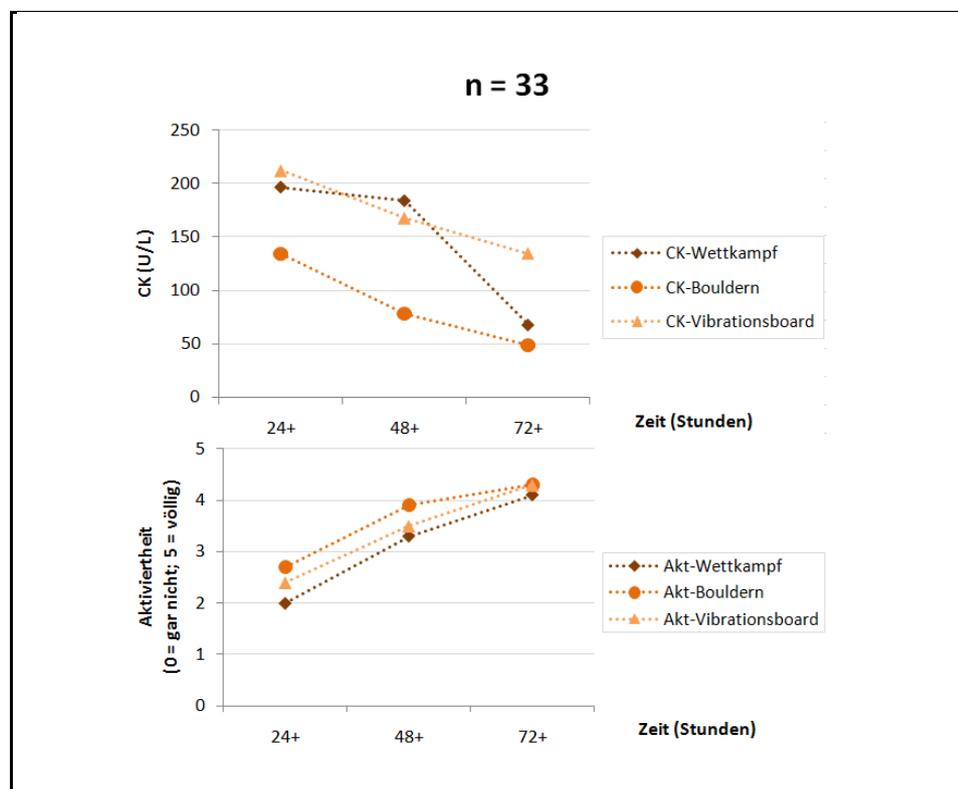
Alle Probanden mussten im Vorfeld der Untersuchung eine Pausendauer von mindestens 48 Stunden gewährleisten. Überdies durften keine schweren, körperlichen Aktivitäten (e.g. Sportliche Belastung, schwere körperliche Arbeit) bis zur finalen CK-Erhebung erfolgen. Die Bestimmung der CK-Aktivität erfolgte mit dem Vario Photometer II von Diagnostics (vgl. 4.4 Apparaturbesprechung). 60 µL venöses Kapillarblut wurden mit Hilfe einer End-to-End Kapillare aus dem Ohrläppchen entnommen, eine Minute zentrifugiert (Sprout, 6.000 UpM) und anschließend während fünf Minuten inkubiert (37°C nach den Vorgaben der *International Federation of Clinical Chemistry*). Als Ergänzung zu der physiologischen Messgröße wurde die wahrgenommene „Aktiviertheit“ der Probanden mithilfe einer sechsstufigen (0 = gar nicht; 5 = völlig) WKV-Ratingskala zur Verlaufskontrolle der körperlichen Befindlichkeit erhoben (vgl. 4.3.2.1 Wahrgenommene körperliche

<sup>4</sup> Breitensport-Wettkampf (50 Boulder, kein Intervallmodus).

<sup>5</sup> Trainingsinhalte gemäß den Beschreibungen in Kapitel 4.3.3 Trainingsinhalte der fünf Trainingsmethoden.

Verfassung). Die Erhebung der  $WKV_{Aktiviertheit}$  erfolgte in körperlicher Ruhe vor jeder CK-Messung. Weiterhin wurde nach Trainingsende das subjektive Anstrengungsempfinden anhand der RPE-Skala (*ratings of perceived exertion*) erhoben [21].

Die RPE betrug, als Ausdruck hoher bis maximaler Belastungen, unmittelbar nach dem Boulderwettkampf den Wert  $17,3 \pm 1,7$  („sehr anstrengend“), nach der Bouldereinheit den Wert  $15,4 \pm 1,3$  („anstrengend“) und nach dem Training am Vibrationsboard den Wert  $18,6 \pm 1,2$  („sehr sehr anstrengend“). Die CK-Werte (vgl. Abbildung 28) erreichten 24 Stunden nach dem Boulderwettkampf einen Maximalwert von  $196,6 \pm 51,8$  U/L. Eine leichte Abnahme erfolgte nach 48 Stunden ( $183,9 \pm 33,6$  U/L) bis hin zu  $67,8 \pm 17,9$  U/L nach 72 Stunden. Vergleichbare Ergebnisse wurden für die Trainingseinheit am Vibrationsboard ( $212,1 \pm 112,5$  U/L,  $167,7 \pm 42,8$  U/L und  $134,5 \pm 49,8$  U/L) und beim Bouldern ( $134,4 \pm 92,0$  U/L,  $78,3 \pm 44,8$  U/L und  $48,6 \pm 36,1$  U/L) beobachtet.



**Abbildung 28.** CK und  $WKV_{Aktiviertheit}$  nach dem Boulder-Wettkampf, der Bouldereinheit und der Trainingseinheit am Vibrationsboard.

Höhere CK-Werte nach 72 Stunden beim Training am Vibrationsboard ( $\approx 135$  U/L) im Vergleich zum Boulderwettkampf ( $\approx 70$  U/L) und zur Bouldereinheit ( $\approx 50$  U/L) können möglicherweise durch die ungewohnte Belastung beim Vibrationstraining erklärt werden. Trotz hoher bis maximaler Belastungsintensitäten und einer deutlich niedrigeren WKV<sub>Aktiviertheit</sub> 24 Stunden post Wettkampf ( $2,0 \pm 0,7$ ), Bouldern ( $2,7 \pm 0,8$ ) und Training am Vibrationboard ( $2,4 \pm 0,7$ ) im Vergleich zu den Befunden 48 Stunden post Belastung ( $3,3 \pm 1,0$ ,  $3,9 \pm 0,3$  und  $3,5 \pm 0,7$ ) und 72 Stunden post Belastung ( $4,1 \pm 0,7$ ,  $4,3 \pm 0,6$  und  $4,3 \pm 0,4$ ), liegen alle CK-Werte in der vorliegenden Pilotstudie im Bereich der Ruhereferenzwerte ( $< 200$  U/L bei Männern) [29,53,56,109]. Eine bedeutende Steigerung der CK-Werte konnte demnach nicht beobachtet werden, während ein deutlicher Rückgang der CK-Werte bei anhaltender Ruhephase innerhalb von 48-96 Stunden [24,109] bei allen drei Untersuchungen festgestellt werden konnte.

In einer älteren Studie von Clarkson et al. [30] wurden infolge von isometrischen Belastungen der Ellenbogenbeuger ebenfalls CK-Werte im Bereich von 200-250 U/L beobachtet. Demgegenüber diagnostizierten Clarkson, Nosaka und Braun [31] 96 Stunden nach maximaler exzentrischer Beanspruchung der Ellenbogenflexoren (zwei Sätze mit jeweils 35 maximalen Muskelkontraktionen) maximale CK-Werte von durchschnittlich ca. 2.500 U/L. Nosaka, Newton und Sacco [126] beobachteten 48 Stunden post exzentrischer Belastungen der Ellenbogenflexoren CK-Werte über 1.000 U/L und 96 Stunden post Belastung Peak-Werte von ca. 5.500 U/L. Und Barroso et al. [13] untersuchten die CK-Werte nach exzentrischer Belastung der Ellenbogenflexoren mithilfe eines isokinetischen Dynamometers und ermittelten nach 48 Stunden Maximalwerte von ca. 8.000 U/L und nach 72 Stunden im Bereich von 14.500 U/L.

Diese Studien zeigen, dass eine CK-Erhöhung um den Faktor 10-10.000 insbesondere post hochintensiven, exzentrischen Belastungen auftreten [23,31,37,98,126], sodass als mögliche Erklärung für die Befunde der Pilotstudie die überwiegend isometrische Belastung der primär beanspruchten Muskelgruppen der

Unterarme herangezogen werden kann. Überdies hängen die CK-Werte zu einem Großteil von der Trainingsintensität und der Belastungsdauer ab [24,98], da bei niedrigen bis moderaten Belastungsintensitäten die Durchlässigkeit der Zellmembran nur geringfügig erhöht wird, sodass die CK-Werte im Blut kaum ansteigen [24]. Zu niedrige Trainingsintensitäten und eine zu kurze Belastungsdauer scheinen aufgrund der RPE- und WKV-Befunde für das Ausbleiben einer bedeutenden CK-Zunahme allerdings nicht herangezogen werden zu können. Demgegenüber gelten die Gewöhnung an die Belastung (*Repeated Bout-Effekt*) und somit auch der individuelle Trainingszustand als bedeutende Einflussfaktoren auf den CK-Gehalt im Blutbild [24,31,52,98]. Generell sind bei identischer Belastung geringere CK-Werte bei trainierten Sportlern im Vergleich zu weniger trainierten Sportlern zu beobachten [24]. Diesbezüglich ist zu beachten, dass die Probanden der vorliegenden Pilotstudie ein relativ hohes Leistungsniveau (7b-7b+ Fb) und eine langjährige Klettererfahrung (ca. 6-8 Jahre) aufzeigen konnten. Weiterhin können die CK-Werte durch individuelle Faktoren (e.g. *High vs. low responder*, Alter, Geschlecht, Körpergewicht), potentielle Störvariablen wie klimatische Bedingungen (nicht erhoben), die Ernährung (e.g. Niedrigere Werte bei *branched chain amino acid* Supplementierung), der Einfluss von Fremdbelastungen (e.g. Körperliche Aktivität während der Arbeit) oder äußere Einflussfaktoren (unbemerkte Prellung, Quetschung, Zerrung) beeinflusst werden [24,31,52,56,74,80,98,109,173].

Schlussfolgernd deuten die niedrigen CK-Befunde der Pilotstudie, welche einer hohen interindividuellen Variabilität und zahlreichen Einflussfaktoren unterliegen [24,31,74,98,109], darauf hin, dass die CK-Analyse zur retrospektiven Beurteilung der Trainingseinheiten im leistungsorientierten Bouldersport nicht sinnvoll eingesetzt werden kann.

## 3.8 Zusammenfassung

Das Wettkampfbouldern etablierte sich im Zuge der Popularisierung des Klettersports ab den 1980er Jahren zunehmend als eigenständige Wettkampfdisziplin. Aufgrund der hohen Belastungsintensitäten, der relativ niedrigen Kletterhöhe und einer durchschnittlichen Anzahl von vier bis acht Klettergriffen, sind die sportartspezifische MAF und KAS im Wettkampfbouldern primär leistungsbestimmend. Überdies konnte anhand der beiden Pilotstudien gezeigt werden, dass die LOM ebenfalls als leistungsbestimmende Größe betrachtet werden kann. Als Ursache hierfür gelten (a) durchschnittliche Kletterzeiten von 40 s und länger, (b) eine kurze Erholungszeit von 5 min zwischen zwei Bouldern und (c) mehrere Versuche, die Athleten an einem Boulder durchführen, mit einer Pausendauer zwischen den einzelnen Versuchen von ca. 30 s.

Sportartspezifische Trainingsmethoden und hocheffektive Trainingsgeräte zur Steigerung der MAF, der KAS und der LOM sind im Wettkampfbouldern im Hinblick auf die Maximierung der individuellen Leistungsfähigkeit eine *conditio sine qua non*. Allerdings wurde die Mehrzahl der angewandten Trainingsmethoden bislang wissenschaftlich nicht untersucht und demzufolge bleibt, trotz wachsender Popularität, Professionalität und Wettkampforientierung, weiterhin ungeklärt, ob, in welchem Ausmaß und in welchem Zeitrahmen viele der angewandten Trainingsmethoden zu einer Steigerung der MAF, der KAS und der LOM beitragen können.

Im empirischen Teil dieser Arbeit wird somit versucht, fünf sportartspezifische Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern auf ihre Wirkungsweise zu erforschen.

## 4 Empirische Untersuchung

### 4.1 Hypothesen

Die vorliegende Studie zur Überprüfung der Wirkungsweise sportartspezifischer Trainingsmethoden wurde im Institut für Natursport und Ökologie an der Deutschen Sporthochschule Köln durchgeführt. Im experimentellen Teil dieser Arbeit werden die Trainingseffekte von Bouldern (BL), Intervall Bouldern (IB), dem Training am Moonboard (MB), Hangboard (HB) und Vibrationsboard (VB) auf die MAF (Maximalkraft der Fingermuskulatur), die KAS (Kraftfähigkeit der Armbeuger im Ellenbogengelenk und der Muskeln des Schultergürtels) und die LOM (lokale Muskelausdauer der Fingermuskulatur) überprüft.

Die nachfolgenden 10 Hypothesen wurden aufgestellt:

#### Hypothese 1:

- *Nullhypothese  $H_{01}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Bouldereinheiten (BL) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
- *Alternativhypothese  $H_{A1}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Bouldereinheiten (BL) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu einer Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

#### Hypothese 2:

- *Nullhypothese  $H_{02}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
- *Alternativhypothese  $H_{A2}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu einer Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

#### Hypothese 3:

- *Nullhypothese  $H_{03}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

- *Alternativhypothese  $H_{A3}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu einer Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

### Hypothese 4:

- *Nullhypothese  $H_{04}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
- *Alternativhypothese  $H_{A4}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu einer Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

### Hypothese 5:

- *Nullhypothese  $H_{05}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
- *Alternativhypothese  $H_{A5}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu einer Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

### Hypothese 6:

- *Nullhypothese  $H_{06}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL), 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu keiner größeren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
- *Alternativhypothese  $H_{A6}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL), 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu einer größeren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

### Hypothese 7:

- *Nullhypothese  $H_{07}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL), 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu keiner größeren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

- *Alternativhypothese  $H_{A7}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL), 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu einer größeren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

### **Hypothese 8:**

- *Nullhypothese  $H_{08}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) zu keiner größeren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
- *Alternativhypothese  $H_{A8}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) zu einer größeren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.

### **Hypothese 9:**

- *Nullhypothese  $H_{09}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu keiner größeren Steigerung der LOM.
- *Alternativhypothese  $H_{A9}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu einer größeren Steigerung der LOM.

### **Hypothese 10:**

- *Nullhypothese  $H_{010}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL) zu keiner größeren Steigerung der MAF und der KAS.
- *Alternativhypothese  $H_{A10}$* : Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL) zu einer größeren Steigerung der MAF und der KAS.

## 4.2 Untersuchungsgut

Die Gesamtstichprobe (vgl. Tabelle 4) zur wissenschaftlichen Überprüfung der Hypothesen bestand aus 57 männlichen Boulderern mit Wettkampferfahrung, welche freiwillig und ohne Honorar an der Studie teilgenommen haben.

**Tabelle 4.** Personen-, Körper- und Klettereigenschaften der Gesamtstichprobe ( $\bar{x} \pm s$ )

Alter (Jahre)	25,4 ± 4,5
Körpergröße (cm)	177,9 ± 5,7
Körpergewicht (kg)	70,0 ± 5,6
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22,1 ± 1,4
Klettererfahrung (Jahre)	6,6 ± 2,9
Kletterniveau (S-Score <sup>6</sup> )	10,2 ± 0,9
Fb-Boulderniveau	7b
Trainingstage pro Woche	4,0 ± 1,6

Das Auswahlverfahren für die Gesamtstichprobe erfolgte nach dem Zufallsprinzip, sodass theoretisch jedes Element der Grundgesamtheit nach Gewährleistung der im Vorfeld festgelegten Teilnahmekriterien an der Studie teilnehmen konnte. Die Probandenakquise erfolgte in lokalen Klettervereinen und kommerziellen Boulderhallen. Alle Teilnehmer wurden zunächst in ein persönliches Interview eingeladen, in dem Zielsetzung, zeitlicher Ablauf und Inhalte der Untersuchung sowie die Anforderungen an die Probanden dargelegt wurden. Das Interview diente überdies zur Darstellung allgemein gültiger Einschlusskriterien, um möglichst homogene Stichproben zu gewährleisten (vgl. 10. Anhang). Da die Trainingseffekte im leistungsorientierten Wettkampfbouldern überprüft werden sollten, wurde ein Mindestleistungsniveau von 7a Fb für die Teilnahme an der Studie vorausgesetzt. Zusammenfassend wurden nachfolgende Einschlusskriterien festgelegt:

<sup>6</sup> vgl. Tabelle 5.

- Mindestens 18 Jahre,
- mindestens drei Jahre Bouldererfahrung,
- mindestens ein Jahr Wettkampferfahrung,
- mindestens ein 7a Fb Boulder in den letzten drei Monaten vor der Studie,
- mindestens ein Jahr Erfahrung im boulderspezifischem Krafttraining (einmal wöchentlich),
- kein periodisiertes Bouldertraining in den letzten vier Wochen vor Beginn der Untersuchung,
- und keine allgemeinen oder sportartspezifischen, akuten oder chronischen Beschwerden und / oder Verletzungen.

Alle Probanden mussten im Vorfeld der Studie einer schriftlichen Einverständniserklärung zustimmen (vgl. 10. Anhang). Die Studie wurde mit Zustimmung der Ethikkommission der Deutschen Sporthochschule Köln (vgl. 10. Anhang), sowie in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki [169] und den *Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research* des *International Journal of Sports Medicine* [71] durchgeführt.

Obwohl die Selbstangabe der übergeordneten Kletter- und Boulderleistungsfähigkeit einer subjektiven Interpretation unterliegt, gilt sie als weltweit anerkanntes und valides Verfahren zur Bestimmung des Leistungsniveaus [10,23,46,47,51,54,60,67,105,116,129]. Dieses einfache Verfahren zur Gruppierung der Probanden anhand ihres Leistungsniveaus ermöglicht die Konstellation homogener Stichproben und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit bisherigen Studien [46]. In einigen Publikationen aber können, im Hinblick auf diese Vergleichbarkeit der Ergebnisse, nachfolgende Kritikpunkte beobachtet werden:

- Je nach Region, Land und Kontinent wurden unterschiedliche Bewertungsskalen zur Bestimmung der individuellen Kletterleistungsfähigkeit eingesetzt [46]. Im Sportklettern gehören das *Yosemite Decimal System* und das *French System* zu den häufigsten

Bewertungsskalen [45,46,63,150,165]. Im Bouldern überwiegen die Fontainebleau Skala (Fb) und das amerikanische Pendant (*V-Scale*) [131].

- Die Bewertungsskalen sind im Bouldern und Sportklettern unterschiedlich, sodass eine Vergleichbarkeit zwischen beiden Disziplinen erschwert wird. I.d.R. werden Boulder ca. zwei Grade schwerer eingestuft als Kletterrouten [45,46,54].
- Je nach Studie wurden bislang unterschiedliche Methoden zur Beurteilung der Kletterleistungsfähigkeit angewandt (e.g. Schwerste Route Indoor, schwerste Route Outdoor, OS-Leistungsfähigkeit, RP-Leistungsfähigkeit) [45,46].
- Desweiteren variiert zwischen den Studien die Zeitspanne (e.g. Im letzten Jahr, in den letzten vier Wochen), die zur Erhebung der schwersten Route bzw. des schwersten Boulders herangezogen wurde [142].
- Die Kategorisierung des Leistungsniveaus zwischen den einzelnen Studien ist bislang weder einheitlich (e.g. Anfänger, Fortgeschrittene, Experte), noch zeitgebunden (e.g. Experte vor 20 Jahren vs. heute) [47]. In einigen Studien erfolgte zudem keine eindeutige Beschreibung des Leistungsniveaus (e.g. „*Experienced climbers*“) [153].

Zur Standardisierung und statistischen Verarbeitung der übergeordneten Kletter- und Boulderleistungsfähigkeit, wurde in der vorliegenden Forschungsarbeit die von Brent et al. [25] und Draper et al. [45] konzipierte Tabelle der Schwierigkeitsgrade eingesetzt (vgl. Tabelle 5). Durch die Ausrechnung eines übergeordneten *Study-Scores* (S-Score) wird eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien, unabhängig von der Bewertungsskala und der Kletterdisziplin, ermöglicht.

**Tabelle 5.** Tabelle zur Einstufung der Kletter- und Boulderleistungsfähigkeit, modifiziert nach Brent et al. [25] und Draper et al. [45]. Rot markiert ist die durchschnittliche Leistungsfähigkeit der Gesamtstichprobe.

<b>Climbing Level</b>	<b>Sport Grade (FR)</b>	<b>UIAA</b>	<b>YDS</b>	<b>Ewbank</b>	<b>Bouldering Level</b>	<b>Fb Bouldering Grade</b>	<b>Study Score</b>	
<i>Lower Grade</i>	1	I	5.1	9	<i>Novice</i>	≤ 4	1	
	2	II	5.2	10				
	2+	III	5.3	11				
	3-	IV	5.4	12				
	3	IV+	5.5	13				
	3+	V	5.6	14				
	4	V+	5.7	15				
	4+	VI-	5.8	16				
<i>Intermediate</i>	5	VI	5.9	17	<i>Intermediate</i>	4+	2	
	5+	VI+	5.10a	18		5	3	
	6a	VII-	5.10b	19		5+	4	
	6a+	VII	5.10c	20		6a	5	
	6b	VII	5.10d	21		<i>Advanced</i>	6a+	6
	6b+	VII+	5.11a	22				
	6c	VIII-	5.11b	23				
	6c+	VIII-	5.11c	23				
7a	VIII	5.11d	23					
7a+	VIII+	5.12a	24					
<i>Advanced</i>	7b	IX-	5.12b	25	<i>Advanced</i>	6b - 6b+	7	
	7b+	IX-	5.12c	26		6c - 6c+	8	
	7c	IX	5.12d	27		7a - 7a+	9	
	7c+	IX+	5.13a	28		7b - 7b+	10	
	8a	X-	5.13b	29		<i>Elite</i>	7c - 7c+	11
8a+	X-	5.13c	30	8a - 8a+	12			
8b	X	5.13d	31					
8b+	X+	5.14a	32					
8c	XI-	5.14b	33					
<i>Elite</i>	8c+	XI	5.14c	34	8b - 8b+		13	
	9a	XI+	5.14d	35	≥ 8c		14	
	9a+	XI+	5.15a	36				
	9b	XII-	5.15b	37				
	9b+	XII	5.15c	38				
<i>World Class</i>								

## 4.3 Untersuchungsgang

### 4.3.1 Gruppenbildung

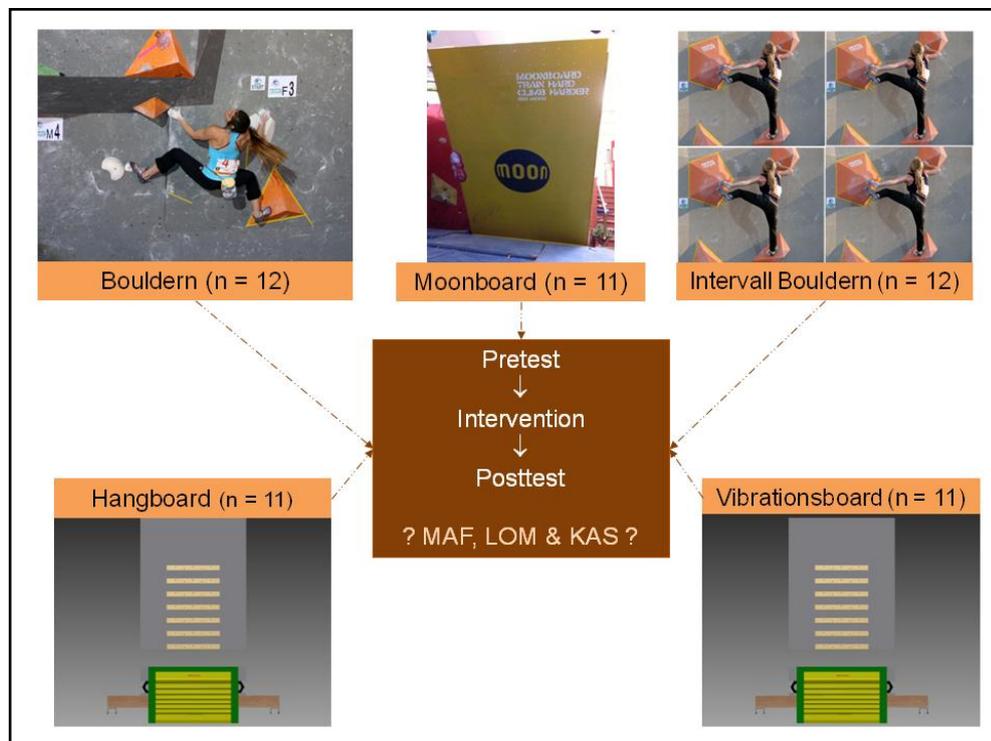
Zur Überprüfung der Hypothesen wurden die Probanden der Gesamtstichprobe ( $n = 57$ ) in fünf homogene Untersuchungsgruppen aufgeteilt (vgl. Tabelle 6).

**Tabelle 6.** Personen-, Körper- und Klettereigenschaften der fünf Stichproben ( $\bar{x} \pm s$ ).

	<b>BL</b>	<b>IB</b>	<b>MB</b>	<b>HB</b>	<b>VB</b>
Stichprobenhöhe ( $n$ )	12	12	11	11	11
Alter (Jahre)	25,0 $\pm$ 4,5	25,4 $\pm$ 5,3	26,0 $\pm$ 4,9	26,3 $\pm$ 4,5	24,5 $\pm$ 3,6
Körpergröße (cm)	177 $\pm$ 6	176 $\pm$ 8	180 $\pm$ 6	178 $\pm$ 4	178 $\pm$ 2
Körpergewicht (kg)	69,4 $\pm$ 5,4	68,8 $\pm$ 5,3	70,3 $\pm$ 6,4	71,0 $\pm$ 5,6	70,9 $\pm$ 5,8
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22,1 $\pm$ 1,2	22,3 $\pm$ 1,5	21,6 $\pm$ 1,0	22,4 $\pm$ 1,4	22,3 $\pm$ 1,7
Klettererfahrung (Jahre)	6,5 $\pm$ 3,2	7,0 $\pm$ 3,2	6,9 $\pm$ 2,9	5,8 $\pm$ 2,4	6,6 $\pm$ 3,2
Kletterniveau (S-Score)	9,8 $\pm$ 0,7	10,5 $\pm$ 0,9	10,0 $\pm$ 0,8	9,8 $\pm$ 1,0	10,5 $\pm$ 1,1
Fb-Niveau	7b	7b	7b	7b	7b

Die randomisierte Gruppenzuweisung in die einzelnen Stichproben erfolgte nach dem Urnenmodell [146], um mithilfe der Zufallszuweisung einen systematischen Zusammenhang zwischen personalen Merkmalen der Probanden und deren Zugehörigkeit in eine Stichprobe ausschließen zu können [146]. Hierfür wurden den Probanden Zahlen (1-57) zugeordnet (diese Nummerierung wurde für die anonymisierte Datensicherung beibehalten), welche auf einen Zettel notiert und in einen Topf gelegt wurden. Bei der anschließenden Auslosung wurde die erste gezogene Zahl der Trainingsgruppe BL zugeordnet, die zweite gezogene Zahl der Trainingsgruppe IB, die dritte gezogene Zahl der Trainingsgruppe MB usw., bis eine Aufteilung sämtlicher Probanden in die fünf Stichproben gewährleistet wurde.

In Abbildung 29 sind die fünf Trainingsgruppen im Überblick dargestellt.



**Abbildung 29.** Die fünf Trainingsgruppen der Studie.

Mithilfe einer klassischen Gruppenvergleichsmethode mit Versuchs- und Kontrollgruppen, sowie Vorher-Nachher-Messungen, sollen Querschnitts- (die Stichproben werden im Hinblick auf ihre unterschiedlichen Merkmalsausprägungen untereinander verglichen) und Längsschnittsvergleiche (Veränderung der Merkmalsausprägungen im Laufe der Zeit) ermöglicht werden. Für die Querschnittsvergleiche zur Überprüfung der Wirkungsweise der fünf Trainingsformen ist die Bildung von homogenen Gruppen entscheidend, da sich andernfalls bei einer „verzerrten“ Probandenauswahl die Experimental- und Kontrollgruppen nicht nur hinsichtlich des Stimulus, sondern auch durch andere Merkmale wie etwa das Leistungsniveau unterscheiden würden [146].

### 4.3.2 Pre- und Posttest

In Tabelle 7 sind alle Testverfahren zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM im Überblick dargestellt.

**Tabelle 7.** Testverfahren zur Datenerhebung. Zur Erklärung der Abkürzungen wird auf das Abkürzungsverzeichnis auf S. VI verwiesen.

Test	ID	Beschreibung	Messgröße	Sensitivität
Körper- eigenschaften	1	Körpergewicht	kg	1 kg
		Körpergröße	cm	0,5 cm
WKV	2	Aktiviertheit	0-5	/
		Trainiertheit	0-5	
		Gesundheit	0-5	
Temperatur Luftfeuchtigkeit	4	Raumtemperatur	°C	0,1 °C
		Luftfeuchtigkeit	%	0,1%
LAC und HF	5	LAC 1 min post	mmol • l <sup>-1</sup>	0,2 mmol • l <sup>-1</sup>
		HF post	min <sup>-1</sup>	1 min <sup>-1</sup>
Dynamometrie	6	absolute MAF	kg	0,5 kg
MZW	7	Klimmzüge an Leiste	n	/
	8	Haltezeit an Leiste	s	
Dead Hang	9	Haltezeit an Sloper	s	0,2 s
	10	Haltezeit an Zange	s	
Klimmzüge	11	Anzahl	n	/
	12	Haltezeit bei 90° EBG an 7,5 mm Leiste	s	0,2 s
	13	Haltezeit bei 90° EBG an 10 mm Leiste	s	0,2 s
	14	Haltezeit bei 90° EBG an 15 mm Leiste	s	0,2 s
	15	Haltezeit bei 90° EBG an 20 mm Leiste	s	0,2 s
	16	Haltezeit bei 90° EBG an 30 mm Leiste	s	0,2 s
IHT	17	Intermittierender Hängetest an Leiste (8 s Kontraktion - 4 s Pause)	n	/
KIA	18	Kletterzeit bis Ausbelastung	s	0,2 s
Tabata- Protokoll	19	Intermittierender Hängetest mit 90° Beugung im EBG (20 s Belastung - 10 s Pause)	n	/

Die Datenerhebung zur Überprüfung der Wirkungsweise der fünf angepassten Trainingsmethoden erfolgte in der Boulderhalle des *Boulder Klub Lëtzebuergs* (B.K.L.) in Luxemburg-Stadt. Für alle fünf Trainingsmethoden wurde eine vierwöchige Trainingsphase (3 TE / Woche) mit Pre- und Posttest zur Datenerhebung durchgeführt (vgl. Abbildung 29).



**Abbildung 30.** Untersuchungsverlauf der Studie.

Mit der Zielsetzung einer maximalen Testzugänglichkeit, wurden zur Ermittlung der MAF, der KAS und der LOM einfache, boulderspezifische Testverfahren eingesetzt. Diese Testverfahren haben im Gegensatz zu Labormessungen den Vorteil, dass die Datenerhebung in jeder beliebigen Boulderhalle (Feldforschung mit Erhalt des natürlichen Handlungsfeldes) erfolgen kann [78]. Dadurch wurde versucht, eine hohe Testzugänglichkeit ohne zeitintensive Anreisen zu ermöglichen. Weiterhin konnte aufgrund einfacher Testverfahren auf kostenintensive Laborgeräte verzichtet werden. Überdies wird eine Vergleichbarkeit mit bisherigen Studien aus dem Klettersport ermöglicht und eine praxisnahe Datenerhebung mit Überlappung der Test- und Trainingsinhalte gewährleistet.

Die Gesamtdauer von Pre- und Posttests zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM betrug jeweils ca. 120 min. Der zeitliche Ablauf der Pre- und Posttests zur Datenerhebung ist in Abbildung 31 dargestellt.

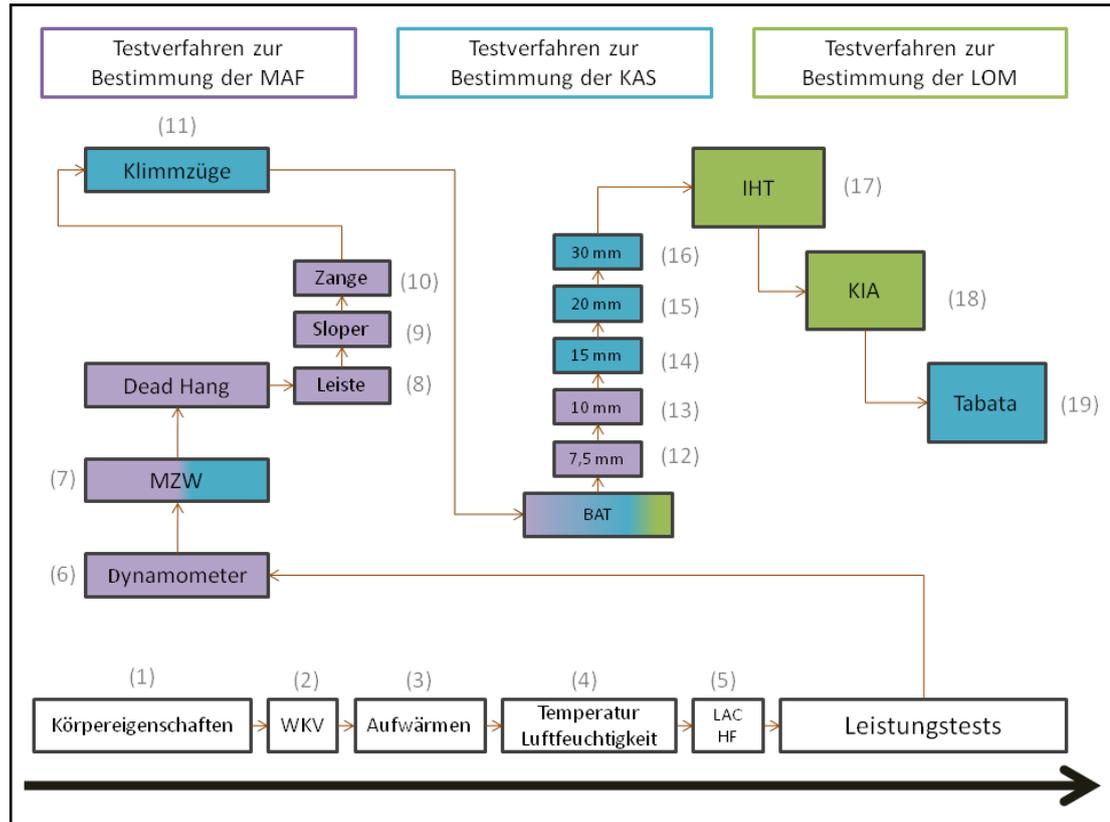


Abbildung 31. Zeitlicher Ablauf der Pre- und Posttests zur Datenerhebung.

Im Hinblick auf eine standardisierte Testimplementierung wurden für alle Pre- und Posttests nachfolgende Testkriterien in Anlehnung bisheriger Publikationen festgelegt.

- Alle Pre- und Posttests wurden zur gleichen Jahreszeit (November bis Februar) durchgeführt. Hierdurch wurde versucht, hohe Schwankungen der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit zu verhindern. Überdies finden in diesem Zeitraum zahlreiche Boulderwettkämpfe auf nationaler und regionaler Ebene statt (*in-season*). Hierdurch wurde versucht, im Posttest höhere Testergebnisse aufgrund niedriger, trainingsperiodisch bedingter Ausgangswerte im Pretest auszuschließen. Trotz Wettkampfzyklus durften die Probanden in den letzten vier Wochen vor Beginn der Untersuchung kein periodisiertes Bouldertraining durchführen.

- Alle Pre- und Posttests wurden zum gleichen Tageszeitpunkt durchgeführt (18.00-21.00 Uhr).
- Die Probanden mussten vor jedem Test eine Ruhephase von 48 Stunden, in der keine sportliche Aktivität erfolgen durfte, gewährleisten [16,20,25,35,147].
- Die Datenerhebung wurde für alle Probanden vom gleichen Untersuchungsleiter durchgeführt [54].
- Die Probanden wurden aufgefordert, ihre alltäglichen Essens- und Schlafgewohnheiten beizubehalten. Überdies durfte keine Alkoholfuhr innerhalb von 24 Stunden vor der Datenerhebung erfolgen. Weiterhin sollte innerhalb von zwei Stunden vor der Datenerhebung auf Koffeinkonsum verzichtet, sowie eine gleichmäßige Wasserzufuhr während der Datenerhebung gewährleistet werden [16,35,39,58].
- Um standardisierte Greifbedingungen zu gewährleisten, durften alle Probanden ausschließlich das Magnesium Carbonat *White Gold Loose Chalk* vom Hersteller Black Diamond (CH) benutzen, da die Reibung zwischen Haut und Klettergriff in Abhängigkeit des eingesetzten *Chalks* variieren kann [6,61,103,111,163]. Überdies wurden alle Griffe vor jeder Datenerhebung mit einer Bürste vom Hersteller Lapis (SLO) gesäubert, da gleichzeitig *Chalk* auf den Griffen und den Händen die Reibung reduzieren kann [61].
- Um mentale Vorteile bestmöglich ausschließen zu können, wurden den Probanden im Posttest die Ergebnisse aus dem Pretest nicht mitgeteilt [50].
- Zwischen den einzelnen Messverfahren galten für alle Probanden standardisierte Erholungszeiten von fünf Minuten bei Testung der MAF und sieben Minuten bei Testung der KAS und der LOM [133].
- Die Probanden bekamen im Vorfeld der Datenerhebung eine verbale Testanweisung und konnten für alle Tests 2-3 Testversuche durchführen. Diese Testversuche wurden nicht für die Auswertung berücksichtigt.
- Bei den Tests zur Bestimmung der MAF wurde der Höchstwert aus drei Versuchen erfasst, während bei den Tests zur Bestimmung der KAS und der LOM jeweils nur ein Versuch durchgeführt wurde [54,133].

- Die Begriffe „Start“ (Startsignal) und „Stopp“ (Beenden der Kontraktion) wurden bei allen Tests einheitlich eingesetzt.
- Bei allen Tests erfolgte eine verbale Unterstützung bis zur individuellen Ausbelastung [51].
- Die Bestimmung der Halte- und Kletterzeiten erfolgte mithilfe der SC 6.12 Stoppuhr von Sigma (GER).

#### **4.3.2.1 Körpereigenschaften und WKV (Schritt 1 und 2)**

Die Probanden wurden aufgefordert, um 18:00 Uhr in der Boulderhalle einzutreffen. Als erster Test wurde das Körpergewicht mit Hose und T-Shirt und ohne Schuhe mit der Körperwaage SECA 760 und einer Messgenauigkeit von 1 kg erhoben. Weiterhin wurde die Körpergröße ohne Schuhe mittels Stadiometer und einer Messgenauigkeit von 0,5 cm erhoben. Anschließend erfolgte in Test 2 in körperlicher Ruhe vor dem Aufwärmen die Bestimmung der wahrgenommenen körperlichen Verfassung (WKV). Die WKV ist ein Fragebogen (vgl. 10. Anhang) mit einer 4-Faktoren-Struktur und 20 Items zur Erfassung der körperlichen Befindlichkeit [94]. Das valide und reliable Messverfahren zeigt eine gute Empfindlichkeit für kurz- und mittelfristige Veränderungen der körperlichen Verfassung [94]. Mithilfe der sechsstufigen Ratingskala (0 = gar nicht bis 5 = völlig) wurden die drei Dimensionen der erlebten, körperlichen Verfassung (a) Aktiviertheit, (b) Trainiertheit und (c) Gesundheit überprüft. Hierdurch wurde versucht, einerseits die Wirkungsweise der Trainingsmethoden und andererseits Veränderungen psychischer Parameter (insbesondere Stimmungs- und Motivationslage) zu diagnostizieren [94].

### 4.3.2.2 Aufwärmen (Schritt 3)

Das Aufwärmprogramm mit einer Gesamtdauer von 15-20 min beinhaltete das Klettern von 12-15 Bouldern bei einem subjektiven Anstrengungsempfinden von 0-2 (vgl. Tabelle 8). Im Anschluss an das sportartspezifische Aufwärmen erfolgte für alle Probanden eine standardisierte Pausendauer von sieben Minuten.

**Tabelle 8.** Skala für subjektives Anstrengungsempfinden, modifiziert nach Köstermeyer [100].

0	Sehr leicht	Aufwärboulder
1	Leicht	Boulder nicht besonders anstrengend
2	Etwas anstrengend	Boulder kann sicher geklettert werden
3	Anstrengend	Boulder kann 2-3 mal geklettert werden
4	Schwer	Boulder kann gerade noch geklettert werden
5	Maximal	Boulder kann bei besten Bedingungen einmal geklettert werden

### 4.3.2.3 Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Schritt 4)

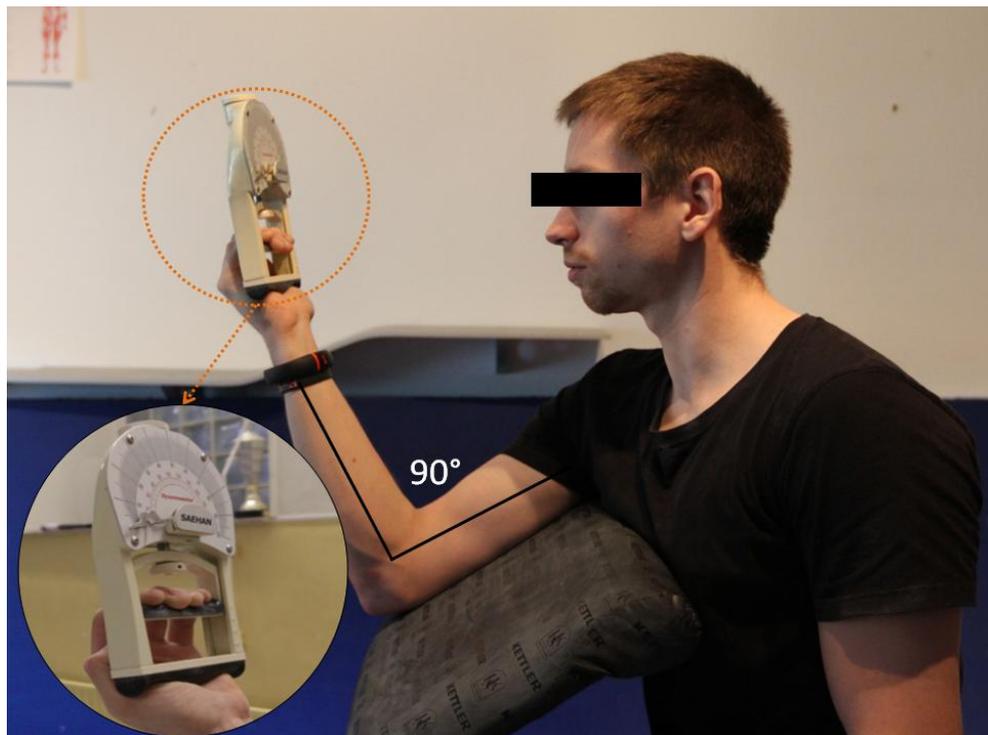
In der standardisierten Pausendauer von 7 min erfolgte vor den Tests zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM die Erhebung der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit mit dem LUFFT C200 Thermo-Hygrometer (vgl. 4.4 Apparaturbesprechung). Hierdurch konnten Veränderungen der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit diagnostiziert und deren Einfluss als potentielle Störvariablen auf die Testergebnisse bestimmt werden [6,23,110].

#### **4.3.2.4 Laktat- und Herzfrequenzmessung (Schritt 5)**

Die Bestimmung der Laktatwerte erfolgte nach der standardisierten Pausendauer von 7 min und vor den Tests zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM. Die Untersuchung der Laktatwerte erfolgte an der Systemwand aus der Pilotstudie zur Bestimmung der LOM im Wettkampfbouldern (Kapitel 3.4 Forschungsstand der LOM). Als Handgriffe wurden Campusleisten vom Hersteller MR Climbing (FR) mit einer Grifftiefe von 20 mm an Griff A und 30 mm an Griff B sowie 45 mm an Griff C und Griff D und einer Distanz zwischen den Campusleisten von 60 cm eingesetzt. Die Datenerhebung erfolgte an Boulder 2 (B2) der Pilotstudie, bei dem alle Probanden an Griff A (4 s halten) beginnen, hoch zu Griff B (6 s halten), Griff C (8 s halten) und Griff D (10 s halten) klettern und anschließend zu Griff C (8 s halten) und Griff B (6 s halten) abklettern mussten. B2 wurde einmal wiederholt und umfasste eine durchschnittliche Begehungsdauer von ca. 50 s, sowie eine durchschnittliche statische Haltearbeit bei isometrischer Muskelkontraktion von ca. 7 s (vgl. Abbildung 16). Die Laktatbestimmung erfolgte 1 min post mit dem Vario Photometer II von Diaglobal aus 10  $\mu$ L Kapillarblut aus dem hyperämisierten (nicht-alkoholischer Zellstofftupfer) Ohrläppchen (vgl. 4.4 Apparaturbesprechung). Für jede Probe wurden jeweils zwei Messungen durchgeführt (instrumentelle Konsistenz). Bei Messabweichungen zwischen zwei Proben unterhalb von  $0,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  wurde der Mittelwert der beiden Messungen herangezogen. Wurden Abweichungen größer als  $0,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  beobachtet, wurde eine dritte Messung herangezogen und der Mittelwert der beiden ähnlichsten Ergebnisse für das Endergebnis beibehalten. Die Proben wurden, gemäß den Empfehlungen des Herstellers, bei  $3^{\circ}\text{C}$  gelagert und ca. 20 min vor Datenerhebung bei Raumtemperatur aufbewahrt. Die Auswertung der Laktatwerte erfolgte unmittelbar nach der Datenerhebung. Die Messung der Herzfrequenz erfolgte unmittelbar nach Belastungsabbruch an B2 mithilfe des Herzfrequenzmessgeräts Polar FT7.

#### 4.3.2.5 Dynamometer (Schritt 6)

Die Ermittlung der isolierten MAF ( $MAF_{\text{isoliert}}$ ) erfolgte mit einem kalibrierten Smedley Spring (Saehan, KOR) Hand-Dynamometer (vgl. Abbildung 32 und 10 Anhang).



**Abbildung 32.** Hand-Dynamometrie zur Bestimmung der  $MAF_{\text{isoliert}}$ .

Zur standardisierten Testausführung erfolgte im Vorfeld der Datenerhebung eine verbale Testinstruktion mit Darstellung der Testkriterien (in Übereinstimmung mit den Richtlinien der *American Society of Hand Therapists* und in Anlehnung bisheriger Forschungsarbeiten):

- Die Messung erfolgte im Sitzen [10,113,138] auf der Trainingsbank Vario vom Hersteller Kettler (GER) mit
- Adduktion des Oberarms [138] und 90° Beugung im Ellenbogengelenk [37,113,138],

- Supination des Unterarms (Unterarminnenseite in Oppositionsstellung zum Oberarm),
- 0-30° Dorsalflexion im Handgelenk [113],
- ohne Körper- oder Gerätkontakt mit dem zweiten Arm [10],
- der dominanten Hand [23,67,116] ohne Einsatz des Daumens [108],
- individueller Einstellung des Dynamometers, sodass die Griffspanne bis zur *Phalanx distalis* des Ringfingers reicht [10,11],
- kontinuierlicher Muskelanspannung bis in die Endposition (2 s halten) [10,11,51,55],
- der Erfassung des Höchstwertes aus drei Versuchen (standardisierte Pausendauer von 5 min) [54,55,113,116]
- und mit verbaler Unterstützung bis zur Ausbelastung [138].

##### **4.3.2.6 MZW (Schritt 7)**

Im Pretest wurde die maximale Zusatzlast für einen Klimmzug an einer 30 mm tiefen Campusleiste vom Hersteller MR Climbing (FR) am Campusboard (40° Wandneigung) erfasst (vgl. Abbildung 33). Der Klimmzug erfolgte aus einer standardisierten Ausgangsposition (hängend, gestreckte Arme, kein Bodenkontakt) mit Aufwärtsbewegung bis 30° Beugung im Ellenbogengelenk (Überschreiten einer optischen Markierung mit dem Kinn). Anschließend erfolgte ein Verharren in der Umkehrposition (1 s, verbale Instruktion, Überprüfung mit Stoppuhr). Der Klimmzug endete nach Abwärtsbewegung in der Ausgangsposition (1 s Verharren in der Endposition). Das Greifen erfolgte ohne Einsatz des Daumens. Anhand der Dynamometer-Werte (Schritt 6) erfolgte zu Beginn der Datenerhebung eine Einschätzung der Zusatzlast, um die Anzahl der Wiederholungen bis zur Bestimmung der maximalen Zusatzlast bestmöglich zu reduzieren. Nach Ermittlung

der maximalen Zusatzlast, erfolgten zwei Messwiederholungen nach jeweils fünfminütiger Pausendauer zur Überprüfung der Merkmalskonsistenz. Im Posttest wurde nach vierwöchiger Intervention die Anzahl der Klimmzüge mit der Zusatzlast aus dem Pretest überprüft. Erfasst wurde der Höchstwert aus drei Versuchen mit standardisierter Pausendauer von fünf Minuten.



**Abbildung 33.** Bestimmung der MZW im Post- und Posttest.

#### **4.3.2.7 Dead Hang-Test (Schritt 8-10)**

Der Dead Hang-Test ist ein Widerstandstest zur indirekten Bestimmung der MAF über die Haltezeiten in Sekunden bei isometrischer Muskelkontraktion. Erfasst wurde im Pre- und Posttest der Höchstwert der Haltezeiten aus drei Versuchen mit

standardisierter Pausendauer von fünf Minuten an den Griffarten (a) Leiste, (b) Sloper und (c) Zange (vgl. Abbildungen 34-36). Der Leistengriff mit 19 mm Grifftiefe vom Hersteller Metolius (USA), sowie der Sloper- und Zangengriff vom Hersteller Skyroof (GER), wurden bei 30° Wandneigung fixiert. An allen drei Griffarten wurde im Pretest die maximale Zusatzlast (kg) für Haltezeiten zwischen 5-7 s bei isometrischer Muskelkontraktion erfasst. Im Posttest erfolgte anschließend die Bestimmung der maximalen Haltezeit mit der jeweiligen Zusatzlast aus dem Pretest. Alle Tests wurden mit gestreckter Armausführung ausgeführt. Am Leistengriff wurde der Einsatz des Daumens untersagt (halbgestellt), da durch den Einsatz des Daumens (*full-crimp*) höhere Maximalkräfte erzielt werden können [135].



**Abbildung 34.** Dead Hang-Test am Leistengriff.



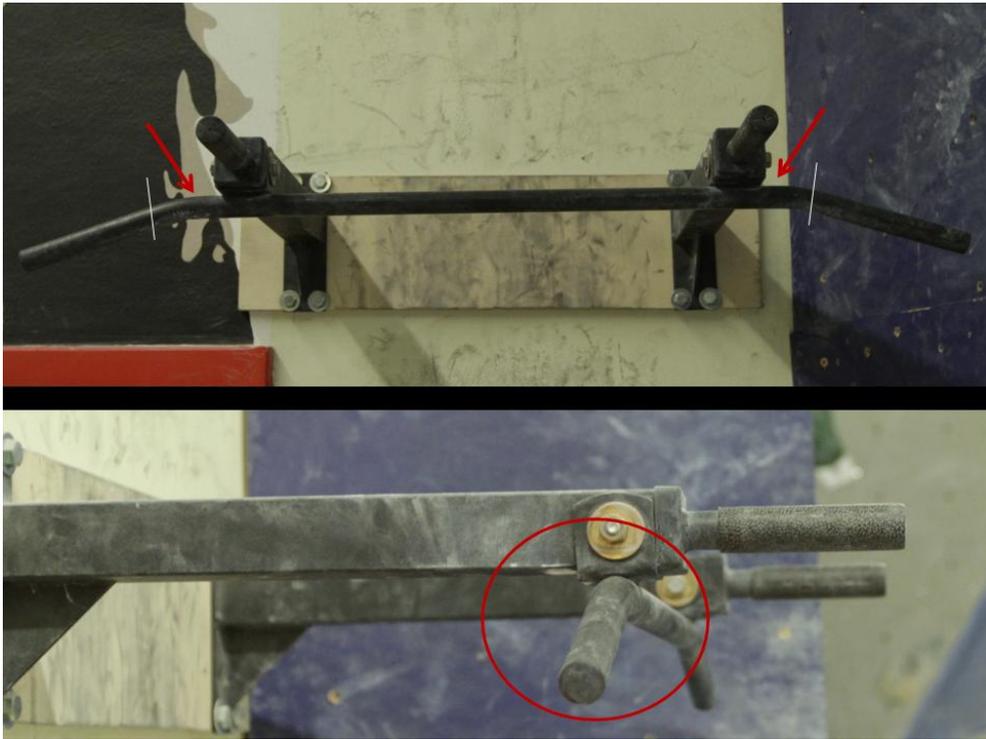
**Abbildung 35.** Dead Hang-Test am Slopergriff.



**Abbildung 36.** Dead Hang-Test am Zangenriff. Die optische Markierung diente zur Gewährleistung des standardisierten Greifens.

#### 4.3.2.8 Klimmzüge (Schritt 11)

Die Anzahl der Klimmzüge wurde an der Klimmzugstange (Ristgriff, breite Ausführung) erfasst (vgl. Abbildung 37).

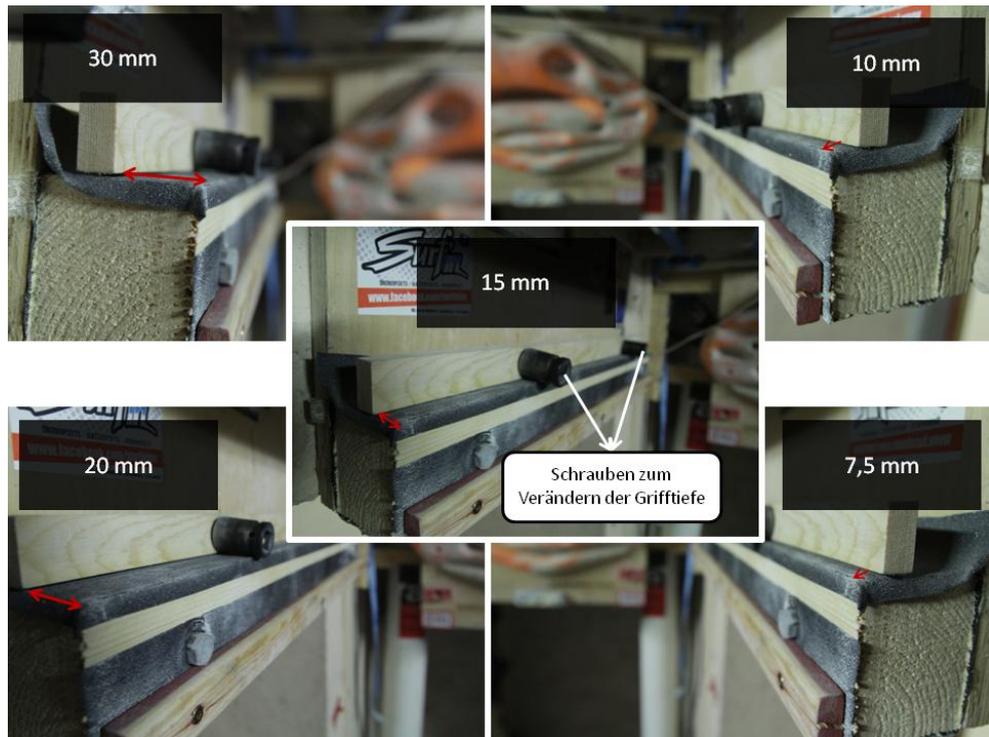


**Abbildung 37.** Klimmzugstange zur Bestimmung der Klimmzüge (die roten Pfeile markieren die Greifstelle und die weißen Striche die äußere Begrenzung).

Im Hinblick auf eine Regulierung der Ausführungsgeschwindigkeit, wurde eine standardisierte Auf- und Abwärtsbewegung vorgegeben. Die Durchführung eines Klimmzuges begann aus der Ausgangsposition (hängend, gestreckte Arme, kein Bodenkontakt) mit einer Aufwärtsbewegung (Gesamtdauer der Aufwärtsbewegung von 3 s) bis zu 30° Beugung im Ellenbogengelenk (Kinn deutlich über der Stange). In der Umkehrphase bei 30° Beugung im Ellenbogengelenk erfolgte ein Verharren von einer Sekunde. Anschließend erfolgte die Abwärtsbewegung (Gesamtdauer der Abwärtsbewegung von 3 s) bis zur Ausgangsposition, in der erneut, zur Unterbindung der Schwungmitnahme, ein Verharren von einer Sekunde vorgegeben wurde.

#### 4.3.2.9 Bent-Arm Hängetest (Schritt 12-16)

Der Bent-Arm Hängetest (BAT) wurde an einem, eigens für die vorliegende Forschungsarbeit konzipierten Griffbrett mit einstellbarer Grifftiefe durchgeführt (vgl. Abbildung 38).

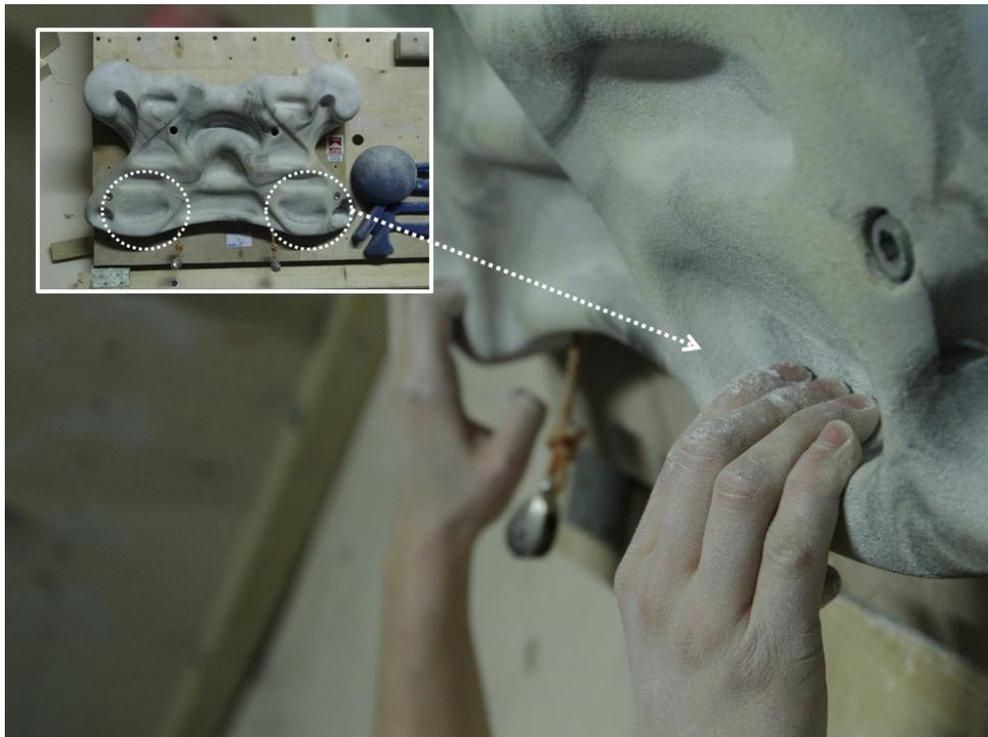


**Abbildung 38.** Griffbrett mit einstellbarer Grifftiefe für den Bent-Arm Hängetest am Leistengriff mit 7,5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm und 30 mm Grifftiefe.

Untersucht wurden die maximalen Haltezeiten ohne Zusatzlast bei 90° Beugung im Ellenbogengelenk und einer Grifftiefe von 7,5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm und 30 mm. Für die Grifftiefe von 7,5 mm und 10 mm wurden, wie bei den vorherigen Tests zur indirekten Bestimmung der MAF, drei Versuche mit einer Pausendauer von jeweils 5 min zugelassen. Für alle anderen Griffstiefen (Bereich der KAS) wurde ein Versuch bis zur individuellen Ausbelastung mit standardisierter Pausendauer von sieben Minuten vorgegeben. Bei der Durchführung des BAT war der Einsatz des Daumens nicht erlaubt.

#### **4.3.2.10 Intermittent Hängetest (Schritt 17)**

Der Intermittent Hängetest (IHT) zur Ermittlung der Haltezeiten bis zur individuellen Ausbelastung bei wiederkehrender, isometrischer Muskelkontraktion erfolgte am 30 mm tiefen Leistengriff des Hangboards Alien vom Hersteller Freestone (FR) bei 30° Wandneigung (vgl. Abbildung 39).



**Abbildung 39.** Der IHT am Hangboard Alien vom Hersteller Freestone (FR).

Das Verhältnis von Belastung und Entlastung betrug 2:1 mit einer Belastungsdauer bei isometrischer Muskelkontraktion von 8 s und einer Pausendauer von 4 s (in Anlehnung an die Ergebnisse der Pilotstudie in Tabelle 2). Beim IHT wurde eine gestreckte Armausführung ohne Einsatz des Daumens vorausgesetzt. Ermittelt wurde die Gesamtzahl der Wiederholungen bei individueller Ausbelastung.

#### **4.3.2.11 Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung (Schritt 18)**

Die maximale Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung (KIA) wurde in Boulder 1 (B1) aus der Pilotstudie zur Bestimmung der LOM im Wettkampfbouldern (Kapitel 3.4 Forschungsstand der LOM) erfasst. B1 (vgl. Abbildung 15-16) wurde ohne Pause bis zur individuellen Ausbelastung wiederholt. Die Probanden mussten an Griff A (4 s halten) anfangen und hoch zu Griff B (6 s halten), Griff C (8 s halten) und Griff D (10 s) klettern. Nach Griff D mussten die Probanden abspringen und unmittelbar wieder an Griff A beginnen. Ermittelt wurde die maximale Gesamtkletterzeit bei individueller Ausbelastung.

#### **4.3.2.12 Tabata-Protokoll (Schritt 19)**

Die maximale Wiederholungszahl beim Tabata-Protokoll wurde an der Klimmzugstange überprüft (vgl. Abbildung 24). Die Durchführung des Tabata-Protokolls erfolgte, in Anlehnung an Hörst [82], an der Klimmzugstange bei 90° Beugung im Ellenbogengelenk (Ristgriff, breites Greifen). Die Anspannungsdauer bei isometrischer Muskelkontraktion betrug 20s und die Pausendauer zwischen den jeweiligen Wiederholungen bis zur individuellen Ausbelastung 10 s.

### 4.3.3 Trainingsinhalte

In diesem Kapitel werden die Trainingsinhalte der fünf Trainingsgruppen im Überblick dargestellt. Für die detaillierte Beschreibung der Trainingsinhalte wird auf die Tabellen 40-47 im Anhang verwiesen.

Hohmann, Lames und Letzelter [78] definieren Training (vgl. Abbildung 40) als „[...] *planmäßige und systematische Realisation von Maßnahmen (Trainingsinhalte und Trainingsmethoden) zur nachhaltigen Erreichung von Zielen (Trainingsziele) im und durch Sport.*“ [78, S. 14-15].



**Abbildung 40.** Definition von Training mit Anwendung auf die vorliegende Studie, modifiziert nach Hohmann, Lames und Letzelter [78].

Alle fünf Stichproben absolvierten 12 Trainingseinheiten innerhalb von vier Wochen (Trainingstage: Montag, Mittwoch, Freitag) mit einer Trainingsdauer von jeweils 150 min (inkl. 15 min Warm-up und 10 min Cool-Down). Eine vierwöchige Untersuchungsdauer kann dadurch begründet werden, dass:

- in der Fachliteratur im sportartspezifischen Krafttraining ein vierwöchiger Mesozyklus empfohlen wird [82,100],
- im Jahre 2012, gemäß den Angaben der IFSC, die durchschnittliche Zeit zwischen zwei Boulder Welt-Cups, ohne Berücksichtigung der

Boulderweltmeisterschaft und den internationalen *Promotional Events*, ca. 25 Tage betrug ( $\approx$  3,5 Wochen),

- erste Akkomodationsprozesse im Kraftausdauertraining bei drei bis fünf Trainingseinheiten pro Woche nach vierwöchiger Trainingsphase zu erwarten sind [102] und
- dass innerhalb einer vierwöchigen Untersuchungsperiode hohe Temperaturschwankungen mit Einfluss auf die Haltezeiten relativ unwahrscheinlich sind.

Medernach [114] konnte die höchste Zunahme der durchschnittlichen Haltezeiten am Hangboard nach vierwöchiger Untersuchungsdauer beobachten (11,2-12,6 s), während nach achtwöchiger Untersuchungsdauer (5,6-9,3 s) und am Ende der Untersuchung nach zwölf Wochen (7,4-8,4 s) niedrigere Befunde diagnostiziert wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass gleichbleibende Belastungen über einen längeren Zeitraum aufgrund von Akkomodationsprozessen zu einer Abnahme der Anpassungserscheinungen führen [1,78,114].

In Bezug auf die Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche, werden in der Literatur für das Training am Hangboard drei Trainingseinheiten pro Woche empfohlen [110]. Querschnittsvergleiche zwischen den fünf Stichproben setzen einen identischen Trainingsumfang für alle fünf Stichproben voraus, sodass für alle Trainingsmethoden drei Trainingseinheiten pro Woche festgelegt wurden. In den Trainingsgruppen BL und MB wurden den Probanden To-Do-Listen mit Bouldern zugeteilt, die innerhalb des vierwöchigen Untersuchungszeitraums geklettert werden sollten. So konnten individuelle Belastungsintensitäten mit progressiven Belastungssteigerungen und dem Beibehalt von Belastungsvariationen gewährleistet werden. Das gleiche Verfahren wurde für IB angewandt mit dem Unterschied, dass die Boulder während den Trainingseinheiten individuell bestimmt wurden. Zur Gewährleistung sportartspezifischer Trainingseinheiten wurden die Trainingsinhalte von HB und VB gemäß den Empfehlungen der Fachliteratur [82,110] und den Befunden aus der Pilotstudie (3.4 Forschungsstand der LOM) ausgewählt. Durch die Auswahl der

Griffe und die unterschiedlichen Trainingspläne (vgl. 10 Anhang) konnten auch für HB und VB individuelle Belastungsintensitäten und progressive Belastungssteigerungen gewährleistet werden. Für das Vibrationstraining wurden eine Amplitude von 2 mm und eine Frequenz von 40 Hz angewandt, da diese Belastungsnormativen im Vorfeld der Untersuchungen bei Hängetests als angenehm empfunden wurden.

Im Hinblick auf die Gefahren beim Vibrationstraining für das Allgemeinbefinden der Probanden (e.g. Unwohlsein, Schwindel, Erbrechen, Kopfschmerzen), wurden für das Training am Vibrationsboard nachfolgende Sicherheitsrichtlinien berücksichtigt [70,89,95,97,118]:

- Medizinische Voruntersuchung mit Ausschließung möglicher Kontraindikatoren (e.g. Akute Entzündungen, Thrombose, frische Implantate, Herzschrittmacher, Epilepsie, Schwangerschaft) [95].
- Organresonanzbereich (< 20 Hz) vermeiden [70,89,95,97,118].
- Belastung aktiv durch Muskelvorspannung und Körperhaltung dämpfen [89,70,95].
- Kurze Belastungsdauer ( $\leq 60$  s) [89,95,118].
- Amplituden von 1-2 mm [118].
- Ein relativ hoher Transmissionsfaktor zum Kopf [95,97,118] konnte aufgrund der lokalen Stimulation nicht ausgeschlossen werden. In Voruntersuchungen konnten diesbezüglich aber keine negativen Auswirkungen auf das Allgemeinbefinden diagnostiziert werden.

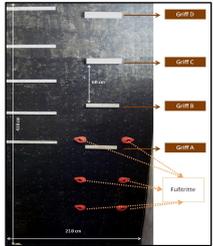
## 4.4 Apparaturbesprechung

Nachfolgend sind die Apparaturen der Datenerhebung („Test“) und der Trainingseinheiten („TR“) aufgelistet.

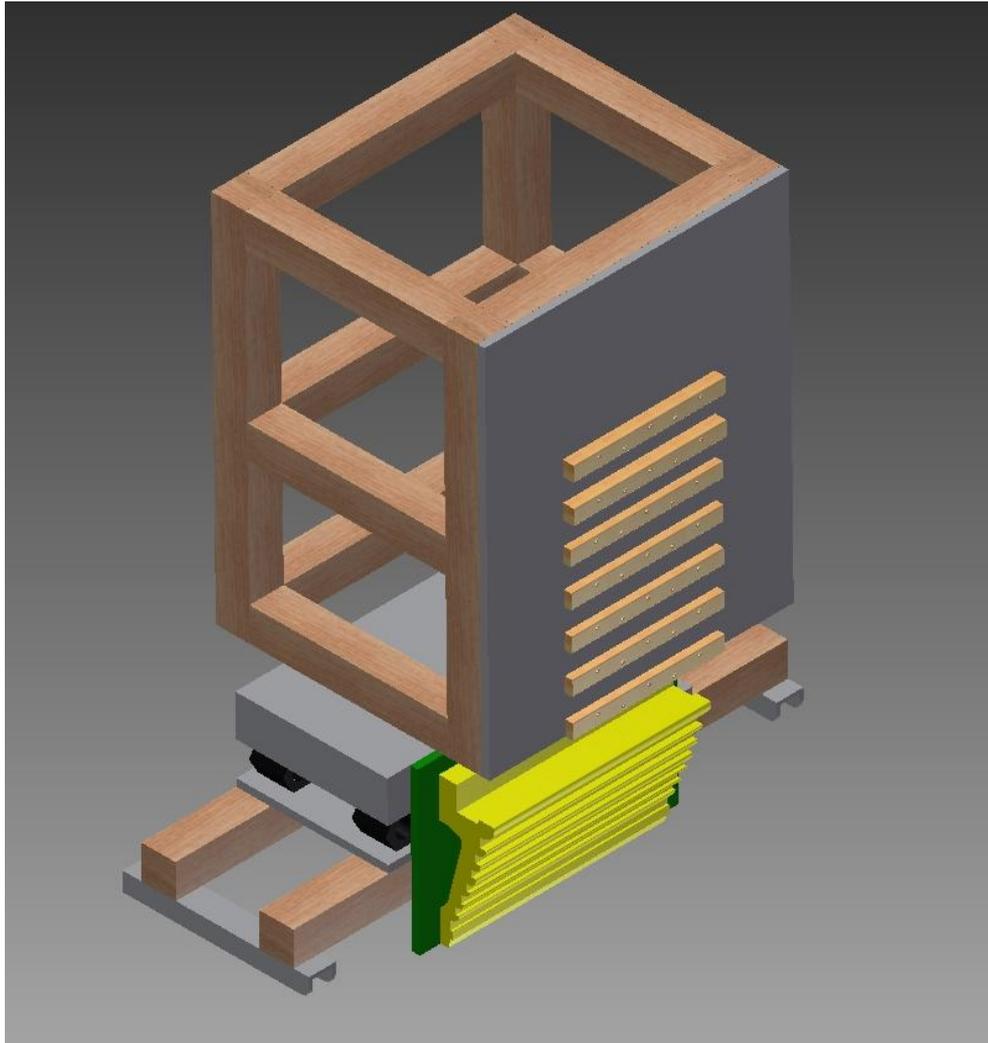
**Tabelle 9.** Apparatur im Überblick.

Apparatur	Technische Spezifikation		Abbildungung
Boulderwand	Hersteller Boulderfläche (qm) Wandbereiche Boulderanzahl Einsatz	T-Wall (GER) ≈500 23 ≈150 Boulder TR: BL,IB	
Campusleiste	Hersteller Grifftiefe (mm) Griffbreite (cm) Einsatz	MR Climbing (FR) 20,30,45 40 Test: 5,7,18	
Campusleiste	Hersteller Grifftiefe (mm) Griffbreite (cm) Einsatz	Metolius (USA) 19 40 Test: 8 TR: HB,VB	
Dynamometer	Hersteller Ausführung Einheit Grenzwert (kg) Sensitivität (kg) Einsatz	Saehan (KOR) Spring Smedley Kg, lb 100 0,5 Test: 6	
Gewichtsmanschette	Hersteller Ausführung Einsatz	Trendy 2,5 kg Test: 7-10	
Gewichtsweste	Hersteller Ausführung Zusatzlast (kg) Einsatz	Reebok (USA) Long Vest heavy bis 18 Test: 7-10	

Apparatur	Technische Spezifikation		Abbildung
Griffbrett	Hersteller Abmessungen (B x H x T, cm) Material Einsatz	Eigenbau 60 x 10 x 10 Holz mit Grip Test: 12-16	
Hangboard	Hersteller Abmessungen (B x H x T, cm) Gewicht (kg) Material Einsatz	Freestone (FR) Alien 70 x 45 x 14 6 Polyurethan Test: 17	
Hangboard	Hersteller Abmessungen (B x H x T, cm) Gewicht (kg) Material Belastung (kg) Grifftiefe (mm) Einsatz	JM Climbing (GER) Transgression 60 x 40 x 15 8 Polyurethan 200 max. 6-10,12,14,18,30 TR: HB,VB	
Hantelscheiben	Hersteller Ausführung Gewicht (kg) Einsatz	Kettler (GER) Chrom-Gummi 0,5;1;2,5 Test: 7-10	
Herzfrequenzmessgerät	Hersteller Ausführung Sensitivität Grenzwerte Einsatz	Polar (GER) FT 7 1 min <sup>-1</sup> 15-240 min <sup>-1</sup> Test: 5	
Klettergriffe	Hersteller Ausführung Einsatz	Skyroof (GER) Sloper XL Zange XXL Test: 9,10	
Klimmzugstange	Hersteller Belastung (kg) Abmessungen (B x H x T, cm) Einsatz	D & S (GER) 350 max. 101 x 20 x 51 Test: 11,19	
Stoppuhr	Hersteller Ausführung Einsatz	Sigma (GER) SC 6.12 Test: 3,8-19 TR: HB,VB	

Apparatur	Technische Spezifikation		Abbildungung
Körperwaage	Hersteller	Seca (GER)	
	Ausführung	760	
	Abmessungen (B x H x T, cm)	30,3 x 11,8 x 47,0	
	Sensitivität (kg)	1,0	
	Einsatz	Test: 1	
	Hersteller	Diaglobal (GER)	
Ausführung	DK 113		
Ausstattung:			
-Photometer	DP 310		
-Zentrifuge	Sprout (6000 UpM)		
-Pipette	500 µL		
-Mikropipette	10 µL		
Trocken- thermostat	Für 37°C		
-Lanzetten	Solofix,		
-Kapillaren	10 + 60 µL		
-CK-Test	CK321		
-LAC-Test	LAC142		
Einsatz	Test: 5		
Moonboard	Hersteller	Moon Climbing (UK)	
	Abmessungen (B x H, cm)	244 x 315	
	Wandneigung	40°	
Einsatz	TR: MB		
Systemwand	Hersteller	Eigenbau	
	Abmessungen (B x H, cm)	210 x 410	
	Wandneigung	30°	
Einsatz	Test: 5,8-10, Test: 18		
Thermo-Hygrometer	Hersteller	Lufft (D)	
	Ausführung	C 200	
	Abmessungen (B x H x T, cm)	14,7 x 8,5 x 3,7	
	Messbereich (°C / %)	-20-50°C 0-100%	
	Sensitivität (°C / %)	± 0,3°C ± 2%	
Einsatz	Test: 4		

Apparatur	Technische Spezifikation		Abbildung
Trainingsbank	Hersteller	Kettler (GER)	
	Ausführung	Vario Rücken-trainer	
	Abmessungen (B x H x T, cm)	145 x 110 x 60	
	Belastung (kg)	130 max.	
	Einsatz	Test: 6	
Vibrationsboard	Hersteller	Eigenbau	
	Ausführung	Power Plate Classic (GER) mit Transgression Hangboard	
	Abmessungen (B x H x T, cm)	80 x 20 x 40	
	Gewicht (kg)	80	
	Max. Zuladung (kg)	120	
	Frequenz (Hz)	30,35,40,50	
	Amplitude (mm)	2-4	
	G-Kraft (G)	6,2 max	
	Zeiteinstellung (s)	30,45,60	
	Besonderheit	Ohne Schaft	
	Einsatz	TR: VB, HB	



**Abbildung 41.** Skizze des Vibrationsboards (integrierte Power Plate Classic zur Generierung der Vibrationsstimuli) mit dem Transgression Hangboard (gelb) und einem Campusboard mit 19 mm tiefen Campusleisten vom Hersteller Metolius (USA).

## 4.5 Statistische Verfahren

Die Untersuchungsergebnisse wurden mit Hilfe der Computersoftware IBM SPSS Statistics, Version 20, der Firma IBM (Armonk, USA) statistisch ausgewertet. Die Abbildungen und Tabellen der Ergebnisdarstellung wurden mit Microsoft Excel, Version 2007, der Firma Microsoft Corporation (Redmond, USA) und mit IBM SPSS Statistics, Version 20, erstellt. Für alle intervallskalierten Variablen wurden für die deskriptive Auswertung als Lagemaß der arithmetische Mittelwert ( $\bar{x}$ ) und als Streuungsmaß die Standardabweichung ( $s$ ) berechnet [26]. Überdies wird als Streuungsmaß der 95% Konfidenzintervall des Mittelwerts (95% CI) angegeben [73]. Die inferenzstatistischen Verfahren der Varianzanalyse und der t-Tests setzen eine hinreichend normalverteilte Stichprobe voraus [73,77]. Die Normalverteilungsprüfung erfolgte mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov Tests mit einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 10\%$  [26,57,73,77]. Zur Beurteilung der Form der Verteilung, wurden aufgrund der geringen Stichprobenhöhe zudem die Schiefe (*skewness*) und die Wölbung (*kurtosis*) überprüft [57,73,119]. Die Normalverteilung wurde bei einem z-Wert der Schiefe  $\left(\left|\frac{skewness}{S_E}\right|\right)$  und der Wölbung  $\left(\left|\frac{kurtosis}{S_E}\right|\right)$  größer als 1.96 abgelehnt [57,119]. Die statistische Signifikanz als Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von  $H_A$  wurde bei einem zweiseitigen  $p$ -Wert  $\leq .05$  angenommen [77]. Das Signifikanzniveau wurde durch die nachfolgenden Symbole (vgl. Tabelle 10) festgesetzt [26,77]:

**Tabelle 10.** Darstellung der statistischen Signifikanz nach Bühl [26] und Hoffmann & Orthmann [77].

$p > .05$	$.05 \geq p > .01$	$.01 \geq p > .001$	$p \leq .001$
nicht signifikant	signifikant	hochsignifikant	höchstsignifikant
[ns]	[*]	[**]	[***]

Die Intrarater-Reliabilitätsanalyse (5.1 Reliabilitätsanalyse der Testverfahren) zur Beurteilung der Güte der Messverfahren zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM erfolgte mit einem Test-Retest-Verfahren [26,57,78,87]. Die Auswertung der

statistischen Konkordanz zweier Variablen wurde mithilfe der zweiseitigen, gemischten Intra-Class Korrelationsanalyse (ICC) mit absoluter Übereinstimmung der Beurteilungen überprüft [26,57]. Als Reliabilitätskriterium galt die Skalierung nach Buhl [26] mit „sehr geringe Korrelation“ ( $r \leq .2$ ), „geringe Korrelation“ ( $r \leq .5$ ), „mittlere Korrelation“ ( $r \leq .7$ ), „hohe Korrelation“ ( $r \leq .9$ ) und „sehr hohe Korrelation“ ( $r > .9$ ). Für die Reliabilitätsanalyse führten zehn Probanden der Gesamtstichprobe 48 Stunden im Vorfeld des Pretests der Hauptuntersuchung einen weiteren Test zur Datenerhebung durch. Im Test und Retest galt die standardisierte Testimplementierung aus Kapitel 4.3.2. Die Testergebnisse aus dem Retest wurden anschließend als Ausgangswerte des Pretests der Hauptuntersuchung herangezogen. Im Hinblick auf standardisierte Rahmenbedingungen wurden für das Test-Retest-Verfahren die Raumtemperatur und die Luftfeuchtigkeit erhoben. Weiterhin wurde die körperliche Befindlichkeit über den WKV-Fragebogen mit den Dimensionen (a) Aktiviertheit, (b) Gesundheit und (c) Trainiertheit überprüft.

Die Ausgangswerte der Reliabilitätsanalyse wurden auch zur Korrelationsanalyse der Testverfahren (5.2 Korrelationsanalyse der Testverfahren) herangezogen, welche anhand einer einfachen, bivariaten Korrelationsanalyse erfolgte [26,57,73,77]. Für alle Testverfahren erfolgte (a) eine sachlich begründete Überprüfung der Abhängigkeit zum Ausschluss von Pseudokorrelationen, (b) eine zahlenbegründete Abhängigkeit zwischen den Merkmalen und (c) eine grafische Überprüfung des linearen Zusammenhangs beider Variablen anhand eines Streudiagramms [57,73,86]. Die numerische Beschreibung eines Zusammenhangs zwischen zwei Variablen erfolgte anhand des Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten nach Pearson mit dem Bestimmtheitsmaß  $R^2$  als Maß für den erklärten Anteil der Variabilität der abhängigen Variablen [57,77]. Die Stärke des Zusammenhangs erfolgte erneut über die Skalierung nach Buhl [26]. Für den Person'sche Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten wird vorausgesetzt, dass beide Merkmale metrisch und normalverteilt sind [57,73,77]. Um den Einfluss von Ausreißern zu minimieren, erfolgte zusätzlich die nicht-parametrische Rangkorrelation nach Spearman [57].

Weiterhin wurde aufgrund der geringen Stichprobenhöhe Kendall's Tau nicht-parametrischer Korrelationskoeffizienten herangezogen [57]. Zur Bestimmung der internen Konsistenz wurde Cronbach's Alpha berechnet [26,57].

Die Überprüfung signifikanter Unterschiede der Mittelwerte zwischen Pre- und Posttest innerhalb der einzelnen Stichproben (5.3 Vorher-Nachher-Vergleiche) erfolgte mit Hilfe eines t-Tests für abhängige Stichproben [73,77] bzw. mit dem nichtparametrischen Wilcoxon-Test, wenn keine hinreichend normalverteilte Stichprobe gewährleistet werden konnte [77]. Als Effektgröße wurde Cohens'  $\hat{d}$  berechnet mit  $\hat{d} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s}$  und den Effektgrößen „klein“ (.2), „mittel“ (.5) und „groß“ (.8) [57]. Für  $s$  galt die Standardabweichung des Ausgangswertes ( $s_{Pretest}$ ) [57]. Da die Standardabweichung  $s$  im Pretest beim MZW-Test für alle Stichproben den Wert 0 betrug, konnte  $s_{Pretest}$  für Cohens'  $\hat{d}$  nicht herangezogen werden, sondern es musste eine zusammengefasste Standardabweichung (*pooled s*) aus beiden Stichproben  $s_p = \sqrt{\frac{(N_1-1)s_1^2 + (N_2-1)s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}$  mit  $N$  als Stichprobengröße und  $s$  als Standardabweichungen herangezogen werden [57].

Mittels einfaktorieller, univariater Varianzanalyse (ANOVA) nach dem allgemeinen linearen Modell wurde im Vorfeld der Gruppenvergleiche überprüft (5.5.1 Überprüfung der Einflussvariablen), ob signifikante Unterschiede zwischen den fünf Stichproben in Bezug auf die Variablen (a) Leistungsniveau, (b) Körpergewicht, (c) subjektive Befindlichkeit (WKV<sub>Aktiviertheit</sub>, WKV<sub>Gesundheit</sub> und WKV<sub>Trainiertheit</sub>) und (d) Umgebungsbedingungen (Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit) beobachtet werden konnten. Die Variablen, bei denen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte, wurden anschließend in den Varianzanalysen der Gruppenvergleiche als Kovariate einbezogen [26,57,73,77,86]. Als Voraussetzung für die ANOVA ohne Messwiederholung gelten die Normalverteilung [57,77,86] und die Varianzhomogenität (Homoskedastizität), welche mit dem Levene-Test überprüft wurde [57,73,77,86]. Konnte die Varianzhomogenität nicht gewährleistet werden, erfolgte die Brown-Forsythe  $F$  und die Welch's  $F$  Korrektur [57]. Wurde die

Normalverteilung verworfen, erfolgte die Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit dem Kruskal-Wallis Test [26,57]. Als Maß der Effektgröße wurde das Eta-Quadrat berechnet mit  $\eta^2 = r^2 = \frac{QS_{Faktor}}{QS_{Gesamt}}$  und den Effektgrößen „kleiner Effekt“ ( $r = .10$ ), „mittlerer Effekt“ ( $r = .30$ ) und „großer Effekt“ ( $r = .50$ ) [57].

Die Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen (unabhängige Variable) für die isolierte (5.5.2 Gruppenvergleiche der  $MAF_{\text{isoliert}}$ ) und die funktionale Maximalkraft der Fingermuskulatur (5.5.3 Gruppenvergleiche der  $MAF_{\text{funktional}}$ ) erfolgte anhand einer univariaten Kovarianzanalyse (ANCOVA) ohne Messwiederholung [26,57]. Als Voraussetzung für die ANCOVA beschreibt Field [57] neben der Normalverteilung der Paardifferenzen die Unabhängigkeit der Kovariate und die Homogenität der Regressionsgerade, welche mithilfe der ANCOVA mit angepasstem Model überprüft wurde [57]. Als Maß der Effektgröße der ANCOVA empfehlen Bühl [26] und Field [57] das partielle Eta-Quadrat mit  $\eta^2 = \frac{QS_{Faktor}}{QS_{Faktor} + QS_{Fehler}}$  und den Effektgrößen „kleiner Effekt“ ( $r = .10$ ), „mittlerer Effekt“ ( $r = .30$ ) und „großer Effekt“ ( $r = .50$ ). Zur Überprüfung, welcher der Mittelwerte signifikant von den anderen abweicht, erfolgte der Post-Hoc-Test nach Bonferroni [57,86].

Die Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen für die KAS (5.5.4 Gruppenvergleiche der KAS) und die LOM (5.5.6 Gruppenvergleiche der LOM) erfolgte anhand einer multivariaten Varianzanalyse mit Kovariaten (MANCOVA). Als Voraussetzung für die MANCOVA gelten die univariate Normalverteilung aller abhängigen Variablen und die Unabhängigkeit der Kovariablen, sowie die Homogenität der Kovarianz-Matrizen, welche mit dem Box's-Test überprüft wurde [57]. Die Homogenität der Regressionsgerade wurde mit dem angepassten Modell überprüft [57]. Aufgrund der unterschiedlichen Stichprobenhöhen wurde Pillai's Trace als Test-Statistik herangezogen [57].

## 5 Untersuchungsergebnisse

In diesem Kapitel der Untersuchungsergebnisse werden zunächst die Ergebnisse der Reliabilitäts- (5.1 Reliabilitätsanalyse der Testverfahren) und Korrelationsanalyse (5.2 Korrelationsanalyse der Testverfahren) dargestellt. Anschließend erfolgt ein Überblick der Testergebnisse (5.3 Zusammenfassung der Testergebnisse), sowie eine detaillierte Beschreibung der Vorher-Nachher Vergleiche (5.3 Vorher-Nachher Vergleiche) und der Gruppenvergleiche (5.4 Gruppenvergleiche).

### 5.1 Reliabilitätsanalyse der Testverfahren

In Tabelle 11 sind die Personen-, Körper- und Klettereigenschaften der Probanden, welche am Test-Retest-Verfahren der Reliabilitätsanalyse teilgenommen haben, dargestellt.

**Tabelle 11.** Personen-, Körper- und Klettereigenschaften der Stichprobe ( $n = 10$ ) aus der Reliabilitätsanalyse ( $\bar{x} \pm s$ ).

Alter (Jahre)	$23,6 \pm 4,3$
Körpergröße (cm)	$177,2 \pm 5,2$
Körpergewicht (kg)	$67,9 \pm 4,1$
Klettererfahrung (Jahre)	$6,4 \pm 2,2$
Kletterniveau (S-Score)	$10,7 \pm 1,2$

Zur Überprüfung der Rahmenbedingungen wurden im Test und Retest (a) die Raumtemperatur, (b) die Luftfeuchtigkeit, (c) die WKV<sub>Aktiviertheit</sub>, (d) die

WKV<sub>Gesundheit</sub> und (e) die WKV<sub>Trainiertheit</sub> überprüft. Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für diese Variablen keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung (vgl. Tabelle 12). Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf hinreichend normalverteilte Stichproben ( $< 1.96$ ) hindeuten.

**Tabelle 12.** Prüfung auf Normalverteilung der Raumtemperatur, der Luftfeuchtigkeit und der WKV.

Variable	Paardifferenz
Raumtemperatur	$D(10) = .675, p = .753$
Luftfeuchtigkeit	$D(10) = .859, p = .452$
WKV <sub>Aktiviertheit</sub>	$D(10) = .824, p = .506$
WKV <sub>Gesundheit</sub>	$D(10) = .824, p = .506$
WKV <sub>Trainiertheit</sub>	$D(10) = .689, p = .729$

Der t-Test für abhängige Stichproben ergab zwischen dem Test und dem Retest keine signifikanten Unterschiede für die Raumtemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die WKV<sub>Aktiviertheit</sub>, die WKV<sub>Gesundheit</sub> und die WKV<sub>Trainiertheit</sub> (vgl. Tabelle 13). Diesen Ergebnissen zufolge kann ausgeschlossen werden, dass Veränderungen der Umgebungsbedingungen (Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit) und der subjektiven Befindlichkeit (WKV<sub>Aktiviertheit</sub>, WKV<sub>Gesundheit</sub> und WKV<sub>Trainiertheit</sub>) die Ergebnisse der Leistungstests signifikant beeinflusst haben.

**Tabelle 13.** Die t-Tests der Raumtemperatur, der Luftfeuchtigkeit und der WKV.

Variable	t-Test
Raumtemperatur	$t(9) = .791, p = .449, \hat{d} = 0.2$
Luftfeuchtigkeit	$t(9) = .208, p = .840, \hat{d} = 0.02$
WKV <sub>Aktiviertheit</sub>	$t(9) = -1.42, p = .193, \hat{d} = 0.0$
WKV <sub>Gesundheit</sub>	$t(9) = -1.31, p = .223, \hat{d} = -0.2$
WKV <sub>Trainiertheit</sub>	$t(9) = -.655, p = .529, \hat{d} = -0.2$

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für alle Paardifferenzen der Leistungstests keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung (alle z-Werte der Schiefe und Wölbung  $< 1.96$ ). Der t-Test für abhängige Stichproben ergab für alle Leistungstests zwischen dem Test und dem

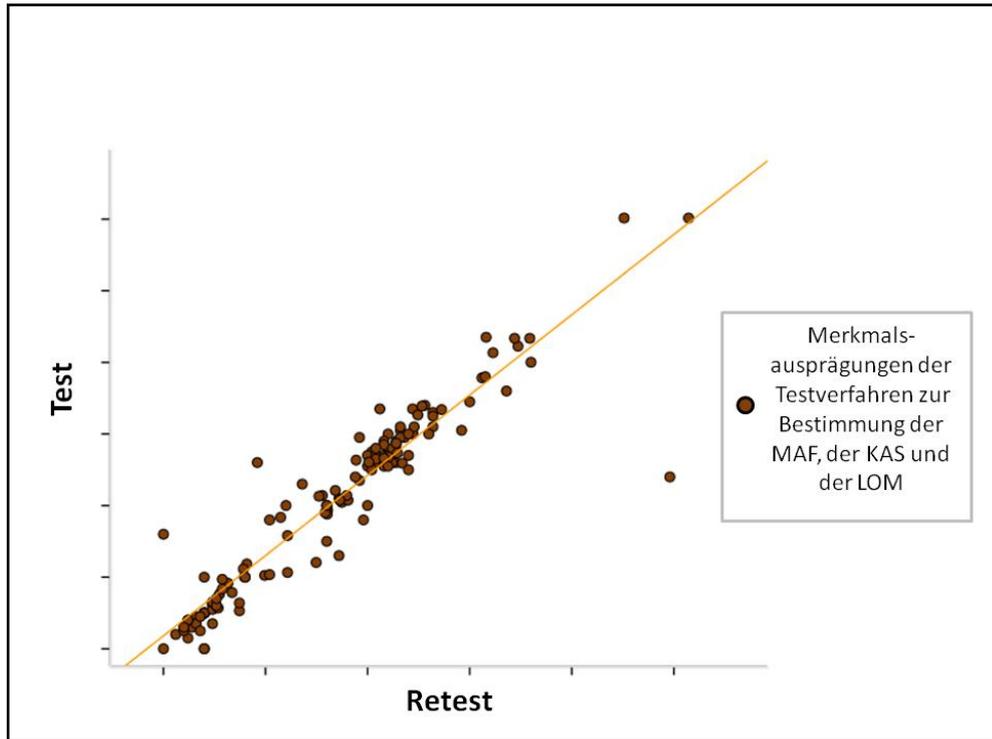
Retest nach 48 Stunden keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tabelle 14). Überdies ergab die Intra-Class Korrelationsanalyse (ICC) für alle Testverfahren eine hohe bis sehr hohe Korrelation ( $r$ -Werte zwischen .710 und .997).

**Tabelle 14.** Reliabilitätsanalyse der Testverfahren zur Bestimmung der MAF, KAS und LOM.

Test	t-Test	ICC
Dynamometer	$t(9) = .429, p = .678$ [ns]	$r = .997$ [***], 95% CI [.98, .99]
MZW		N/A <sup>7</sup>
Dead Hang <sub>Leiste</sub>	$t(9) = .586, p = .572$ [ns]	$r = .710$ [*], 95% CI [-.21, .93]
Dead Hang <sub>Sloper</sub>	$t(9) = .588, p = .571$ [ns]	$r = .781$ [*], 95% CI [.11, .95]
Dead Hang <sub>Zange</sub>	$t(9) = -.741, p = .478$ [ns]	$r = .812$ [*], 95% CI [.26, .95]
Klimmzüge	$t(9) = .000, p > .999$ [ns]	$r = .980$ [***], 95% CI [.92, .99]
BAT <sub>7,5mm</sub>	$t(9) = .258, p = .803$ [ns]	$r = .892$ [***], 95% CI [.55, .97]
BAT <sub>10mm</sub>	$t(9) = -1.26, p = .239$ [ns]	$r = .886$ [***], 95% CI [.57, .97]
BAT <sub>15mm</sub>	$t(9) = -.593, p = .568$ [ns]	$r = .908$ [***], 95% CI [.63, .98]
BAT <sub>20mm</sub>	$t(9) = .235, p = .819$ [ns]	$r = .983$ [***], 95% CI [.93, .99]
BAT <sub>30mm</sub>	$t(9) = -1.07, p = .311$ [ns]	$r = .991$ [***], 95% CI [.96, .99]
IHT	$t(9) = -.745, p = .475$ [ns]	$r = .862$ [***], 95% CI [.46, .97]
KIA	$t(9) = -.070, p = .946$ [ns]	$r = .988$ [***], 95% CI [.95, .99]
Tabata	$t(9) = -1.00, p = .343$ [ns]	$r = .970$ [***], 95% CI [.89, .99]

Diesen Ergebnissen zufolge konnte im Retest zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM eine hohe Replizierbarkeit der Testergebnisse aus dem Test (48 Stunden im Vorfeld) festgestellt werden. In Abbildung 42 sind die Merkmalsausprägungen aller Variablen aus dem Test und Retest dargestellt. Die Nähe der Beobachtungspunkte (dimensionslos) zu der von links unten nach rechts oben verlaufenden Gerade zeigt, dass im Test und Retest tendenziell ähnliche Merkmalsausprägungen beobachtet werden konnten.

<sup>7</sup> Alle Messungen aus dem Test und dem Retest haben den Wert eins.  $MZW_{\text{Test}}$  und  $MZW_{\text{Retest}}$  sind somit konstant.



**Abbildung 42.** Test-Retest Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse.

## 5.2 Korrelationsanalyse der Testverfahren

Die Korrelationsanalyse zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen wurde für die Testverfahren zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM durchgeführt.

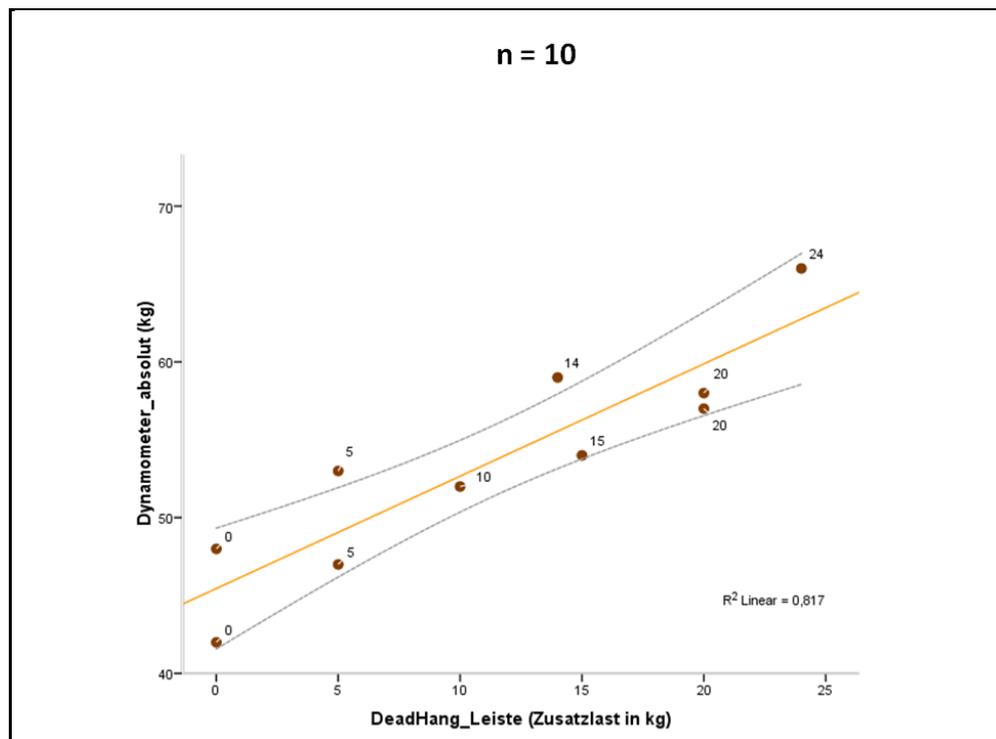
Bei den Testverfahren zur Bestimmung der MAF gilt die Hand-Dynamometrie als valide Messmethode zur Bestimmung der isolierten Maximalkraft der Fingermuskulatur ( $MAF_{\text{isoliert}}$ ) [138]. Der Pearson'sche Produkt-Moment Korrelationskoeffizient der bivariaten Korrelationsanalyse ergab einen linearen Zusammenhang zwischen den absoluten Dynamometerwerten und dem Leistungsniveau der Probanden mit  $r = .858$ ,  $p = .002$  (hohe Korrelation). Das

Bestimmtheitsmaß  $R^2$  betrug .736, sodass in summa 74% der Variation des Dynamometerwertes mithilfe des Leistungsniveaus erklärt werden konnten.

Mithilfe einer Korrelationsanalyse wurde überprüft, ob zwischen der  $MAF_{\text{isoliert}}$  und den Testverfahren zur Überprüfung der funktionalen MAF (Dead Hang<sub>Leiste</sub>, Dead Hang<sub>Sloper</sub>, Dead Hang<sub>Zange</sub>, Bent-Arm<sub>7,5mm</sub> und Bent-Arm<sub>10mm</sub>) ein signifikanter Zusammenhang beobachtet werden konnte. Bei den Hängetests der vorliegenden Studie zur indirekten Bestimmung der  $MAF_{\text{funktional}}$  ist primär die Kraftfähigkeit der Fingermuskulatur leistungsbestimmend, sodass ein Zusammenhang zwischen der  $MAF_{\text{isoliert}}$  und der  $MAF_{\text{funktional}}$  angenommen werden kann. Da für die Variablen Dead Hang<sub>Leiste</sub>, Dead Hang<sub>Sloper</sub> und Dead Hang<sub>Zange</sub> im Pretest die individuelle Zusatzlast (kg) bestimmt wurde, bei der Haltezeiten im Bereich von 5-7 s gewährleistet wurden, konnten die Haltezeiten zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der  $MAF_{\text{isoliert}}$  und der  $MAF_{\text{funktional}}$  nicht herangezogen werden. Stattdessen wurde für diese Variablen überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten ( $MAF_{\text{isoliert}}$ ) und der maximalen Zusatzlast (kg) aus dem Pretest der jeweiligen Tests beobachtet werden konnte.

Für die Variable Dead Hang<sub>Leiste</sub> ergab der Pearson'sche Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient einen positiven linearen Zusammenhang zwischen den absoluten Dynamometerwerten und der Zusatzlast (kg) für maximale Haltezeiten im Bereich von 5-7 s. Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  betrug .817, sodass in summa 82% der Variation der Zusatzlast (kg) mithilfe des Dynamometerwertes erklärt werden konnten. Der Spearman'scher Rang-Korrelationskoeffizient und Kendall's Tau Korrelationskoeffizient ergaben ebenfalls einen positiven linearen Zusammenhang zwischen den absoluten Dynamometerwerten und der Zusatzlast beim Dead Hang<sub>Leiste</sub>. Diesen Ergebnissen zufolge kann angenommen werden, dass Probanden mit höheren absoluten Dynamometerwerten (höhere  $MAF_{\text{isoliert}}$ ) ebenfalls höhere Zusatzlasten im Dead Hang-Test am Leistengriff (höhere  $MAF_{\text{funktional}}$ ) benötigten, um maximale Haltezeiten im Bereich von 5-7 s zu gewährleisten. Abbildung 43 zeigt die grafische Überprüfung des linearen Zusammenhangs zwischen den absoluten

Dynamometerwerten (kg) und der Zusatzlast (kg) beim Dead Hang Test am Leistengriff. Die einzelnen Beobachtungen liegen tendenziell auf einer von links unten nach rechts oben verlaufenden Gerade. Das Streudiagramm vermittelt somit den Eindruck, dass Probanden mit höheren absoluten Dynamometerwerten i.d.R. auch höhere Zusatzlasten beim Dead Hang-Test am Leistengriff benötigten, um maximale Haltezeiten im Bereich von 5-7 s zu gewährleisten.



**Abbildung 43.** Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und der Zusatzlast beim Dead Hang-Test am Leistengriff.

Vergleichbare Ergebnisse konnten auch beim Dead Hang-Test am Slopergriff ( $r = .886$ ,  $p = .001$ , hohe Korrelation mit  $R^2 = .784$ ,  $r_s = .913$ ,  $p < .001$ , sehr hohe Korrelation und  $\tau = .835$ ,  $p = .001$ , hohe Korrelation) und beim Dead Hang-Test am Zangengriff ( $r = .899$ ,  $p < .001$ , hohe Korrelation mit  $R^2 = .808$ ,  $r_s = .939$ ,  $p < .001$ , sehr hohe Korrelation und  $\tau = .861$ ,  $p = .001$ , hohe Korrelation) beobachtet werden. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass Probanden mit höheren absoluten Dynamometerwerten ebenfalls höhere Haltezeiten beim  $BAT_{7,5mm}$  ( $r = .945$ ,  $p < .001$ , sehr hohe Korrelation mit  $R^2 = .894$ ,  $r_s = .967$ ,  $p < .001$ , sehr hohe Korrelation und  $\tau$

= .899,  $p < .001$ , hohe Korrelation) und beim  $BAT_{10mm}$  ( $r = .824$ ,  $p = .003$ , hohe Korrelation mit  $R^2 = .679$ ,  $r_s = .867$ ,  $p = .001$ , hohe Korrelation und  $\tau = .733$ ,  $p = .003$ , hohe Korrelation) aufzeigen konnten (vgl. Tabelle 15). Zur grafischen Überprüfung der linearen Zusammenhänge wird auf die Abbildungen 57-60 im Anhang verwiesen.

**Tabelle 15.** Ergebnisse der Korrelationsanalyse der Testverfahren zur Bestimmung der MAF.

		Abhängige Variablen				
		DH <sub>Leiste</sub>	DH <sub>Sloper</sub>	DH <sub>Zange</sub>	BAT <sub>7,5mm</sub>	BAT <sub>10mm</sub>
<b>Dynamometer</b>	Pearson'sche	$r = .904$	$r = .886$	$r = .899$	$r = .945$	$r = .824$
	P-M-K $r$	$p < .001$	$p = .001$	$p < .001$	$p < .001$	$p = .003$
		***	***	***	***	**
	Spearman'scher	$r_s = .875$	$r_s = .913$	$r_s = .939$	$r_s = .967$	$r_s = .867$
	RK $r_s$	$p = .001$	$p < .001$	$p < .001$	$p < .001$	$p = .001$
		***	***	***	***	***
	Kendall's Tau $\tau$	$\tau = .736$	$\tau = .835$	$\tau = .861$	$\tau = .889$	$\tau = .733$
		$p = .004$	$p = .001$	$p = .001$	$p < .001$	$p = .003$
		**	***	***	***	**

Zusammenfassend konnte anhand der Korrelationsanalyse ein signifikanter Zusammenhang zwischen der  $MAF_{\text{isoliert}}$  am Dynamometer und den Testverfahren zur indirekten Bestimmung der funktionalen MAF ( $MAF_{\text{funktional}}$ ) gezeigt werden. Cronbach's Alpha ergab für die Variablen  $Dynamometer_{\text{absolut}}$ ,  $Dead\ Hang_{\text{Leiste}}$ ,  $Dead\ Hang_{\text{Sloper}}$ ,  $Dead\ Hang_{\text{Zange}}$ ,  $Bent\text{-}Arm_{7,5mm}$  und  $Bent\text{-}Arm_{10mm}$  mit  $\alpha = .936$  eine sehr hohe Korrelation, sodass angenommen werden kann, dass die Ergebnisse der einzelnen Testverfahren miteinander korrelierten und eine hohe interne Konsistenz belegt werden konnte.

Bei den Testverfahren zur Bestimmung der KAS gilt der Bent-Arm Hängetest an der Klimmzugstange als valides Verfahren [10,67,116]. Die KAS wiederum gilt beim Tabata-Protokoll an der Klimmzugstange als primär leistungsbestimmende Größe

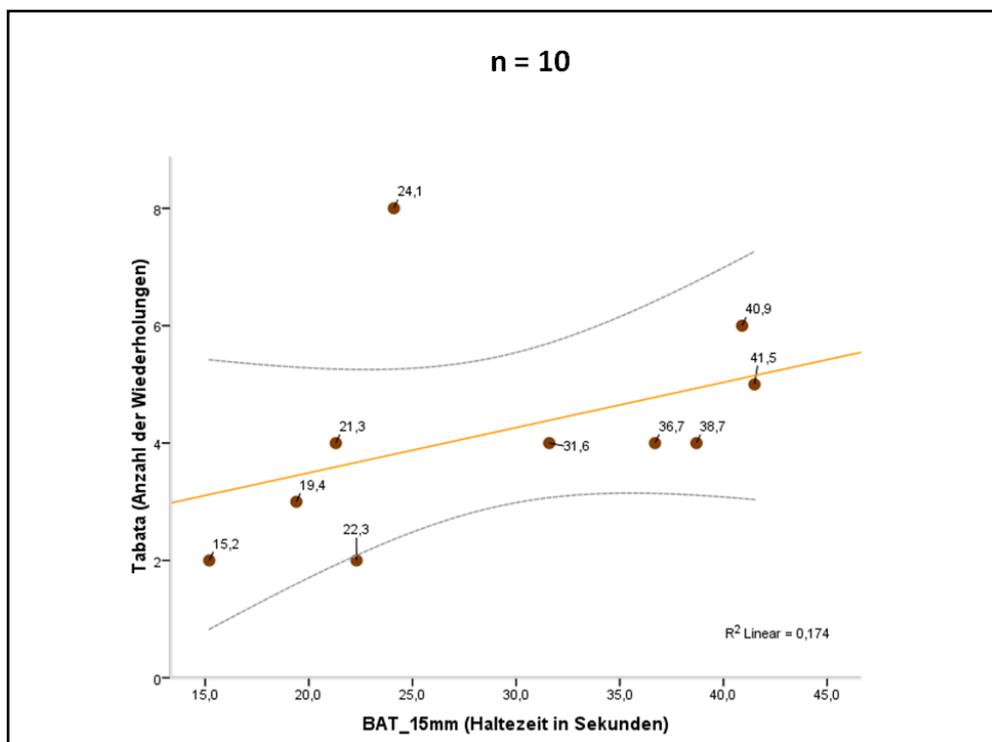
[82]. Mithilfe der Korrelationsanalyse wurde überprüft, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl an Wiederholungen beim Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim  $BAT_{15mm}$ ,  $BAT_{20mm}$  und  $BAT_{30mm}$  beobachtet werden konnte. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse der Testverfahren zur Bestimmung der KAS sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

**Tabelle 16.** Korrelationsanalyse der Testverfahren zur Bestimmung der KAS.

		Abhängige Variablen		
		$BAT_{15mm}$	$BAT_{20mm}$	$BAT_{30mm}$
<b>Tabata-Protokoll</b>	Pearson'sche	$r = .418$	$r = .768$	$r = .765$
	P-M-K $r$	$p = .230$	$p = .010$	$p = .010$
		[ns]	[**]	[**]
	Spearman'scher RK	$r_s = .678$	$r_s = .912$	$r_s = .941$
	$r_s$	$p = .031$	$p < .001$	$p < .001$
		[*]	[***]	[***]
	Kendall's Tau $\tau$	$\tau = .532$	$\tau = .783$	$\tau = .856$
		$p = .041$	$p = .003$	$p = .001$
		[*]	[**]	[***]

Der Pearson'sche Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient ergab keinen signifikanten linearen Zusammenhang zwischen der Anzahl an Wiederholungen beim Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim  $BAT_{15mm}$  mit  $r = .418$ ,  $p = .230$  (geringe Korrelation mit  $R^2 = .174$ ). Demgegenüber ergaben sowohl der Spearman'scher Rang-Korrelationskoeffizient (stabiler bei Ausreißern) als auch Kendall's Tau nicht-parametrischer Korrelationskoeffizient (stabiler bei niedriger Stichprobenhöhe) eine mittlere Korrelation zwischen der Anzahl an Wiederholungen beim Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim  $BAT_{15mm}$ . Trotz des nicht-signifikanten Ergebnisses der Pearson'sche Korrelationsanalyse, kann aufgrund der Spearman'scher Rang- und Kendall's Tau Korrelationskoeffizienten angenommen werden, dass Probanden mit einer höheren Anzahl an Wiederholungen beim Tabata-Protokoll ebenfalls höhere Haltezeiten beim  $BAT_{15mm}$

erreichten. Auch das Streudiagramm zur grafischen Überprüfung des linearen Zusammenhangs zwischen der Anzahl an Wiederholungen beim Tabata-Protokoll und den Haltezeiten (s) beim BAT<sub>15mm</sub> zeigt, dass die einzelnen Beobachtungen, trotz einiger Messausreißer, tendenziell auf einer von links unten nach rechts oben verlaufenden Gerade liegen (vgl. Abbildung 44). Zur grafischen Überprüfung der linearen Zusammenhänge beim BAT<sub>20mm</sub> und den BAT<sub>30mm</sub> wird erneut auf die Abbildungen 61-62 im Anhang verwiesen.



**Abbildung 44.** Zusammenhang zwischen dem Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim BAT<sub>15mm</sub>.

Zusammenfassend konnte anhand der Korrelationsanalyse ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl an Wiederholungen beim Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim BAT<sub>15mm</sub>, BAT<sub>20mm</sub> und BAT<sub>30mm</sub> gezeigt werden. Cronbach's Alpha ergab für die Variablen Tabata-Protokoll, BAT<sub>15mm</sub>, BAT<sub>20mm</sub> und BAT<sub>30mm</sub> mit  $\alpha = .813$  eine hohe Korrelation, sodass angenommen werden kann, dass die Ergebnisse der einzelnen Testverfahren zur Bestimmung der KAS

miteinander korrelierten und folglich eine hohe interne Konsistenz belegt werden konnte.

Bei den Testverfahren zur Bestimmung der LOM gilt die Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung (KIA) als valides Verfahren zur Bestimmung der lokalen Muskelausdauer (LOM) [51]. Mithilfe der Korrelationsanalyse wurde überprüft, ob zwischen der KIA und der Anzahl an Wiederholungen beim IHT ein signifikanter Zusammenhang beobachtet werden konnte. Der Pearson'sche Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang zwischen der KIA und der Anzahl an Wiederholungen beim IHT mit  $r = .873$ ,  $p = .001$  (hohe Korrelation mit  $R^2 = .761$ ). Auch Spearman'scher Rang-Korrelationskoeffizient und Kendall's Tau nicht-parametrischer Korrelationskoeffizient ergaben eine Korrelation zwischen der Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung und der Anzahl an Wiederholungen beim IHT ( $r_s = .791$ ,  $p = .006$ , hohe Korrelation;  $\tau = .628$ ,  $p = .014$ , mittlere Korrelation). Zur grafischen Überprüfung der linearen Zusammenhänge zwischen der KIA und der Anzahl an Wiederholungen beim IHT wird auf die Abbildung 63 im Anhang verwiesen. Zusammenfassend kann somit angenommen werden, dass Probanden mit einer höheren Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung ebenfalls eine höhere Anzahl an Wiederholungen beim IHT aufzeigen konnten.

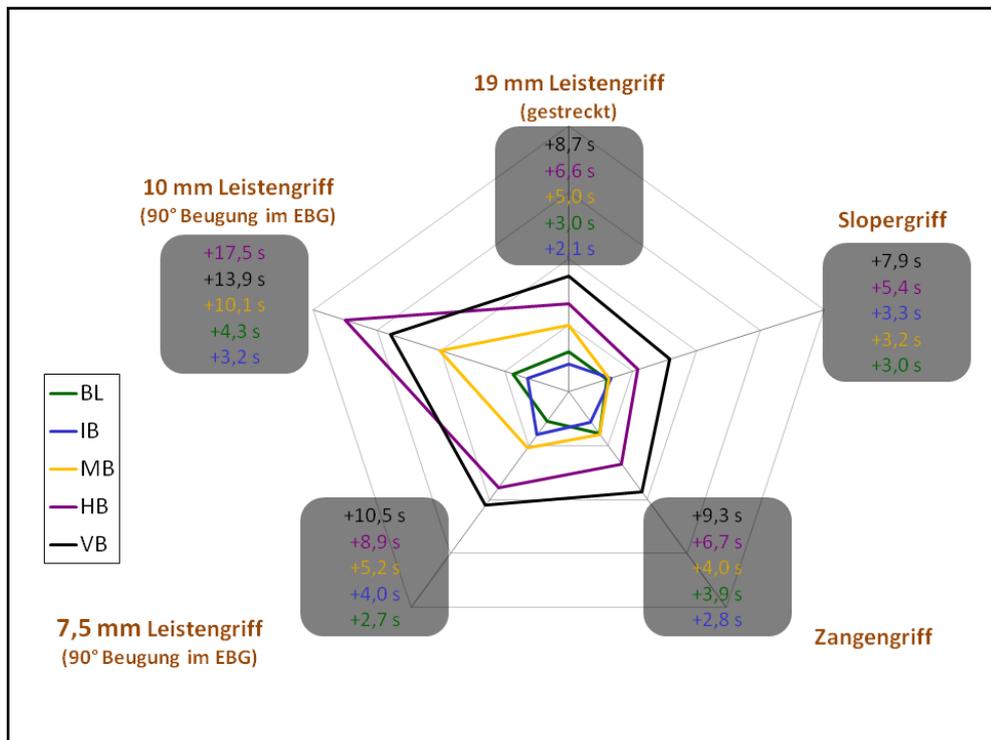
### 5.3 Zusammenfassung der Testergebnisse

Nach vierwöchiger Interventionsphase konnte für HB (+5,0%) und VB (+7,3%) eine signifikante ( $p < .001$ ) Steigerung der isolierten Maximalkraft der Fingermuskulatur ( $MAF_{\text{isoliert}}$ ) beobachtet werden, während für BL (+2,6%,  $p = .109$ ), IB (+1,0%,  $p = .111$ ) und MB (+1,2%,  $p = .167$ ) keine signifikante Zunahme festgestellt werden konnte. Überdies konnte bei VB eine signifikant höhere Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  diagnostiziert werden als bei BL ( $p = .05$ ), IB ( $p = .001$ ) und MB ( $p = .002$ ), während zwischen HB und VB keine signifikanten ( $p = .656$ ) Unterschiede beobachtet wurden. Diesen Ergebnissen zufolge kann angenommen werden, dass

- die  $MAF_{\text{isoliert}}$  im Wettkampfbouldern durch das Training am Hangboard und Vibrationsboard gesteigert werden kann,
- während sowohl das Bouldern als auch das Intervall Bouldern und das Training am Moonboard nach vierwöchiger Trainingsdauer zu keiner Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  führen.

Die Überprüfung signifikanter Unterschiede der funktionalen Maximalkraft der Fingermuskulatur ( $MAF_{\text{funktional}}$ ) erfolgte anhand des  $MAF_{\text{funktional}}$ -Scores, der sich aus dem Summenwert der Variablen (a) Dead Hang<sub>Leiste</sub>, (b) Dead Hang<sub>Sloper</sub>, (c) Dead Hang<sub>Zange</sub>, (d) Bent-Arm<sub>7,5mm</sub> und (e) Bent-Arm<sub>10mm</sub> zusammensetzte. Für den  $MAF_{\text{funktional}}$ -Score konnte nach vierwöchiger Untersuchungsdauer die höchste Steigerung für VB ( $50,4 \pm 8,0$  s;  $p < .001$ ) beobachtet werden, gefolgt von HB ( $45,1 \pm 12,2$  s;  $p < .001$ ), MB ( $27,5 \pm 8,8$  s;  $p < .001$ ), BL ( $16,9 \pm 6,8$  s;  $p < .001$ ) und IB ( $15,4 \pm 9,9$  s;  $p < .001$ ). Überdies konnte auf inferenzstatistischer Ebene eine signifikant höhere Steigerung des  $MAF_{\text{funktional}}$ -Scores für VB im Vergleich zu BL ( $p < .001$ ), IB ( $p < .001$ ) und MB ( $p < .001$ ) beobachtet werden, während zwischen HB und VB keine signifikanten Unterschiede beobachtet wurden ( $p = .254$ ). Auch für HB und MB wurde im Vergleich zu BL ( $p < .001$  und  $p = .014$ ) und IB ( $p < .001$  und  $p = .006$ ) eine signifikant höhere Zunahme des  $MAF_{\text{funktional}}$ -Scores diagnostiziert. In Abbildung 45

sind zur grafischen Veranschaulichung die Ergebnisse der Hängetests (a) Dead Hang<sub>Leiste</sub>, (b) Dead Hang<sub>Sloper</sub>, (c) Dead Hang<sub>Zange</sub>, (d) Bent-Arm<sub>7,5mm</sub> und (e) Bent-Arm<sub>10mm</sub> für alle Trainingsgruppen zusammengefasst.



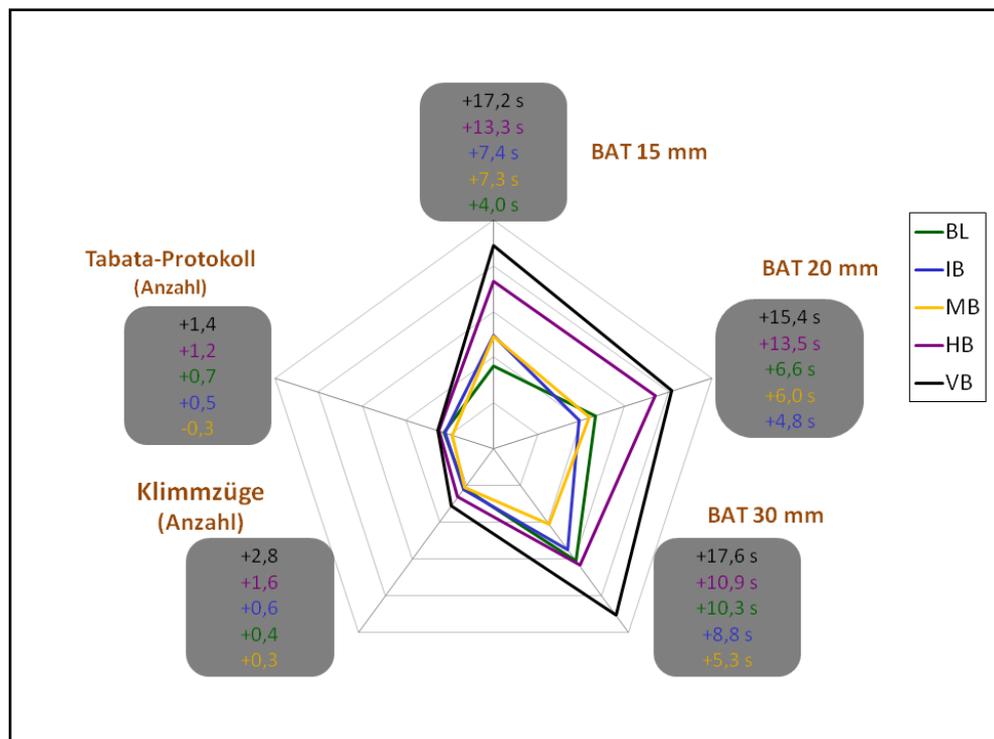
**Abbildung 45.** Steigerung der Haltezeiten nach vierwöchiger Trainingsintervention für die Testverfahren (a) Dead Hang<sub>Leiste</sub>, (b) Dead Hang<sub>Sloper</sub>, (c) Dead Hang<sub>Zange</sub>, (d) Bent-Arm<sub>7,5mm</sub> und (e) Bent-Arm<sub>10mm</sub>.

Diesen Untersuchungsergebnissen zufolge kann angenommen werden, dass

- alle fünf Trainingsmethoden zu einer Steigerung der  $MAF_{\text{funktional}}$  beitragen können,
- wobei die  $MAF_{\text{funktional}}$  insbesondere durch das Training am Hangboard und Vibrationsboard gesteigert werden kann.

In Bezug auf die Kraftfähigkeit der Armbeuger im Ellenbogengelenk und der Muskeln des Schultergürtels (KAS) konnten für alle fünf Trainingsgruppen signifikante ( $p < .05$ ) Steigerungen der Haltezeiten beim  $BAT_{15mm}$ ,  $BAT_{20mm}$  und

BAT<sub>30mm</sub> beobachtet werden. Demgegenüber konnte eine signifikante Zunahme der Anzahl an Klimmzügen ausschließlich für VB (+38,4%,  $p < .001$ ) und HB (+21,3%,  $p < .001$ ) beobachtet werden, aber nicht für BL (+4,8%,  $p = .166$ ), IB (+7,1%,  $p = .067$ ) und MB (+3,8%,  $p = .192$ ). Auch für das Tabata-Protokoll wurde eine höchstsignifikante Steigerung für VB (+36,8%,  $p < .001$ ) und HB (+32,4%,  $p < .001$ ) beobachtet, aber nicht für BL (+14%,  $p = .054$ ), IB (+10,2%,  $p = .275$ ) und MB (-7,5%,  $p = .341$ ). Und schließlich wurde beim MZW-Test ebenfalls eine signifikante Steigerung für VB (+180%,  $p < .001$ ) und HB (+70%,  $p = .004$ ) beobachtet, aber nicht für BL (+20%,  $p = .083$ ), IB (+20%,  $p = .083$ ) und MB (+40%,  $p = .059$ ). Auf deskriptiver Ebene wurden für alle Testverfahren die höchsten Steigerungen nach vierwöchiger Trainingsphase für VB beobachtet. In Abbildung 46 sind zur grafischen Veranschaulichung alle fünf Testverfahren zur Bestimmung der KAS im Vergleich dargestellt.



**Abbildung 46.** Steigerung der Haltezeiten beim BAT<sub>15mm</sub>, BAT<sub>20mm</sub> und BAT<sub>30mm</sub>, sowie der Anzahl an Klimmzügen und der Wiederholungszahl beim Tabata-Protokoll nach vierwöchiger Untersuchungsdauer.

Diesen Untersuchungsergebnissen zufolge kann angenommen werden, dass

- bei der Bestimmung der KAS durch die BAT-Hängetests alle fünf Trainingsmethoden zu einer Steigerung der KAS beitragen können,
- während bei der Bestimmung der KAS durch die MZW, die Anzahl an Klimmzügen und das Tabata-Protokoll nur das Training am Hangboard und Vibrationsboard zu einer Steigerung der KAS führt.

Für die lokale Muskelausdauer der Fingerflexoren (LOM) wurde beim IHT nach vierwöchiger Intervention für VB ( $+3,0 \pm 1,7$ ,  $p < .001$ ), IB ( $+2,4 \pm 2,1$ ,  $p = .002$ ) und HB ( $+2,3 \pm 2,0$ ,  $p = .003$ ) eine signifikante Steigerung der Wiederholungszahl beobachtet, während für BL ( $-0,1 \pm 0,9$ ,  $p = .551$ ) und MB ( $-0,1 \pm 1,3$ ,  $p = .821$ ) eine Abnahme der Anzahl an Wiederholungen diagnostiziert wurde. Für die KIA konnte nach vierwöchiger Trainingsperiode eine signifikante Zunahme für IB ( $+36,2 \pm 14,1$  s,  $p < .001$ ) und VB ( $+26,3 \pm 12,6$  s,  $p < .001$ ) festgestellt werden, während für BL ( $6,1 \pm 19,3$  s,  $p = .298$ ), MB ( $2,1 \pm 18,3$  s,  $p = .717$ ) und HB ( $8,7 \pm 22,5$  s,  $p = .228$ ) keine signifikante Steigerung diagnostiziert wurde. Überdies wurde bei IB eine signifikant höhere Zunahme der KIA festgestellt als bei BL ( $p = .005$ ), MB ( $p = .025$ ) und HB ( $p = .008$ ). Anhand der Untersuchungsergebnisse ist anzunehmen, dass

- eine Steigerung der LOM insbesondere durch das Intervall Bouldern und durch das Training am Vibrationsboard erzielt werden kann.
- Weiterhin kann, in Abhängigkeit der Testverfahren, das Training am Hangboard ebenfalls zu einer Steigerung der LOM beitragen,
- während konventionelles Bouldern an der Boulderwand und am Moonboard zu keiner Steigerung der LOM führt.

Im Hinblick auf die Laktatwerte konnte nach vierwöchiger Intervention für IB ( $-0,7 \pm 1,0$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup>,  $p = .045$ ), HB ( $-0,7 \pm 0,6$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup>,  $p = .002$ ) und VB ( $-0,7 \pm 0,5$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup>,  $p = .001$ ) eine signifikante Abnahme der Laktatwerte beobachtet werden, aber

nicht für BL ( $-0,1 \pm 0,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $p = .537$ ) und MB ( $-0,1 \pm 0,7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $p = .721$ ). Infolgedessen kann festgehalten werden, dass

- Intervall Bouldern, das Training am Hangboard und am Vibrationsboard zu einer Reduktion der Laktatwerte führen kann,
- während beim Bouldern und beim Training am Moonboard keine Reduktion der Laktatwerte erzielt werden kann.

Für die Herzfrequenz konnte für VB eine signifikante Abnahme beobachtet werden ( $-7 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ ,  $p = .004$ ), während für BL ( $-6 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ ,  $p = .083$ ), IB ( $-4 \pm 14 \text{ min}^{-1}$ ,  $p = .328$ ) und HB ( $-6 \pm 12 \text{ min}^{-1}$ ,  $p = .172$ ) auf deskriptiver Ebene ebenfalls eine Abnahme beobachtet wurde, welche auf inferenzstatistischer Ebene nicht belegt werden konnte. Für MB wurde nach vierwöchiger Trainingsphase eine Zunahme der Herzfrequenz ( $+3 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ ,  $p = .493$ ) beobachtet. Anhand dieser Befunde kann somit festgehalten werden, dass

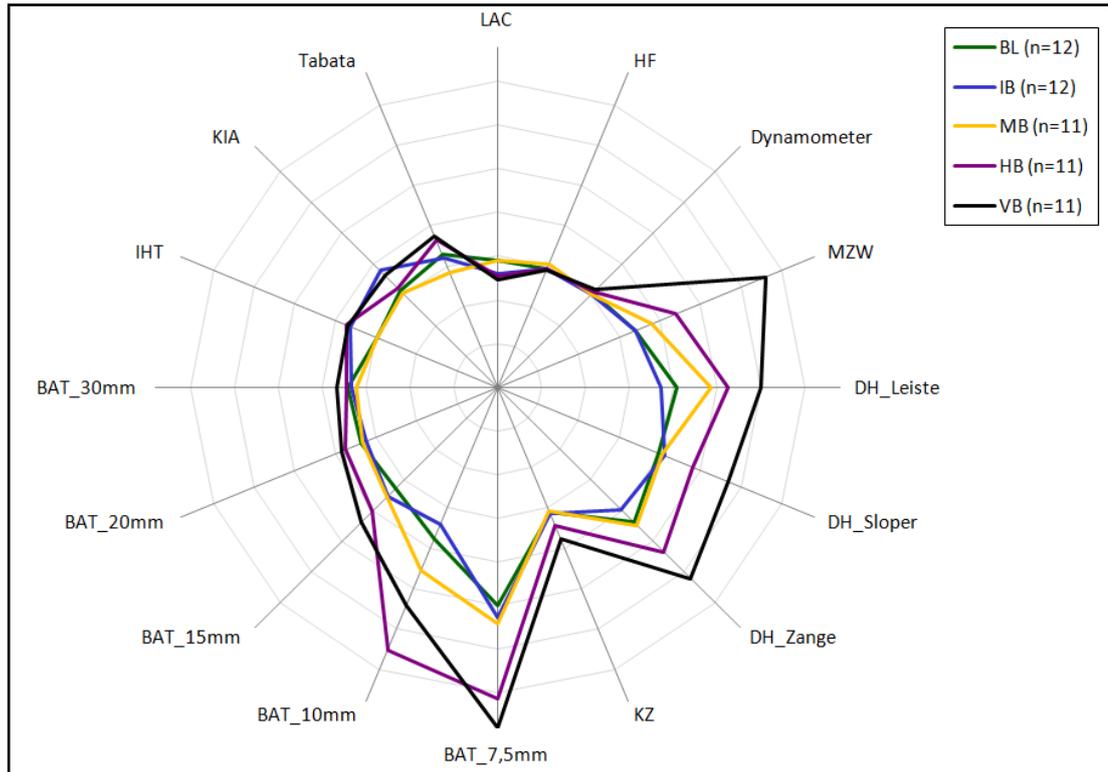
- das Training am Vibrationsboard zu einer signifikanten Abnahme der Herzfrequenz ( $-7 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ ) führen kann.

## 5.4 Vorher-Nachher Vergleiche

In Ergänzung an die Zusammenfassung der Testergebnisse in Kapitel 5.3, erfolgt in diesem Kapitel die detaillierte Darstellung der Vorher-Nachher Vergleiche. Die Ergebnisse für alle Leistungstests zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM sind in Tabelle 17 und in Abbildung 47 zusammengefasst.

**Tabelle 17.** Ergebnisse (in Prozent) der Leistungstests nach vierwöchiger Trainingsphase für die Stichproben BL ( $n = 12$ ), IB ( $n = 12$ ), MB ( $n = 11$ ), HB ( $n = 11$ ) und VB ( $n = 11$ ). Zur Erklärung der Abkürzungen wird auf das Abkürzungsverzeichnis auf S. VI verwiesen.

	BL	IB	MB	HB	VB
LAC	↘4,2% ns	↘20,6% *	↘4,5% ns	↘23,3% **	↘26,9% ***
HF	↘4,1% ns	↘3,0% ns	↗2,1% ns	↘4,0% ns	↘5,0% **
Dyn	↗2,6% ns	↗1,0% ns	↗1,2% ns	↗5,0% ***	↗7,3% ***
MZW	↗20% ns	↗20% ns	↗40% ns	↗70% **	↗180% ***
DH <sub>Leiste</sub>	↗53,6% ***	↗36,2% ***	↗92,6% ***	↗111,9% ***	↗150% ***
DH <sub>Sloper</sub>	↗48,4% ***	↗55,9% ***	↗52,5% ***	↗90,0% ***	↗133,9% ***
DH <sub>Zange</sub>	↗69,6% ***	↗49,1% **	↗74,1% ***	↗117,5% ***	↗160,3% ***
KZ	↗4,8% ns	↗7,1% ns	↗3,8% ns	↗21,3% ***	↗38,4% ***
BAT <sub>7,5mm</sub>	↗100% **	↗114,3% *	↗121% ***	↗247,2% ***	↗375% ***
BAT <sub>10mm</sub>	↗38,1% **	↗20% ns	↗77,1% ***	↗176,8% ***	↗120,9% ***
BAT <sub>15mm</sub>	↗14% *	↗26,7% ***	↗28,2% **	↗51,2% **	↗69,6% ***
BAT <sub>20mm</sub>	↗17,5% *	↗12,6% *	↗16,3% *	↗37,6% ***	↗42,3% ***
BAT <sub>30mm</sub>	↗20,4% ***	↗17,0% *	↗10,8% *	↗22,3% ***	↗33,5% ***
IHT	↘1,3% ns	↗31,2% **	↘1,4% ns	↗36,5% **	↗34,5% ***
KIA	↗6,6% ns	↗38,8% ***	↗2,6% ns	↗10% ns	↗31,1% ***
TABATA	↗14% ns	↗10,2% ns	↘7,5% ns	↗32,4% ***	↗36,8% ***



**Abbildung 47.** Testergebnisse (in Prozent) der MAF, der KAS und der LOM nach vierwöchiger Trainingsphase. Zur Erklärung der Abkürzungen wird auf das Abkürzungsverzeichnis auf S. VI verwiesen.

### 5.4.1 Laktat (LAC) und Herzfrequenz (HF) (Schritt 5)

In Tabelle 18 sind die Laktat- und Herzfrequenzwerte der fünf Stichproben aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 18.** Laktat- und Herzfrequenzwerte aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

Stichprobe	Pretest		Posttest	
	mmol • l <sup>-1</sup>	min <sup>-1</sup>	mmol • l <sup>-1</sup>	min <sup>-1</sup>
BL	2,4 ± 0,6	148 ± 20	2,3 ± 0,6 [ns]	142 ± 16 [ns]
IB	3,4 ± 0,9	135 ± 18	2,7 ± 0,6 [*]	131 ± 19 [ns]
MB	2,2 ± 0,5	141 ± 17	2,1 ± 0,4 [ns]	144 ± 19 [ns]
HB	3,0 ± 0,8	149 ± 18	2,3 ± 0,5 [**]	143 ± 24 [ns]
VB	2,6 ± 0,5	141 ± 23	1,9 ± 0,5 [***]	134 ± 23 [**]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen der Variablen Laktat und Herzfrequenz keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung (vgl. Tabelle 19). Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf hinreichend normalverteilte Stichproben ( $< 1.96$ ) hindeuten. Somit kann davon ausgegangen werden, dass beide Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

**Tabelle 19.** Prüfung auf Normalverteilung der Variablen Laktat und Herzfrequenz.

Trainingsgruppe	Paardifferenz für LAC	Paardifferenz für HF
BL	$D(12) = .510, p = .957$	$D(12) = .610, p = .851$
IB	$D(12) = .674, p = .754$	$D(12) = .511, p = .957$
MB	$D(11) = .562, p = .911$	$D(11) = .617, p = .840$
HB	$D(11) = .643, p = .803$	$D(11) = .496, p = .966$
VB	$D(11) = .485, p = .972$	$D(11) = .469, p = .981$

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Abnahme der Laktatwerte von  $0,1 \pm 0,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ , 95% CI [-0.7, 0.4] für BL,  $0,7 \pm 1,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ , 95% CI [-1.4, 0.0] für IB,  $0,1 \pm 0,7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ , 95% CI [-0.6, 0.4] für MB,  $0,7 \pm 0,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ , 95% CI [-1.1, -0.3] für HB und  $0,7 \pm 0,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ , 95% CI [-0.9, -0.3] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für IB mit  $t(11) = 2.26, p = .045, \hat{d} = -0.8$ , HB mit  $t(10) = 4.21, p = .002, \hat{d} = -0.9$  und VB mit  $t(10) = 4.74, p = .001, \hat{d} = -1.4$ . Keine signifikanten Unterschiede wurden für BL mit  $t(11) = .64, p = .537, \hat{d} = -0.2$  und MB mit  $t(10) = .37, p = .721, \hat{d} = -0.2$  beobachtet. Für die Herzfrequenz ergab die deskriptive Auswertung nach vierwöchiger Interventionsphase eine Abnahme von  $6 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ , 95% CI [-14.9, 0.95] für BL,  $4 \pm 14 \text{ min}^{-1}$ , 95% CI [-14.1, 5.8] für IB,  $6 \pm 12 \text{ min}^{-1}$ , 95% CI [-13.9, 2.9] für HB und  $7 \pm 7 \text{ min}^{-1}$ , 95% CI [-11.9, -2.9] für VB, sowie eine Zunahme der Herzfrequenz von  $3 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ , 95% CI [-4.8, 9.4] für MB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für VB mit  $t(10) = 3.70, p = .004, \hat{d} = -0.3$ . Keine signifikanten Unterschiede wurden für BL mit  $t(11) = 1.90, p = .083, \hat{d} = -0.3$ , IB mit  $t(11) = 1.02, p = .328, \hat{d} = -0.2$ , MB mit  $t(10) = -.71, p = .493, \hat{d} = 0.2$  und HB mit  $t(10) = 1.47, p = .172, \hat{d} = -0.3$  beobachtet.

### 5.4.2 Dynamometer (Schritt 6)

In Tabelle 20 sind die Dynamometerwerte der fünf Stichproben aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 20.** Dynamometerwerte aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

Trainingsgruppe	Pretest (kg)	Posttest (kg)
BL	53,3 ± 5	54,7 ± 5 [ns]
IB	52,1 ± 6	52,6 ± 6 [ns]
MB	50,8 ± 9	51,4 ± 8 [ns]
HB	50,2 ± 4	52,7 ± 4 [***]
VB	53,5 ± 6	57,4 ± 6 [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(12) = .704$ ,  $p = .704$  für BL,  $D(12) = .952$ ,  $p = .325$  für IB,  $D(11) = .726$ ,  $p = .668$  für MB,  $D(11) = .665$ ,  $p = .769$  für HB und  $D(11) = .940$ ,  $p = .340$  für VB. Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

Die deskriptive Auswertung ergab eine Zunahme der Dynamometerwerte nach vierwöchiger Intervention von durchschnittlich  $1,4 \pm 2,9$  kg, 95% CI [-0.5, 3.4] für BL,  $0,5 \pm 1,0$  kg, 95% CI [-0.1, 1.2] für IB,  $0,6 \pm 1,2$  kg, 95% CI [-0.3, 1.4] für MB,  $2,5 \pm 1,4$  kg, 95% CI [1.6, 3.5] für HB und  $3,9 \pm 1,0$  kg, 95% CI [3.2, 4.6] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für HB mit  $t(10) = -6.17$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 0.6$  und VB mit  $t(10) = -12.41$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 0.7$ . Keine signifikanten Unterschiede wurden für die Trainingsgruppen BL mit  $t(11) = -1.75$ ,  $p = .109$ ,  $\hat{d} = 0.3$ , IB mit  $t(11) = -1.73$ ,  $p = .111$ ,  $\hat{d} = 0.1$  und MB mit  $t(10) = -1.49$ ,  $p = .167$ ,  $\hat{d} = 0.1$  festgestellt.

### 5.4.3 Maximale Zusatzlast für eine Wiederholung (Schritt 7)

In Tabelle 21 sind die MZW Ergebnisse der fünf Stichproben aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 21.** MZW Ergebnisse aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

Trainingsgruppe	Pretest (Anzahl)	Posttest (Anzahl)
BL	1 ± 0	1,2 ± 0,4 [ns]
IB	1 ± 0	1,2 ± 0,4 [ns]
MB	1 ± 0	1,4 ± 0,7 [ns]
HB	1 ± 0	1,7 ± 0,6 [**]
VB	1 ± 0	2,8 ± 0,7 [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen BL, IB und MB eine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(12) = 1.59, p = .013$  für BL,  $D(12) = 1.59, p = .013$  für IB und  $D(11) = 1.27, p = .081$  für MB. Die Voraussetzung der Normalverteilung für den abhängigen t-Test wurde somit nicht erfüllt. Die Mittelwertvergleiche für BL, IB und MB erfolgten mit dem nichtparametrischen Wilcoxon-Test [77]. Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen HB und VB keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(11) = .994, p = .276$  für HB und  $D(11) = .770, p = .594$  für VB. Die z-Werte der Schiefe und Wölbung für HB und VB konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten.

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Trainingsphase eine Zunahme der Anzahl an Klimmzügen beim MZW-Test von  $0,2 \pm 0,4, 95\% CI [0.0, 0.5]$  für BL und IB,  $0,4 \pm 0,7, 95\% CI [0.0, 0.9]$  für MB,  $0,7 \pm 0,6, 95\% CI [0.3, 1.2]$  für HB und  $1,8 \pm 0,7, 95\% CI [1.3, 2.3]$  für VB. Der Wilcoxon-Test ergab keine signifikanten Unterschiede für BL ( $Z = -1.73, p = .083, \hat{d} = 0.7$ ), IB ( $Z = -1.73, p = .083, \hat{d} = 0.7$ ) und MB ( $Z = -1.89, p = .059, \hat{d} = 0.8$ ), während der t-Test signifikante Unterschiede für

HB mit  $t(10) = -3.73$ ,  $p = .004$ ,  $\hat{d} = 1.7$  und VB mit  $t(10) = -8.03$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 3.1$  ergab.

#### 5.4.4 Dead Hang-Test (Schritt 8-10)

In Tabelle 22 sind die Ergebnisse der Dead Hang-Tests aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 22.** Ergebnisse der Dead Hang-Tests am Leisten-, Sloper- und Zangengriff aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

	Leistengriff	Slopergriff	Zangengriff
	<b>Pretest (s)</b>		
BL	5,6 ± 0,5	6,2 ± 0,6	5,6 ± 0,5
IB	5,8 ± 0,7	5,9 ± 0,7	5,7 ± 0,7
MB	5,4 ± 0,6	6,1 ± 0,4	5,4 ± 0,6
HB	5,9 ± 0,4	6,0 ± 0,7	5,7 ± 0,4
VB	5,8 ± 0,7	5,9 ± 0,6	5,8 ± 0,5
	<b>Posttest (s)</b>		
BL	8,6 ± 2,0 [***]	9,2 ± 2,4 [***]	9,5 ± 2,6 [***]
IB	7,9 ± 1,0 [***]	9,2 ± 1,7 [***]	8,5 ± 2,7 [**]
MB	10,4 ± 1,3 [***]	9,3 ± 2,2 [***]	9,4 ± 2,9 [***]
HB	12,5 ± 2,5 [***]	11,4 ± 2,6 [***]	12,4 ± 2,7 [***]
VB	14,5 ± 1,6 [***]	13,8 ± 1,6 [***]	15,1 ± 1,6 [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für alle Paardifferenzen keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung (vgl. Tabelle 23). Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass alle Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

**Tabelle 23.** Prüfung auf Normalverteilung der Variablen  $DH_{Leiste}$ ,  $DH_{Sloper}$  und  $DH_{Zange}$ .

Gruppen	$DH_{Leiste}$	$DH_{Sloper}$	$DH_{Zange}$
BL	$D(12) = .447, p = .988$	$D(12) = .522, p = .948$	$D(12) = .579, p = .891$
IB	$D(12) = .466, p = .982$	$D(12) = .354, p > .999$	$D(12) = .836, p = .487$
MB	$D(11) = .541, p = .932$	$D(11) = .785, p = .569$	$D(11) = .619, p = .938$
HB	$D(11) = .665, p = .768$	$D(11) = .578, p = .892$	$D(11) = 1.08, p = .190$
VB	$D(11) = .540, p = .932$	$D(11) = .451, p = .987$	$D(11) = .527, p = .944$

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase am Leistengriff eine Zunahme der Haltezeiten von  $3,0 \pm 2,1$  s, 95% CI [1.7, 4.4] für BL,  $2,1 \pm 1,2$  s, 95% CI [1.3, 2.8] für IB,  $5,0 \pm 1,5$  s, 95% CI [4.0, 6.0] für MB,  $6,6 \pm 2,5$  s, 95% CI [4.9, 8.2] für HB und  $8,7 \pm 2,0$  s, 95% CI [7.3, 10.0] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab für alle fünf Stichproben signifikante Unterschiede mit  $t(11) = -5.05, p < .001, \hat{d} = 6.0$  für BL,  $t(11) = -6.08, p < .001, \hat{d} = 3.0$  für IB,  $t(10) = -11.57, p < .001, \hat{d} = 8.3$  für MB,  $t(10) = -8.87, p < .001, \hat{d} = 16.5$  für HB und  $t(10) = -14.54, p < .001, \hat{d} = 12.4$  für VB. Am Slopergriff ergab die deskriptive Auswertung eine Steigerung der Haltezeiten nach vierwöchiger Interventionsphase von  $3,0 \pm 2,4$  s, 95% CI [1.6, 4.6] für BL,  $3,3 \pm 1,5$  s, 95% CI [2.3, 4.3] für IB,  $3,2 \pm 2,3$  s, 95% CI [1.7, 4.8] für MB,  $5,4 \pm 2,3$  s, 95% CI [3.9, 7.0] für HB und  $7,9 \pm 1,5$  s, 95% CI [6.9, 8.9] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab für alle fünf Stichproben signifikante Unterschiede mit  $t(11) = -4.51, p = .001, \hat{d} = 5.0$  für BL,  $t(11) = -7.40, p < .001, \hat{d} = 4.7$  für IB,  $t(10) = -4.62, p = .001, \hat{d} = 8.0$  für MB,  $t(10) = -7.83, p < .001, \hat{d} = 7.7$  für HB und  $t(10) = -17.78, p < .001, \hat{d} = 13.2$  für VB. Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der Haltezeiten am Zangengriff von  $3,9 \pm 2,4$  s, 95% CI [2.3, 5.4] für BL,  $2,8 \pm 2,4$  s, 95% CI [1.3, 4.4] für IB,  $4,0 \pm 2,8$  s, 95% CI [2.0, 5.8] für MB,  $6,7 \pm 2,5$  s, 95% CI [5.1, 8.4] für HB und  $9,3 \pm 1,6$  s, 95% CI [8.3, 10.5] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab für alle fünf Stichproben signifikante Unterschiede mit  $t(11) = -5.48, p < .001, \hat{d} = 7.8$  für BL,  $t(11) = -4.04, p = .002, \hat{d} = 4.0$  für IB,  $t(10) = -4.60, p = .001, \hat{d} = 6.7$  für MB,  $t(10) = -8.94, p < .001, \hat{d} = 16.8$  für HB und  $t(10) = -19.45, p < .001, \hat{d} = 18.6$  für VB.

### 5.4.5 Klimmzüge (Schritt 11)

In Tabelle 24 sind die Ergebnisse der Klimmzüge aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 24.** Anzahl der Klimmzüge aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

Trainingsgruppe	Pretest (Anzahl)	Posttest (Anzahl)
BL	8,3 ± 2,1	8,7 ± 1,9 [ns]
IB	8,4 ± 3,3	9,0 ± 2,7 [ns]
MB	8,0 ± 1,9	8,3 ± 1,6 [ns]
HB	7,5 ± 2,4	9,1 ± 2,3 [***]
VB	7,3 ± 1,4	10,1 ± 1,4 [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung mit  $D(12) = .869$ ,  $p = .437$  für BL,  $D(12) = .850$ ,  $p = .465$  für IB,  $D(11) = .994$ ,  $p = .276$  für MB,  $D(11) = 1.10$ ,  $p = .178$  für HB und  $D(11) = .770$ ,  $p = .594$  für VB. Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine durchschnittliche Zunahme der Klimmzüge von  $0,4 \pm 1,2$ , 95% CI [-0.2, 1.2] für BL,  $0,6 \pm 1,0$ , 95% CI [0.0, 1.2] für IB,  $0,3 \pm 0,6$ , 95% CI [-0.2, 0.7] für MB,  $1,6 \pm 0,7$ , 95% CI [1.1, 2.0] für HB und  $2,8 \pm 0,7$ , 95% CI [2.3, 3.3] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab keine signifikanten Unterschiede für die Stichproben BL mit  $t(11) = -1.48$ ,  $p = .166$ ,  $\hat{d} = 0.2$ , IB mit  $t(11) = -2.03$ ,  $p = .067$ ,  $\hat{d} = 0.2$  und MB mit  $t(10) = -1.40$ ,  $p = .192$ ,  $\hat{d} = 0.2$ , aber signifikante Unterschiede für HB mit  $t(10) = -7.45$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 0.7$  und VB mit  $t(10) = -12.45$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 2.0$ .

### 5.4.6 Bent-Arm Hängetest (Schritt 12-16)

In Tabelle 25 sind die Ergebnisse der Bent-Arm Hängetests aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 25.** Bent-Arm Hängetests aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

	7,5 mm	10 mm	15 mm	20 mm	30 mm
<b>Pretest (s)</b>					
BL	2,7 ± 2,2	11,3 ± 5,3	28,5 ± 11,3	37,7 ± 8,3	50,6 ± 12,4
IB	3,5 ± 2,1	16,0 ± 8,3	27,7 ± 12,3	38,0 ± 13,0	51,7 ± 16,9
MB	4,3 ± 3,2	13,1 ± 6,9	25,9 ± 10,4	36,8 ± 12,4	49,2 ± 12,7
HB	3,6 ± 2,3	9,9 ± 4,7	26,0 ± 9,5	35,9 ± 8,2	48,8 ± 13,4
VB	2,8 ± 2,5	11,5 ± 5,7	24,7 ± 5,5	36,4 ± 5,1	52,6 ± 5,6
<b>Posttest (s)</b>					
BL	5,4 ± 3,5 [**]	15,6 ± 7,5 [**]	32,5 ± 12,4 [*]	44,3 ± 9,6 [*]	60,9 ± 13,1 [***]
IB	7,5 ± 6,0 [*]	19,2 ± 11,3 [ns]	35,1 ± 14,1 [***]	42,8 ± 14,8 [*]	60,5 ± 20,6 [*]
MB	9,5 ± 5,2 [***]	23,2 ± 9,8 [***]	33,2 ± 10,5 [**]	42,8 ± 9,4 [*]	54,5 ± 10,2 [*]
HB	12,5 ± 5,4 [***]	27,4 ± 4,6 [***]	39,3 ± 6,2 [**]	49,4 ± 8,7 [***]	59,7 ± 11,8 [***]
VB	13,3 ± 3,1 [***]	25,4 ± 11,1 [***]	41,9 ± 5,4 [***]	51,8 ± 4,6 [***]	70,2 ± 4,5 [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für alle Paardifferenzen keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung (vgl. Tabelle 26). Die z-Werte der Schiefe und Wölbung deuten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe (< 1.96) hin. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

**Tabelle 26.** Prüfung auf Normalverteilung der BAT-Tests.

	<b>BL</b>	<b>IB</b>	<b>MB</b>	<b>HB</b>	<b>VB</b>
BAT <sub>7,5mm</sub>	$D(12) = .702$ $p = .707$	$D(12) = .570$ $p = .901$	$D(11) = .447$ $p = .977$	$D(11) = .499$ $p = .965$	$D(11) = .478$ $p = .976$
BAT <sub>10mm</sub>	$D(12) = .632$ $p = .819$	$D(12) = .696$ $p = .718$	$D(11) = .383$ $p = .999$	$D(11) = .385$ $p = .998$	$D(11) = .594$ $p = .872$
BAT <sub>15mm</sub>	$D(12) = .662$ $p = .773$	$D(12) = .551$ $p = .922$	$D(11) = .616$ $p = .842$	$D(11) = .492$ $p = .969$	$D(11) = .757$ $p = .615$
BAT <sub>20mm</sub>	$D(12) = 1.01$ $p = .255$	$D(12) = .900$ $p = .393$	$D(11) = .575$ $p = .896$	$D(11) = .723$ $p = .673$	$D(11) = .994$ $p = .335$
BAT <sub>30mm</sub>	$D(12) = .637$ $p = .812$	$D(12) = .554$ $p = .919$	$D(11) = .631$ $p = .820$	$D(11) = .480$ $p = .975$	$D(11) = .656$ $p = .783$

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der Haltezeiten beim BAT<sub>7,5mm</sub> von durchschnittlich  $2,7 \pm 2,3$  s, 95% CI [1.2, 4.1] für BL,  $4,0 \pm 4,8$  s, 95% CI [0.9, 7,0] für IB,  $5,2 \pm 2,5$  s, 95% CI [3.4, 6.9] für MB,  $8,9 \pm 4,9$  s, 95% CI [5.5, 12.2] für HB und  $10,5 \pm 2,9$  s, 95% CI [8,6, 12,5] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab beim BAT<sub>7,5mm</sub> für alle fünf Stichproben signifikante Unterschiede mit  $t(11) = -3.93$ ,  $p = .002$ ,  $\hat{d} = 1.2$  für BL,  $t(11) = -2.86$ ,  $p = .016$ ,  $\hat{d} = 1.9$  für IB,  $t(10) = -6.69$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 1.6$  für MB,  $t(10) = -5.97$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 3.9$  für HB und  $t(10) = -12.01$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 4.2$  für VB. Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der Haltezeiten beim BAT<sub>10mm</sub> von durchschnittlich  $4,3 \pm 3,9$  s, 95% CI [1.8, 6.8] für BL,  $3,2 \pm 5,8$  s, 95% CI [-0.5, 6.9] für IB,  $10,1 \pm 5,3$  s, 95% CI [6.6, 13.7] für MB,  $17,5 \pm 5,5$  s, 95% CI [13.8, 21.2] für HB und  $13,9 \pm 6,3$  s, 95% CI [9.7, 18.2] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für die Stichproben BL mit  $t(11) = -3.75$ ,  $p = .003$ ,  $\hat{d} = 0.8$ , MB mit  $t(10) = -6.35$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 1.5$ , HB mit  $t(10) = -10.47$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 3.7$  und VB mit  $t(10) = -7.31$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 2.4$ . Keine signifikanten Unterschiede zwischen Pre- und Posttest wurden für die Stichprobe IB mit  $t(11) = -1.91$ ,  $p = .082$ ,  $\hat{d} = 0.4$  beobachtet. Für den BAT<sub>15mm</sub> ergab die deskriptive Statistik eine durchschnittliche Zunahme der Haltezeiten von  $4,0 \pm 4,6$  s, 95% CI [1.0, 6.7] für BL,  $7,4 \pm 4,6$  s, 95% CI [4.4, 10.3] für IB,  $7,3 \pm 6,7$  s, 95% CI [2.8, 11.8] für MB,  $13,3 \pm 10,8$  s, 95% CI [6.1, 20.6] für HB und  $17,2 \pm 2,7$  s, 95% CI [15.4, 19.0] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab für alle Stichproben signifikante Unterschiede mit  $t(11) = -3.00$ ,  $p = .012$ ,  $\hat{d} = 0.4$  für BL,  $t(11) = -5.49$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 0.6$  für IB,  $t(10) =$

-3.60,  $p = .005$ ,  $\hat{d} = 0.7$  für MB,  $t(10) = -4.10$ ,  $p = .002$ ,  $\hat{d} = 1.4$  für HB und  $t(10) = -21.48$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 3.1$  für VB. Die deskriptive Auswertung zeigte nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der Haltezeiten beim  $BAT_{20\text{mm}}$  von durchschnittlich  $6,6 \pm 7,3$  s, 95% CI [1.9, 11.2] für BL,  $4,8 \pm 6,0$  s, 95% CI [1.0, 8.7] für IB,  $6,0 \pm 6,6$  s, 95% CI [1.5, 10.4] für MB,  $13,5 \pm 3,7$  s, 95% CI [11.1, 16.1] für HB und  $15,4 \pm 5,9$  s, 95% CI [11.5, 19.4] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab für alle Stichproben signifikante Unterschiede mit  $t(11) = -3.11$ ,  $p = .010$ ,  $\hat{d} = 0.8$  für BL,  $t(11) = -2.78$ ,  $p = .018$ ,  $\hat{d} = 0.4$  für IB,  $t(10) = -3.00$ ,  $p = .013$ ,  $\hat{d} = 0.5$  für MB,  $t(10) = -12.09$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 1.6$  für HB und  $t(10) = -8.67$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 3.0$  für VB. Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der Haltezeiten beim  $BAT_{30\text{mm}}$  von durchschnittlich  $10,3 \pm 7,8$  s, 95% CI [5.3, 15.3] für BL,  $8,8 \pm 9,9$  s, 95% CI [2.5, 15.0] für IB,  $5,3 \pm 5,7$  s, 95% CI [1.5, 9.2] für MB,  $10,9 \pm 5,5$  s, 95% CI [7.2, 14.6] für HB und  $17,6 \pm 4,8$  s, 95% CI [14.4, 20.9] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für alle Stichproben mit  $t(11) = -4.57$ ,  $p = .001$ ,  $\hat{d} = 0.8$  für BL,  $t(11) = -3.07$ ,  $p = .011$ ,  $\hat{d} = 0.5$  für IB,  $t(10) = -3.13$ ,  $p = .011$ ,  $\hat{d} = 0.4$  für MB,  $t(10) = -6.53$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 0.8$  für HB und  $t(10) = -12.08$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 3.1$  für VB.

### 5.4.7 Intermittent Hängetest (Schritt 17)

In Tabelle 27 sind die Ergebnisse des IHTs aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 27.** IHT Ergebnisse aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

Trainingsgruppe	Pretest	Posttest
BL	$7,7 \pm 2$	$7,6 \pm 3$ [ns]
IB	$7,7 \pm 3$	$10,1 \pm 3$ [**]
MB	$6,9 \pm 3$	$6,8 \pm 2$ [ns]
HB	$6,3 \pm 2$	$8,6 \pm 3$ [**]
VB	$8,7 \pm 3$	$11,7 \pm 3$ [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung mit  $D(12) = .822$ ,  $p = .509$  für BL,  $D(12) = 1.14$ ,  $p = .150$  für IB,  $D(11) = .545$ ,  $p = .928$  für MB,  $D(11) = .681$ ,  $p = .742$  für HB und  $D(11) = .611$ ,  $p = .850$  für VB. Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der Wiederholungszahl beim IHT von  $2,4 \pm 2,1$ , 95% CI [1.1, 3.8] für IB,  $2,3 \pm 2,0$ , 95% CI [1.0, 3.7] für HB und  $3,0 \pm 1,7$ , 95% CI [1.9, 4.1] für VB. Für BL und MB konnte eine Abnahme von jeweils  $0,1 \pm 0,9$ , 95% CI [-0.8, 0.4] und  $0,1 \pm 1,3$ , 95% CI [-1.0, 0.8] beobachtet werden. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für IB mit  $t(11) = -3.97$ ,  $p = .002$ ,  $\hat{d} = 0.8$ , HB mit  $t(10) = -3.89$ ,  $p = .003$ ,  $\hat{d} = 1.2$  und VB mit  $t(10) = -5.95$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 1.0$ . Keine signifikanten Unterschiede wurden für BL mit  $t(11) = .62$ ,  $p = .551$ ,  $\hat{d} = -0.1$  und MB mit  $t(10) = .23$ ,  $p = .821$ ,  $\hat{d} = 0.0$  festgestellt.

#### **5.4.8 Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung (Schritt 18)**

In Tabelle 28 sind die Ergebnisse der KIA aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 28.** Ergebnisse der KIA aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

Trainingsgruppe	Pretest (s)	Posttest (s)
BL	92,4 ± 22	98,5 ± 15 [ns]
IB	93,4 ± 24	129,6 ± 25 [***]
MB	80,4 ± 30	82,5 ± 14 [ns]
HB	87,1 ± 15	95,8 ± 26 [ns]
VB	84,5 ± 29	110,8 ± 26 [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung mit  $D(12) = .506$ ,  $p = .960$  für BL,  $D(12) = .476$ ,  $p = .977$  für IB,  $D(11) = .799$ ,  $p = .545$  für MB,  $D(11) = .450$ ,  $p = .988$  für HB und  $D(11) = .363$ ,  $p = .999$  für VB. Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der durchschnittlichen Kletterzeit von  $6,1 \pm 19,3$  s, 95% CI [-6.2, 18.3] für BL,  $36,2 \pm 14,1$  s, 95% CI [27.2, 45.1] für IB,  $2,1 \pm 18,3$  s, 95% CI [-10.2, 14.3] für MB,  $8,7 \pm 22,5$  s, 95% CI [-6.4, 23.8] für HB und  $26,3 \pm 12,6$  s, 95% CI [17.9, 34.8] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für die Trainingsgruppen IB mit  $t(11) = -8.85$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 1.5$  und VB mit  $t(10) = -6.93$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 0.9$ . Keine signifikanten Unterschiede wurden für die Trainingsgruppen BL mit  $t(11) = -1.09$ ,  $p = .298$ ,  $\hat{d} = 0.3$ , MB mit  $t(10) = -.37$ ,  $p = .717$ ,  $\hat{d} = 0.1$  und HB mit  $t(10) = -1.28$ ,  $p = .228$ ,  $\hat{d} = 0.6$  beobachtet.

### 5.4.9 Tabata-Protokoll (Schritt 19)

In Tabelle 29 sind die Ergebnisse des Tabata-Protokolls aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 29.** Ergebnisse des Tabata-Protokolls aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

Trainingsgruppe	Pretest (Anzahl)	Posttest (Anzahl)
BL	5,0 ± 2	5,7 ± 1 [ns]
IB	4,9 ± 2	5,4 ± 2 [ns]
MB	4,0 ± 1	3,7 ± 1 [ns]
HB	3,7 ± 1	4,9 ± 2 [***]
VB	3,8 ± 1	5,2 ± 1 [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(12) = .844$ ,  $p = .475$  für BL,  $D(12) = .705$ ,  $p = .704$  für IB,  $D(11) = .964$ ,  $p = .311$  für MB,  $D(11) = .770$ ,  $p = .594$  für HB und  $D(11) = 1.17$ ,  $p = .128$  für VB. Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine durchschnittliche Zunahme der Anzahl an Wiederholungen von  $0,7 \pm 1,2$ , 95% CI [0,0, 1,6] für BL,  $0,5 \pm 1,5$ , 95% CI [-0,5, 1,5] für IB,  $1,2 \pm 0,7$ , 95% CI [0,7, 1,7] für HB und  $1,4 \pm 0,5$ , 95% CI [1,1, 1,8] für VB, während für MB eine Abnahme der Wiederholungszahl von  $0,3 \pm 0,9$ , 95% CI [-0,9, 0,3] beobachtet wurde. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für HB mit  $t(10) = -5.22$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 1.2$  und VB mit  $t(10) = -9.24$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 1.4$ . Keine signifikanten Unterschiede ergab der t-Test für BL mit  $t(11) = -2.16$ ,  $p = .054$ ,  $\hat{d} = 0.4$ , IB mit  $t(11) = -1.15$ ,  $p = .275$ ,  $\hat{d} = 0.3$  und MB mit  $t(10) = 1.00$ ,  $p = .341$ ,  $\hat{d} = -0.3$ .

Zur Überprüfung äußerer Einflussfaktoren auf die Ergebnisse der Leistungstests wurden die Veränderungen der nachfolgenden Variablen zwischen Pre- und Posttest untersucht:

- Das Körpergewicht,
- die subjektive Befindlichkeit ( $WKV_{Aktiviertheit}$ ,  $WKV_{Gesundheit}$ ,  $WKV_{Trainiertheit}$ ),
- die Raumtemperatur und
- die Luftfeuchtigkeit.

Die Ergebnisse der Vorher-Nachher-Vergleiche dieser Variablen sind in Tabelle 30 zusammengefasst.

**Tabelle 30.** Vorher-Nachher Ergebnisse (in Prozent) der Variablen Körpergewicht,  $WKV_{Aktiviertheit}$ ,  $WKV_{Gesundheit}$ ,  $WKV_{Trainiertheit}$ , Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit.

	BL	IB	MB	HB	VB
Körpergewicht	↘0,7% ns	↘1,3% ns	↘0,4% ns	↗0,7% ns	↘0,7% ns
$WKV_{Aktiviertheit}$	↗7,5% ns	↗5,1% ns	↗5,3% ns	↗5,1% ns	↗2,4% ns
$WKV_{Gesundheit}$	↗9,1% ns	↗8,6% ns	↗11,8% ns	↘2,4% ns	→0% ns
$WKV_{Trainiertheit}$	↗12,8% ***	↗20% **	↗13,9% ns	↗24,2% *	↗22,2% ***
Raumtemperatur	↘6,2% ***	↘0,7% ns	↘9,8% ***	↘2,9 *	↘9,1% ***
Luftfeuchtigkeit	↗0,5% ns	↗3,1% ns	↘4,9% ns	↗3,1% ns	↘1,6% ns

### 5.4.10 Körpergewicht

In Tabelle 31 ist das Körpergewicht aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 31.** Körpergewicht aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

Trainingsgruppe	Pretest (kg)	Posttest (kg)
BL	69,4 ± 5	68,9 ± 4 [ns]
IB	68,8 ± 5	67,9 ± 5 [ns]
MB	70,3 ± 6	70,0 ± 7 [ns]
HB	71,0 ± 5	71,5 ± 5 [ns]
VB	70,9 ± 6	70,4 ± 6 [ns]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Paardifferenzen keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(12) = .863$ ,  $p = .446$  für BL,  $D(12) = .799$ ,  $p = .545$  für IB,  $D(11) = .911$ ,  $p = .377$  für MB,  $D(11) = .782$ ,  $p = .574$  für HB und  $D(11) = 1.2$ ,  $p = .101$  für VB. Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

Anhand der deskriptiven Auswertung konnte nach vierwöchiger Trainingsphase eine durchschnittliche Abnahme des Körpergewichts von  $0,5 \pm 1,2$  kg, 95% CI [-1.2, 0.2] für BL,  $0,9 \pm 1,7$  kg, 95% CI [-2.0, 0.2] für IB,  $0,3 \pm 1,0$  kg, 95% CI [-1.0, 0.3] für MB und  $0,5 \pm 1,0$  kg, 95% CI [-1.1, 0.2] für VB, sowie eine Zunahme des Körpergewichts von  $0,5 \pm 1,2$  kg, 95% CI [-0.3, 1.4] für HB beobachtet werden. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Pre- und Posttest mit  $t(11) = 1.48$ ,  $p = .166$ ,  $\hat{d} = -0.1$  für BL,  $t(11) = 1.84$ ,  $p = .094$ ,  $\hat{d} = -0.2$  für IB,  $t(10) = 1.17$ ,  $p = .267$ ,  $\hat{d} = 0.0$  für MB,  $t(10) = -1.49$ ,  $p = .167$ ,  $\hat{d} = 0.1$  für HB und  $t(10) = 1.46$ ,  $p = .176$ ,  $\hat{d} = -0.1$  für VB.

### 5.4.11 Wahrgenommene körperliche Verfassung

In Tabelle 32 sind die Ergebnisse der  $WKV_{Aktiviertheit}$ ,  $WKV_{Gesundheit}$  und  $WKV_{Trainiertheit}$  aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 32.** Ergebnisse der  $WKV_{Aktiviertheit}$ ,  $WKV_{Gesundheit}$  und  $WKV_{Trainiertheit}$  aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

	Aktiviertheit	Gesundheit	Trainiertheit
<b>Pretest</b>			
BL	4,0 ± 0,6	3,3 ± 0,7	3,9 ± 0,4
IB	3,9 ± 1,0	3,5 ± 0,9	3,5 ± 0,8
MB	3,8 ± 0,5	3,4 ± 0,7	3,6 ± 0,7
HB	3,9 ± 0,6	4,2 ± 0,6	3,3 ± 0,9
VB	4,1 ± 0,6	4,3 ± 0,7	3,6 ± 0,4
<b>Posttest</b>			
BL	4,3 ± 0,5 [ns]	3,6 ± 0,6 [ns]	4,4 ± 0,3 [***]
IB	4,1 ± 0,6 [ns]	3,8 ± 0,5 [ns]	4,2 ± 0,6 [**]
MB	4,0 ± 0,8 [ns]	3,8 ± 0,7 [ns]	4,1 ± 0,8 [ns]
HB	4,1 ± 0,6 [ns]	4,1 ± 0,7 [ns]	4,1 ± 0,3 [*]
VB	4,2 ± 0,4 [ns]	4,3 ± 0,5 [ns]	4,4 ± 0,3 [***]

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für alle Paardifferenzen keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung (vgl. Tabelle 33). Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe ( $< 1.96$ ) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

**Tabelle 33.** Prüfung auf Normalverteilung der Variablen  $WKV_{Aktiviertheit}$ ,  $WKV_{Gesundheit}$  und  $WKV_{Trainiertheit}$ .

Gruppen	$WKV_{Aktiviertheit}$	$WKV_{Gesundheit}$	$WKV_{Trainiertheit}$
BL	$D(12) = .636, p = .813$	$D(12) = .594, p = .872$	$D(12) = .686, p = .734$
IB	$D(12) = .661, p = .775$	$D(12) = .454, p = .986$	$D(12) = .646, p = .798$
MB	$D(11) = .551, p = .922$	$D(11) = .704, p = .705$	$D(11) = .482, p = .974$
HB	$D(11) = .783, p = .573$	$D(11) = .581, p = .888$	$D(11) = .712, p = .691$
VB	$D(11) = .567, p = .905$	$D(11) = .576, p = .894$	$D(11) = .646, p = .798$

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der  $WKV_{Aktiviertheit}$  von  $0,3 \pm 0,8$ , 95% CI [-0.3, 0.7] für BL,  $0,2 \pm 0,8$ , 95% CI [-0.3, 0.8] für IB,  $0,2 \pm 0,5$ , 95% CI [-0.1, 0.5] für MB,  $0,2 \pm 0,9$ , 95% CI [-0.4, 0.8] für HB und  $0,1 \pm 0,6$ , 95% CI [-0.3, 0.5] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen Pre- und Posttests mit  $t(11) = -1.03$ ,  $p = .323$ ,  $\hat{d} = 0.5$  für BL,  $t(11) = -1.05$ ,  $p = .318$ ,  $\hat{d} = 0.2$  für IB,  $t(10) = -1.24$ ,  $p = .242$ ,  $\hat{d} = 0.4$  für MB,  $t(10) = -.84$ ,  $p = .422$ ,  $\hat{d} = 0.3$  für HB und  $t(10) = -.47$ ,  $p = .648$ ,  $\hat{d} = 0.2$  für VB. Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der  $WKV_{Gesundheit}$  von  $0,3 \pm 0,7$ , 95% CI [-0.2, 0.7] für BL,  $0,3 \pm 0,9$ , 95% CI [-0.3, 0.9] für IB,  $0,4 \pm 1,1$ , 95% CI [-0.3, 1.2] für MB, sowie eine Abnahme von  $0,1 \pm 0,6$ , 95% CI [-0.4, 0.3] für HB und keine Veränderung für VB,  $0 \pm 0,8$ , 95% CI [-0.5, 0.6]. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Pre- und Posttests mit  $t(11) = -1.40$ ,  $p = .189$ ,  $\hat{d} = 0.4$  für BL,  $t(11) = -1.16$ ,  $p = .271$ ,  $\hat{d} = 0.3$  für IB,  $t(10) = -1.22$ ,  $p = .252$ ,  $\hat{d} = 0.6$  für MB,  $t(10) = .323$ ,  $p = .753$ ,  $\hat{d} = -0.2$  für HB und  $t(10) = -.21$ ,  $p = .836$ ,  $\hat{d} = 0.0$  für VB. Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der  $WKV_{Trainiertheit}$  von  $0,5 \pm 0,4$ , 95% CI [0.3, 0.7] für BL,  $0,7 \pm 0,7$ , 95% CI [0.2, 1.1] für IB,  $0,5 \pm 1,0$ , 95% CI [-0.2, 1.2] für MB,  $0,8 \pm 0,8$ , 95% CI [0.2, 1.4] für HB und  $0,8 \pm 0,4$ , 95% CI [0.5, 1.0] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für BL mit  $t(11) = -4.49$ ,  $p = .001$ ,  $\hat{d} = 1.3$ , IB mit  $t(11) = -3.12$ ,  $p = .007$ ,  $\hat{d} = 0.9$ , HB mit  $t(10) = -3.13$ ,  $p = .011$ ,  $\hat{d} = 0.9$  und VB mit  $t(10) = -6.91$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = 2.0$ . Keine signifikanten Unterschiede wurden für MB mit  $t(10) = -1.48$ ,  $p = .168$ ,  $\hat{d} = 0.7$  beobachtet.

### 5.4.12 Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit

In Tabelle 34 sind die Ergebnisse der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit aus dem Pre- und Posttest dargestellt.

**Tabelle 34.** Ergebnisse der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit aus dem Pre- und Posttest ( $\bar{x} \pm s$ ).

	Temperatur (°C)	Luftfeuchtigkeit (%)
Pretest		
BL	17,7 ± 0,4	62,9 ± 4,0
IB	15,2 ± 0,6	58,6 ± 3,6
MB	16,3 ± 0,5	69,4 ± 3,3
HB	14,0 ± 0,4	57,7 ± 7,1
VB	16,5 ± 0,6	64,4 ± 4,9
Posttest		
BL	16,6 ± 0,5 [***]	63,2 ± 4,4 [ns]
IB	15,1 ± 0,2 [ns]	60,4 ± 2,6 [ns]
MB	14,7 ± 0,7 [***]	66,0 ± 2,6 [ns]
HB	13,6 ± 0,3 [*]	59,5 ± 4,7 [ns]
VB	15,0 ± 0,5 [***]	63,4 ± 2,5 [ns]

Die Normalverteilungsprüfung ergab für alle Paardifferenzen keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung (vgl. Tabelle 35). Die z-Werte der Schiefe und Wölbung konnten ebenfalls auf eine hinreichend normalverteilte Stichprobe (< 1.96) hindeuten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen.

**Tabelle 35.** Prüfung auf Normalverteilung der Variablen Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

Trainingsgruppe	Temperatur	Luftfeuchtigkeit
BL	$D(12) = 1.09, p = .184$	$D(12) = .674, p = .754$
IB	$D(12) = .553, p = .920$	$D(12) = .789, p = .563$
MB	$D(11) = .681, p = .743$	$D(11) = 1.13, p = .155$
HB	$D(11) = .727, p = .666$	$D(11) = .564, p = .908$
VB	$D(11) = .455, p = .986$	$D(11) = .488, p = .971$

Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase für alle Stichproben eine Abnahme der Raumtemperatur von  $1,1 \pm 0,8$  °C, 95% CI [-1.6, -0.6] für BL,  $0,1 \pm 0,7$  °C, 95% CI [-0.5, 0.3] für IB,  $1,6 \pm 0,8$  °C, 95% CI [-2.2, -1.1] für MB,

0,4 ± 0,4 °C, 95% CI [-0.7, -0.1] für HB und 1,5 ± 0,9 °C, 95% CI [-2.1, -0.9] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede für BL mit  $t(11) = 4.52$ ,  $p = .001$ ,  $\hat{d} = -2.7$ , MB mit  $t(10) = 7.02$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = -3.2$ , HB mit  $t(10) = 2.91$ ,  $p = .016$ ,  $\hat{d} = -1.0$  und VB mit  $t(10) = 5.45$ ,  $p < .001$ ,  $\hat{d} = -2.5$ . Keine signifikanten Unterschiede ergab der t-Test für IB mit  $t(11) = .52$ ,  $p = .613$ ,  $\hat{d} = -0.2$ . Die deskriptive Auswertung ergab nach vierwöchiger Interventionsphase eine Zunahme der Luftfeuchtigkeit von 0,3 ± 5,9%, 95% CI [-3.4, 4.1] für BL, 1,8 ± 3,0%, 95% CI [-0.1, 3.7] für IB und 1,8 ± 11,3%, 95% CI [-5.8, 9.4] für HB, sowie eine Reduktion von 3,4 ± 5,7%, 95% CI [-7.2, 0.4] für MB und 1,0 ± 4,0%, 95% CI [-3.7, 1.7] für VB. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab keine signifikanten Unterschiede für BL mit  $t(11) = -.20$ ,  $p = .848$ ,  $\hat{d} = 0.1$ , IB mit  $t(11) = -2.13$ ,  $p = .056$ ,  $\hat{d} = 0.5$ , MB mit  $t(10) = 1.97$ ,  $p = .077$ ,  $\hat{d} = -1.0$ , HB mit  $t(10) = -.53$ ,  $p = .607$ ,  $\hat{d} = 0.3$  und VB mit  $t(10) = .84$ ,  $p = .424$ ,  $\hat{d} = -0.2$ .

## 5.5 Gruppenvergleiche

In Ergänzung an die Vorher-Nachher Vergleiche in Kapitel 5.4, erfolgt in diesem Kapitel die detaillierte Darstellung der Gruppenvergleiche. Zunächst wird überprüft, ob für die Einflussvariablen (a) Leistungsniveau im Bouldern, (b) Körpergewicht, (c) wahrgenommene körperliche Verfassung, (d) Raumtemperatur und (e) Luftfeuchtigkeit signifikante Unterschiede zwischen den fünf Trainingsgruppen beobachtet werden konnten. Darauf aufbauend wird überprüft, ob zwischen den fünf Stichproben Unterschiede in den Leistungstests zur Bestimmung der  $MAF_{\text{isoliert}}$ , der  $MAF_{\text{funktional}}$ , der KAS und der LOM festgestellt werden konnten.

### 5.5.1 Überprüfung der Einflussvariablen

In Tabelle 36 sind die Gruppenvergleiche der Variablen (a) Leistungsniveau, (b) Körpergewicht, (c) subjektive Befindlichkeit ( $WKV_{\text{Aktiviertheit}}$ ,  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  und  $WKV_{\text{Trainiertheit}}$ ) und (d) Umgebungsbedingungen (Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit) zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 36.** Ergebnisse der Einflussvariablen.

Einflussvariable	Gruppendifferenzen im	
	Pretest	Posttest
Leistungsniveau	$p = .173$ [ns]	/
Körpergewicht	$p = .861$ [ns]	$p = .573$ [ns]
$WKV_{\text{Aktiviertheit}}$	$p = .742$ [ns]	$p = .847$ [ns]
$WKV_{\text{Gesundheit}}$	$p = .014$ [*]	$p = .075$ [ns]
$WKV_{\text{Trainiertheit}}$	$p = .454$ [ns]	$p = .348$ [ns]
Temperatur	$p < .001$ [***]	$p < .001$ [***]
Luftfeuchtigkeit	$p < .001$ [***]	$p \leq .001$ [***]

### **5.5.1.1 Leistungsniveau**

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Ausgangswerte des Leistungsniveaus der Probanden eine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(56) = 1.921$ ,  $p = .001$ . Infolgedessen erfolgte der Mittelwertvergleich mit dem nicht-parametrischen Kruskal-Wallis-Test [57,73,77]. Dieser ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit  $H(4) = 6.38$ ,  $p = .173$ . Diesem Ergebnis zufolge konnten im Pretest zu Beginn des Untersuchungszeitraums keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf das Leistungsniveau zwischen den einzelnen Trainingsgruppen beobachtet werden.

### **5.5.1.2 Körpergewicht**

Für die Ausgangswerte des Körpergewichts ergab die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(57) = .859$ ,  $p = .451$  (z-Werte der Schiefe und Wölbung  $< 1.96$ ). Der Levene-Test kam zum Ergebnis, dass sich die Varianzen in den Trainingsgruppen nicht unterscheiden ( $p = .765$ ). Die einfaktorielle univariate Varianzanalyse (ANOVA) ergab für das Körpergewicht im Pretest zwischen den einzelnen Trainingsgruppen keine signifikanten Unterschiede mit  $F(4,52) = 0.323$ ,  $p = .861$ ,  $r = .2$ . Da nicht nur die Ausgangswerte, sondern auch eine Veränderung des Körpergewichts nach vierwöchigem Trainingszeitraum die Ergebnisse der Leistungstests beeinflusst haben könnte, wurde zudem überprüft, ob sich die Paardifferenzen des Körpergewichts der fünf Stichproben auch im Posttest signifikant unterscheiden. Die Normalverteilungsprüfung ergab keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(57) = .769$ ,  $p = .595$  (z-Werte der Schiefe und Wölbung  $< 1.96$ ). Die Varianzhomogenität konnte mithilfe des Levene-Tests bestätigt werden ( $p = .562$ ). Die ANOVA ergab für das Körpergewicht im Posttest

keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit  $F(4,52) = 0.734$ ,  $p = .573$ ,  $r = .2$ . Diesen Ergebnissen zufolge kann der Einfluss des Körpergewichts auf die Ergebnisse der Leistungstests im Pre- und Posttest ausgeschlossen werden.

### **5.5.1.3 Wahrgenommene körperliche Verfassung**

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab im Pretest für die  $WKV_{Aktiviertheit}$  mit  $D(57) = .991$ ,  $p = .279$  und  $WKV_{Gesundheit}$  mit  $D(57) = 1.055$ ,  $p = .216$  keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung. Demgegenüber ergab die Überprüfung der Schiefe und Wölbung z-Werte über 1.96, sodass die Normalverteilung nicht angenommen werden konnte. Für die Ausgangswerte der  $WKV_{Trainiertheit}$  wurde ebenfalls eine signifikante Abweichung zur Normalverteilung beobachtet mit  $D(57) = 1.445$ ,  $p = .031$  (z-Werte der Schiefe und Wölbung  $> 1.96$ ). Der Kruskal-Wallis-Test ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen für die  $WKV_{Aktiviertheit}$  mit  $H(4) = 1.96$ ,  $p = .742$  und  $WKV_{Trainiertheit}$  mit  $H(4) = 3.66$ ,  $p = .454$ ], aber für die  $WKV_{Gesundheit}$  mit  $H(4) = 12.52$ ,  $p = .014$ . Weiterhin wurde überprüft, ob signifikante Unterschiede für die  $WKV_{Aktiviertheit}$ ,  $WKV_{Gesundheit}$  und  $WKV_{Trainiertheit}$  der fünf Stichproben im Posttest vorlagen. Die Normalverteilungsprüfung ergab keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung für die  $WKV_{Aktiviertheit}$  mit  $D(57) = .838$ ,  $p = .484$  und  $WKV_{Gesundheit}$  mit  $D(57) = 1.19$ ,  $p = .118$  (z-Werte  $< 1.96$ ), aber für die  $WKV_{Trainiertheit}$  mit  $D(57) = 1.49$ ,  $p = .022$  (z-Werte  $> 1.96$ ). Aufgrund des Levene-Tests konnte für die  $WKV_{Aktiviertheit}$  und  $WKV_{Gesundheit}$  angenommen werden, dass sich die Varianzen in den Trainingsgruppen nicht unterscheiden ( $p = .416$  und  $p = .423$ ). Die ANOVA ergab im Posttest für die  $WKV_{Aktiviertheit}$  mit  $F(4,52) = 0.34$ ,  $p = .847$ ,  $r = .2$  und  $WKV_{Gesundheit}$  mit  $F(4,52) = 2.26$ ,  $p = .075$ ,  $r = 0.4$  keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen. Der Kruskal-Wallis-Test ergab für die  $WKV_{Trainiertheit}$  mit  $H(4) = 4.46$ ,  $p = .348$  ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den

einzelnen Trainingsgruppen. Zusammenfassend kann ein Einfluss der Variable  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  auf die Untersuchungsergebnisse der Leistungstests im Pretest aufgrund von signifikanten Unterschieden zwischen den einzelnen Stichproben nicht ausgeschlossen werden. Tatsächlich ergab die deskriptive Statistik (vgl. Tabelle 32) im Pretest für HB ( $4,2 \pm 0,6$ ) und VB ( $4,3 \pm 0,7$ ) deutlich höhere Werte für die  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  als für BL ( $3,3 \pm 0,7$ ), IB ( $3,5 \pm 0,9$ ) und MB ( $3,4 \pm 0,7$ ). Demgegenüber kann ein Einfluss der Variablen  $WKV_{\text{Aktiviertheit}}$  und  $WKV_{\text{Trainiertheit}}$  auf die Ergebnisse der Gruppenvergleiche ausgeschlossen werden.

### **5.5.1.4 Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit**

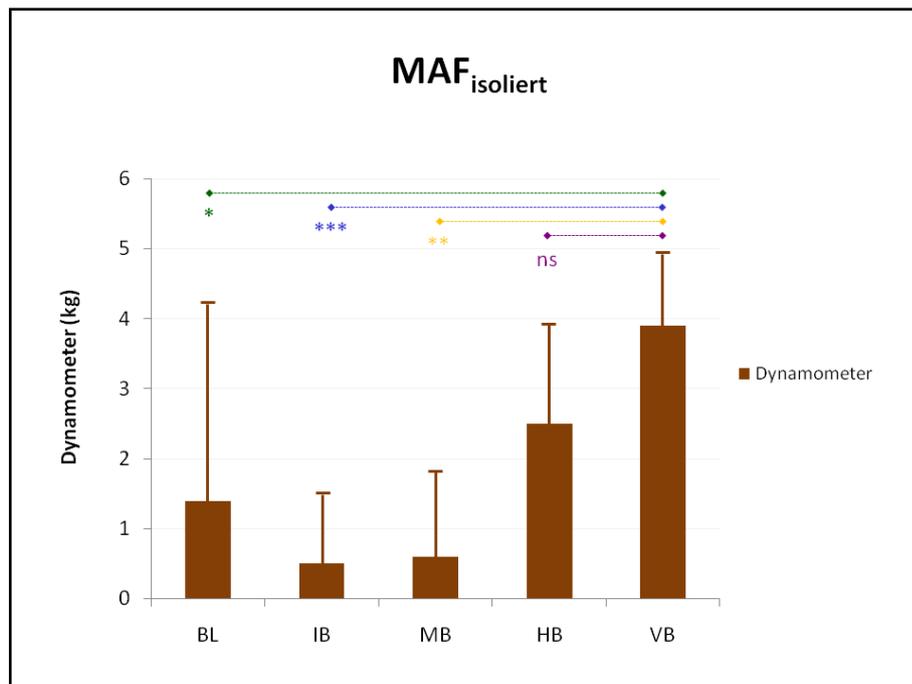
Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab für die Ausgangswerte der Raumtemperatur mit  $D(57) = .781$ ,  $p = .575$  und der Luftfeuchtigkeit mit  $D(57) = .871$ ,  $p = .434$  keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung mit z-Werten größer als 1.96. Für die Raumtemperatur im Pretest konnte aufgrund des Levene-Tests angenommen werden, dass sich die Varianzen in den Trainingsgruppen nicht unterscheiden ( $p = .496$ ). Im Gegensatz dazu musste die Varianzhomogenität infolge des Levene-Tests für die Luftfeuchtigkeit im Pretest verworfen werden ( $p = .008$ ). Die ANOVA ergab für die Ausgangswerte der Temperatur signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit  $F(4,52) = 81.89$ ,  $p < .001$ ,  $r = .9$ . Welch's  $F$  und Brown-Forsythe  $F$  ergaben für die Luftfeuchtigkeit ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen ( $p < .001$ ). Weiterhin wurde überprüft, ob im Posttest signifikante Unterschiede zwischen den fünf Stichproben für die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit beobachtet werden konnten. Die Normalverteilungsprüfung ergab keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung für die Raumtemperatur mit  $D(57) = .786$ ,  $p = .567$  und die Luftfeuchtigkeit mit  $D(57) = 1.14$ ,  $p = .150$  (z-Werte größer als 1.96). Infolge des Levene-Tests musste die Varianzhomogenität für die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit im Posttest verworfen werden ( $p = .018$ ).

und  $p = .015$ ). Für beide Variablen ergaben der Brown-Forsythe  $F$  und der Welch's  $F$  signifikante Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen ( $p \leq .001$ ). Zur Erklärung, weshalb die Temperatur trotz signifikanter Unterschiede nicht als Kovariate berücksichtigt wurde, wird auf das Kapitel 6 Diskussion verwiesen.

### 5.5.2 Gruppenvergleiche der $MAF_{\text{isoliert}}$

Die Überprüfung signifikanter Gruppenunterschiede der isolierten Maximalkraft der Fingermuskulatur ( $MAF_{\text{isoliert}}$ ) erfolgte anhand der absoluten Dynamometerwerte. Als Kovariate wurde die  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  einbezogen, da ein Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Dynamometerergebnisse ausgeschlossen werden kann. Die einfaktorielle ANOVA ergab keine signifikanten Unterschiede für die Ausgangswerte der Dynamometerwerte mit  $F(4,52) = .624$ ,  $p = .647$ ,  $r = .2$ . Die deskriptive Auswertung ergab die höchste Zunahme der Dynamometerwerte nach vierwöchiger Intervention für VB ( $\nearrow 7,3\%$ ), gefolgt von HB ( $\nearrow 5,0\%$ ), BL ( $\nearrow 2,6\%$ ), MB ( $\nearrow 1,2\%$ ) und IB ( $\nearrow 1,0\%$ ). Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(57) = 1.15$ ,  $p = .144$  ( $z$ -Werte der Schiefe und Wölbung  $< 1.96$ ). Die Homogenität der Regressionsgerade konnte mit  $p = .119$  angenommen werden. Infolge des Levene-Tests konnte ebenfalls angenommen werden, dass sich die Varianzen in den Trainingsgruppen nicht unterscheiden ( $p = .172$ ). Die Kovarianzanalyse (ANCOVA) zur Ermittlung signifikanter Unterschiede der absoluten Dynamometerwerte zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit der Kovariate  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit  $F(4,51) = 5.77$ ,  $p = .001$ ,  $r = .3$ . Die Hypothese, dass alle Gruppenmittelwerte in der Grundgesamtheit identisch sind, kann somit wiederlegt werden. Ein signifikanter Einfluss der Kovariate  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  wurde mit  $F(1,51) = 1.26$ ,  $p = .267$  nicht

beobachtet. Der Post-Hoc-Test nach Bonferroni ergab nach vierwöchiger Trainingsphase eine signifikant höhere Steigerung der Dynamometerwerte für VB im Vergleich zu BL ( $p = .05$ ), IB ( $p = .001$ ) und MB ( $p = .002$ ). Zwischen HB und VB wurden keine signifikanten ( $p = .656$ ) Unterschiede beobachtet (vgl. Abbildung 48).



**Abbildung 48.** Steigerung der Dynamometerwerte nach vierwöchiger Trainingsphase.

### 5.5.3 Gruppenvergleiche der $MAF_{\text{funktional}}$

Die Überprüfung signifikanter Gruppenunterschiede der funktionalen Maximalkraft der Fingermuskulatur ( $MAF_{\text{funktional}}$ ) erfolgte anhand des  $MAF_{\text{funktional}}$ -Scores, der sich aus dem Summenwert der Variablen (a) Dead Hang<sub>Leiste</sub>, (b) Dead Hang<sub>Sloper</sub>, (c) Dead Hang<sub>Zange</sub>, (d) Bent-Arm<sub>7,5mm</sub> und (e) Bent-Arm<sub>10mm</sub> zusammensetzte. Die ANOVA ergab im Pretest beim Dead Hang<sub>Leiste</sub> mit  $F(4,56) = 1.04$ ,  $p = .393$ , Dead

Hang<sub>Sloper</sub> mit  $F(4,56) = .411$ ,  $p = .800$ , Dead Hang<sub>Zange</sub> mit  $F(4,56) = .454$ ,  $p = .769$ , BAT<sub>7,5mm</sub> mit  $F(4,56) = .795$ ,  $p = .534$  und BAT<sub>10mm</sub> mit  $F(4,56) = 1.60$ ,  $p = .189$  keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen. Die deskriptive Statistik ergab die höchste Zunahme des MAF<sub>Funktional</sub>-Scores für VB mit  $50,4 \pm 8,0$  s, gefolgt von HB mit  $45,1 \pm 12,2$  s, MB mit  $27,5 \pm 8,8$  s, BL mit  $16,9 \pm 6,8$  s und IB mit  $15,4 \pm 9,9$  s. Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab keine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(57) = .842$ ,  $p = .477$  (z-Werte der Schiefe und Wölbung  $< 1.96$ ). Die Homogenität der Regressionsgerade mithilfe der ANCOVA mit angepasstem Modell konnte mit  $p = .574$  angenommen werden. Infolge des Levene-Tests konnte angenommen werden, dass sich die Varianzen in den Trainingsgruppen nicht unterscheiden ( $p = .206$ ). Die Kovarianzanalyse (ANCOVA) zur Ermittlung signifikanter Unterschiede der absoluten Dynamometerwerte zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit den Kovariaten WKV<sub>Gesundheit</sub>, Luftfeuchtigkeit<sub>Pretest</sub> und Luftfeuchtigkeit<sub>Posttest</sub> ergab für den MAF<sub>funktional</sub>-Score zwischen den einzelnen Trainingsgruppen einen signifikanten Unterschied mit  $F(4,49) = 29.70$ ,  $p < .001$ ,  $r = .8$ . Die Hypothese, dass alle Gruppenmittelwerte in der Grundgesamtheit identisch sind, kann somit widerlegt werden. Ein signifikanter Einfluss der Kovariate WKV<sub>Gesundheit</sub> mit  $F(1,49) = .127$ ,  $p = .723$  und Luftfeuchtigkeit<sub>Pretest</sub> mit  $F(1,49) = .332$ ,  $p = .567$  konnte nicht festgestellt werden. Demgegenüber konnte ein signifikanter Einfluss der Kovariate Luftfeuchtigkeit<sub>Posttest</sub> mit  $F(1,49) = 9.05$ ,  $p = .004$  beobachtet werden, sodass eine Beeinflussung der Gruppenvergleiche im Posttest durch die Luftfeuchtigkeit nicht ausgeschlossen werden kann. Der Post-Hoc-Test nach Bonferroni ergab nach vierwöchigem Training eine signifikant höhere Steigerung des MAF<sub>funktional</sub>-Score für VB im Vergleich zu BL ( $p < .001$ ), IB ( $p < .001$ ) und MB ( $p < .001$ ). Zwischen HB und VB wurden keine signifikanten Unterschiede beobachtet ( $p = .254$ ). Weiterhin konnte für HB im Vergleich zu BL ( $p < .001$ ) und IB ( $p < .001$ ) eine signifikant höhere Zunahme des MAF<sub>funktional</sub>-Score beobachtet werden. Überdies konnte für MB im Vergleich zu BL ( $p = .014$ ) und IB ( $p = .006$ ) eine signifikant höhere Zunahme des MAF<sub>funktional</sub>-Score festgestellt werden (vgl. Abbildung 49).

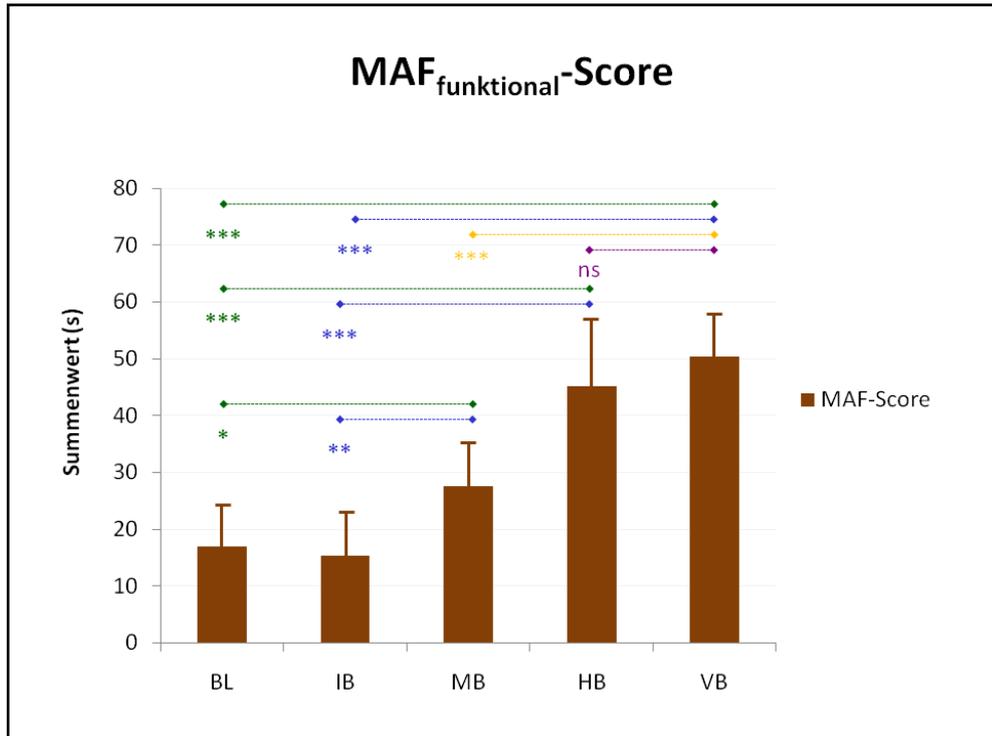


Abbildung 49. Steigerung des MAF<sub>funktional</sub>-Scores nach vierwöchiger Trainingsphase.

#### 5.5.4 Gruppenvergleiche der KAS

Die Überprüfung signifikanter Gruppenunterschiede der Kraftfähigkeit der Armbeuger und der Schultergürtelmuskulatur (KAS) erfolgte anhand der Variablen BAT<sub>15mm</sub>, BAT<sub>20mm</sub> und BAT<sub>30mm</sub>, sowie der Anzahl an Klimmzügen und dem Tabata-Protokoll. Die ANOVA ergab im Pretest beim BAT<sub>15mm</sub> mit  $F(4,56) = .261$ ,  $p = .901$ , BAT<sub>20mm</sub> mit  $F(4,56) = .096$ ,  $p = .983$  und BAT<sub>30mm</sub> mit  $F(4,56) = .180$ ,  $p = .947$ , sowie für die Anzahl der Klimmzüge mit  $F(4,56) = .480$ ,  $p = .750$  und die Wiederholungszahl beim Tabata-Protokoll  $F(4,56) = 1.88$ ,  $p = .128$  keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen. Die deskriptive Auswertung ergab für den BAT<sub>15mm</sub> die höchste Zunahme der Haltezeiten für VB (↗69,6%), gefolgt von HB (↗51,2%), MB (↗28,2%), IB (↗26,7%)

und BL ( $\nearrow 14\%$ ). Für den  $BAT_{20mm}$  ergab die deskriptive Auswertung die höchste Zunahme der Haltezeiten für VB ( $\nearrow 42,3\%$ ), gefolgt von HB ( $\nearrow 37,6\%$ ), BL ( $\nearrow 17,5\%$ ), MB ( $\nearrow 16,3\%$ ) und IB ( $\nearrow 12,6\%$ ). Für den  $BAT_{30mm}$  konnte die höchste Zunahme der Haltezeiten für VB ( $\nearrow 33,5\%$ ) beobachtet werden, gefolgt von HB ( $\nearrow 22,3\%$ ), BL ( $\nearrow 20,4\%$ ), IB ( $\nearrow 17\%$ ) und MB ( $\nearrow 10,8\%$ ). Die deskriptive Statistik ergab für die Anzahl an Klimmzügen die höchste Zunahme für VB ( $\nearrow 38,4\%$ ), gefolgt HB ( $\nearrow 21,3\%$ ), IB ( $\nearrow 7,1\%$ ), BL ( $\nearrow 4,8\%$ ) und MB ( $\nearrow 3,8\%$ ). Und schließlich konnte die höchste Zunahme der Wiederholungszahl beim Tabata-Protokoll für VB ( $\nearrow 36,8\%$ ) festgestellt werden, gefolgt von HB ( $\nearrow 32,4\%$ ), BL ( $\nearrow 14\%$ ) und IB ( $\nearrow 10,2\%$ ), während für MB eine Abnahme der Wiederholungszahl von 7,5% beobachtet werden konnte.

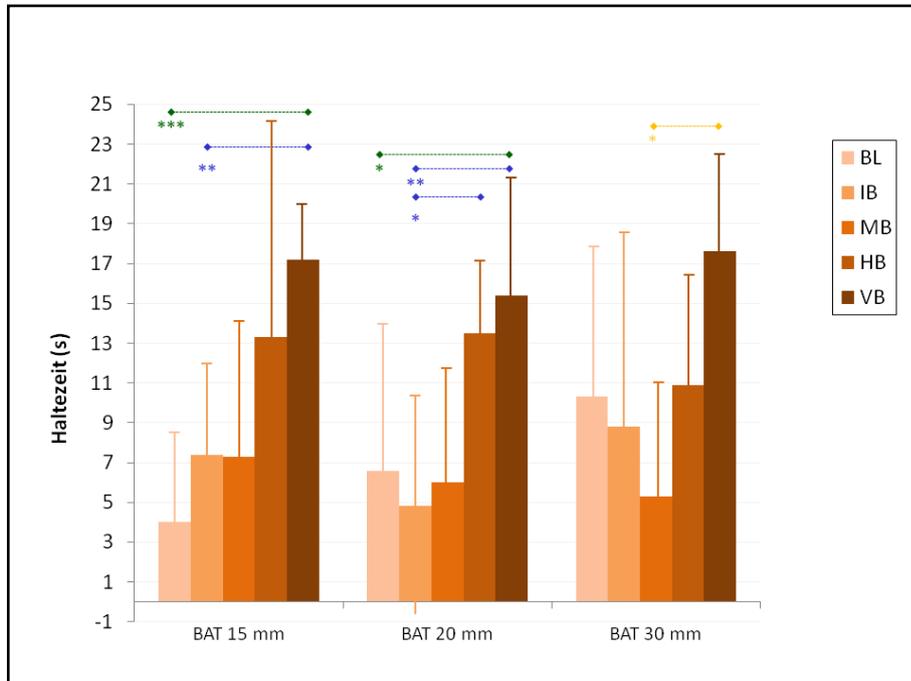
Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung für die Variablen  $BAT_{15mm}$  mit  $D(57) = .720$ ,  $p = .679$ ,  $BAT_{20mm}$  mit  $D(57) = .623$ ,  $p = .833$  und  $BAT_{30mm}$   $D(57) = .580$ ,  $p = .889$  (alle z-Werte der Schiefe und Wölbung  $< 1.96$ ). Der Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab eine signifikante Abweichung zur Normalverteilung für die Variablen Klimmzüge mit  $D(57) = 1.55$ ,  $p = .016$  und Tabata-Protokoll mit  $D(57) = 1.56$ ,  $p = .015$ . Allerdings hatten die z-Werte der Schiefe und Wölbung für beide Variablen einen Wert kleiner als 1.96, was auf hinreichend normalverteilte Stichproben hindeutet [57,86]. Nach Field [57] sollten bei kleinen Stichproben primär die z-Werte der Schiefe und Wölbung berücksichtigt werden, da diese bei geringer Stichprobenhöhe aussagekräftiger sind als der K-S-Test. Demzufolge wurde für die Variablen Klimmzüge und Tabata-Protokoll die Normalverteilung angenommen. Obwohl Box's-Test mit  $p = .002$  signifikant war, betrug  $p$  einen Wert größer als .001, sodass der Mittelwertvergleich anhand der MANCOVA beibehalten werden konnte [57]. Die Homogenität der Regressionsgerade mit angepasstem Modell konnte für die abhängige Variablen  $BAT_{15mm}$  ( $p = .075$ ),  $BAT_{20mm}$  ( $p = .963$ ),  $BAT_{30mm}$  ( $p = .599$ ), Klimmzüge ( $p = .412$ ) und Tabata-Protokoll ( $p = .910$ ) angenommen werden. Infolge des Levene-Tests konnte angenommen werden, dass sich die Varianzen in den Trainingsgruppen nicht unterscheiden ( $p > .05$ ).

Pillai's Trace der multivariaten Varianzanalyse (MANCOVA) mit den Kovariaten  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  aus dem Pretest,  $\text{Luftfeuchtigkeit}_{\text{Pretest}}$  und  $\text{Luftfeuchtigkeit}_{\text{Posttest}}$  ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit  $V = 1.096$ ,  $F(20,192) = 3.624$ ,  $p < .001$ ,  $r = .5$ . Die Hypothese, dass alle Gruppenmittelwerte in der Grundgesamtheit identisch sind, kann somit widerlegt werden. Die separaten Varianzanalysen ergaben signifikante Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen für  $BAT_{15\text{mm}}$  mit  $F(4,49) = 7.082$ ,  $p < .001$ ,  $r = .6$ , für  $BAT_{20\text{mm}}$  mit  $F(4,49) = 5.159$ ,  $p = .002$ ,  $r = .5$ , für  $BAT_{30\text{mm}}$  mit  $F(4,49) = 3.178$ ,  $p = .021$ ,  $r = .4$ , für die Anzahl an Klimmzügen mit  $F(4,49) = 16.679$ ,  $p < .001$ ,  $r = .8$  und für das Tabata-Protokoll mit  $F(4,49) = 4.920$ ,  $p = .002$ ,  $r = .5$ . Die Ergebnisse der Post-Hoc-Tests nach Bonferroni sind in Tabelle 37 zusammengefasst. Ein signifikanter Einfluss der Kovariate  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  [ $F(1,49) = .846$ ,  $p = .362$ ,  $F(1,49) = .001$ ,  $p = .980$ ,  $F(1,49) = .290$ ,  $p = .593$ ,  $F(1,49) = 2.071$ ,  $p = .156$  und  $F(1,49) = .109$ ,  $p = .743$ ],  $\text{Luftfeuchtigkeit}_{\text{Pretest}}$  [ $F(1,49) = 2.151$ ,  $p = .149$ ,  $F(1,49) = .667$ ,  $p = .418$ ,  $F(1,49) = .00$ ,  $p = .989$ ,  $F(1,49) = .482$ ,  $p = .491$  und  $F(1,49) = .822$ ,  $p = .369$ ] und der  $\text{Luftfeuchtigkeit}_{\text{Posttest}}$  [ $F(1,49) = 2.752$ ,  $p = .104$ ,  $F(1,49) = .916$ ,  $p = .343$ ,  $F(1,49) = .224$ ,  $p = .638$ ,  $F(1,49) = 1.850$ ,  $p = .180$  und  $F(1,49) = 3.341$ ,  $p = .074$ ] konnte nicht beobachtet werden.

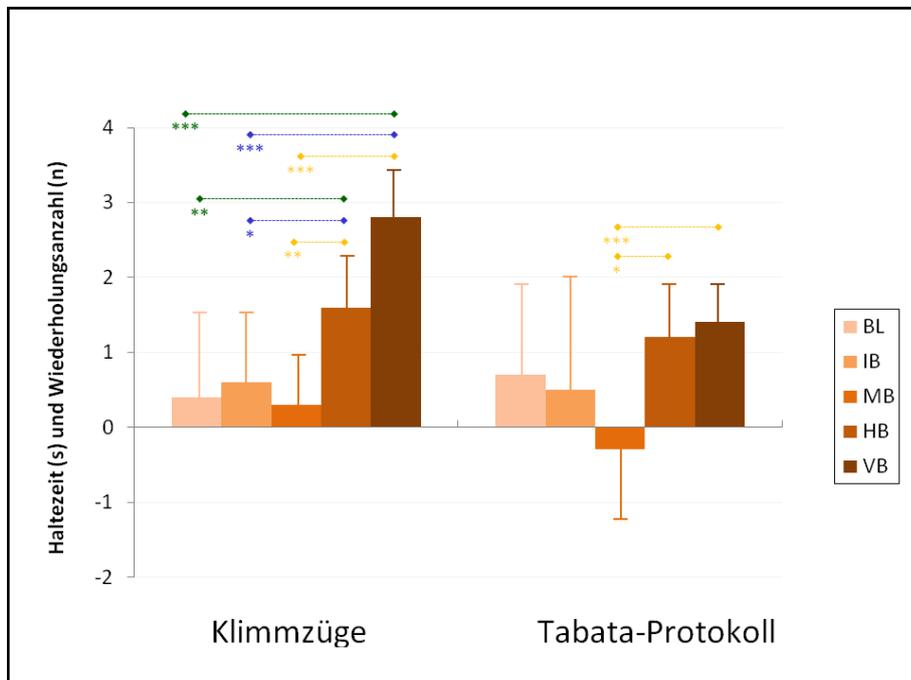
**Tabelle 37.** Ergebnisse des Post-Hoc-Tests nach Bonferroni für die Variablen BAT<sub>15mm</sub>, BAT<sub>20mm</sub>, BAT<sub>30mm</sub>, Klimmzüge und Tabata-Protokoll.

Variable	Trainingsgruppe		Vergleichsgruppen	Signifikanz
BAT <sub>15mm</sub>	VB	>	BL	$p < .001$ [***]
			IB	$p = .002$ [**]
BAT <sub>20mm</sub>	VB	>	BL	$p = .027$ [*]
			IB	$p = .005$ [**]
			HB	$p = .031$ [*]
BAT <sub>30mm</sub>	VB	>	MB	$p = .026$ [*]
Klimmzüge	VB	>	BL	$p < .001$ [***]
			IB	$p < .001$ [***]
			MB	$p < .001$ [***]
			BL	$p = .007$ [**]
			IB	$p = .029$ [*]
			MB	$p = .008$ [**]
Tabata	VB	>	MB	$p = .001$ [***]
	HB		MB	$p = .011$ [*]

In den Abbildungen 50-51 sind die Ergebnisse der KAS nach vierwöchiger Trainingsphase grafisch dargestellt.



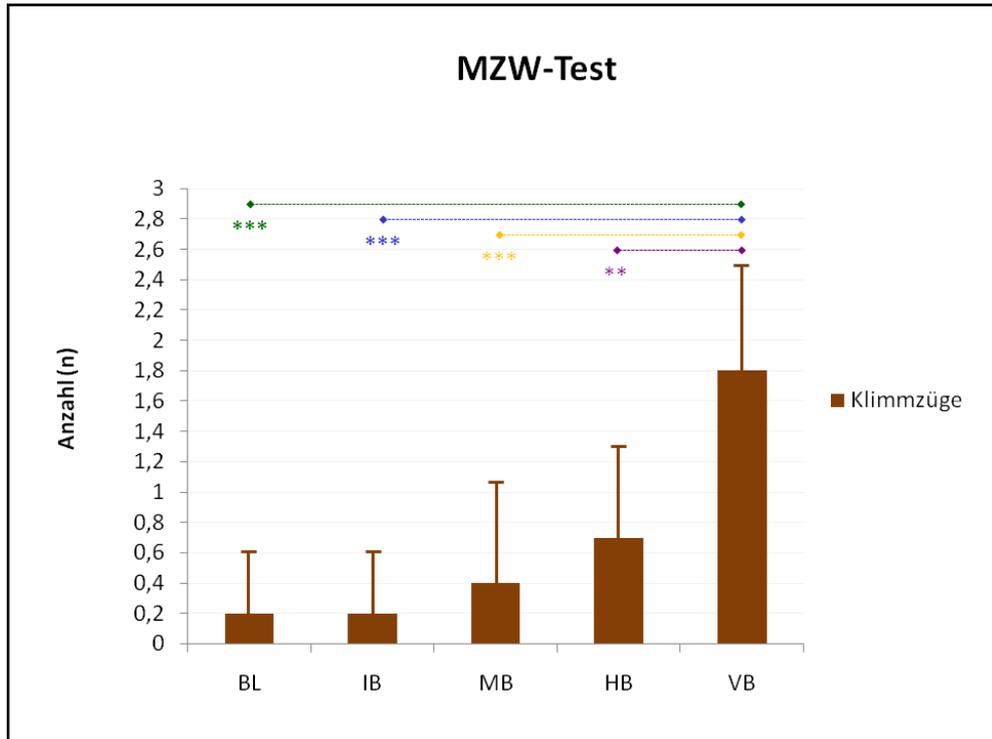
**Abbildung 50.** Steigerung des BAT<sub>15mm</sub>, BAT<sub>20mm</sub> und BAT<sub>30mm</sub> nach vierwöchiger Trainingsphase.



**Abbildung 51.** Steigerung der Klimmzüge und des Tabata-Protokolls nach vierwöchiger Trainingsphase.

### 5.5.5 Gruppenvergleiche beim MZW-Test

Beim MZW-Test wurde im Pretest die maximale Zusatzlast für einen Klimmzug an einer 30 mm tiefen Campusleiste erfasst und im Posttest nach vierwöchiger Trainingsdauer die Anzahl der Klimmzüge mit der Zusatzlast aus dem Pretest überprüft. Der MZW-Test zur Bestimmung der KAS wurde für die Gruppenvergleiche isoliert durchgeführt, da beim MZW-Test neben der KAS auch die MAF leistungsbestimmend ist, sodass nicht mit absoluter Sicherheit bestimmt werden kann, ob eine Zunahme der Wiederholungszahl auf eine Verbesserung der MAF oder auf eine Steigerung der KAS zurückgeführt werden kann. Die deskriptive Auswertung ergab die höchste Steigerung der Anzahl an Klimmzügen im MZW-Test für VB ( $\nearrow 180\%$ ), gefolgt von HB ( $\nearrow 70\%$ ), MB ( $\nearrow 40\%$ ), BL ( $\nearrow 20\%$ ) und IB ( $\nearrow 20\%$ ). Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab eine signifikante Abweichung zur Normalverteilung mit  $D(57) = 2.30$ ,  $p < .001$  (z-Werte der Schiefe und Wölbung  $> 1.96$ ). Der Kruskal-Wallis-Test ergab signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit  $H(4) = 25.36$ ,  $p < .001$ . Die Hypothese, dass alle Gruppenmittelwerte in der Grundgesamtheit identisch sind, kann somit widerlegt werden. Der Mann-Whitney-U-Test ergab nach vierwöchiger Trainingsphase eine signifikant höhere Zunahme der Anzahl an Klimmzügen für VB im Vergleich zu BL und IB mit  $U = 6.00$ ,  $z = -3.887$ ,  $p < .001$ ,  $r = .8$ , MB mit  $U = 12.50$ ,  $z = -3.292$ ,  $p = .001$ ,  $r = .7$  und HB mit  $U = 18.50$ ,  $z = -2.939$ ,  $p = .004$ ,  $r = .5$ . In Abbildung 52 ist die Steigerung der Anzahl an Klimmzügen beim MZW-Test nach vierwöchiger Trainingsphase grafisch dargestellt.



**Abbildung 52.** Steigerung der Klimmzüge beim MZW-Test nach vierwöchiger Trainingsdauer.

### 5.5.6 Gruppenvergleiche der LOM

Die Überprüfung signifikanter Gruppenunterschiede der lokalen Muskelausdauer (LOM) erfolgte anhand der Variablen IHT und KIA. Weiterhin wurde überprüft, ob signifikante Unterschiede für die Variablen Laktat (LAC) und Herzfrequenz (HF) beobachtet werden konnten. Die ANOVA ergab im Pretest für den IHT mit  $F(4,56) = 1.64$ ,  $p = .179$ , die KIA mit  $F(4,56) = .561$ ,  $p = .692$  und die HF mit  $F(4,56) = .988$ ,  $p = .422$  keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen. Demgegenüber konnten im Pretest für die Variable LAC mit  $F(4,56) = 5.511$ ,  $p = .001$  signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen beobachtet werden. Hier ergab der Post-Hoc-Test nach Bonferroni signifikant höhere Laktatwerte für IB im Vergleich zu BL ( $p = .012$ ) und MB ( $p = .001$ ).

Die deskriptive Auswertung ergab die höchste Steigerung der Anzahl an Wiederholungen beim IHT für VB ( $3,0 \pm 1,7$ ), gefolgt von IB ( $2,4 \pm 2,1$ ) und HB ( $2,3 \pm 2,0$ ). Eine Abnahme der Anzahl an Wiederholungen wurde für BL ( $-0,1 \pm 0,9$ ) und MB ( $-0,1 \pm 1,3$ ) beobachtet. Für die Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung (KIA) ergab die deskriptive Statistik die höchste Zunahme nach vierwöchiger Intervention für IB ( $36,2 \pm 14,1$  s), gefolgt von VB ( $26,3 \pm 12,6$  s), HB ( $8,7 \pm 22,5$  s), BL ( $6,1 \pm 19,3$  s) und MB ( $2,1 \pm 18,3$  s). Weiterhin ergab die deskriptive Auswertung eine Abnahme der Laktatwerte nach vierwöchiger Interventionsphase von  $0,1 \pm 0,8$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup> ( $\searrow 4,2\%$ ) für BL,  $0,7 \pm 1,0$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup> ( $\searrow 20,6\%$ ) für IB,  $0,1 \pm 0,7$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup> ( $\searrow 4,5\%$ ) für MB,  $0,7 \pm 0,6$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup> ( $\searrow 23,3\%$ ) für HB und  $0,7 \pm 0,5$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup> ( $\searrow 26,9\%$ ) für VB. Und schließlich konnte für die Herzfrequenz nach vierwöchiger Untersuchungsdauer die höchste Abnahme für VB mit  $7 \pm 7$  min<sup>-1</sup> ( $\searrow 5,0\%$ ) beobachtet werden, gefolgt von BL mit  $6 \pm 11$  min<sup>-1</sup> ( $\searrow 4,1\%$ ), HB mit  $6 \pm 12$  min<sup>-1</sup> ( $\searrow 4,0\%$ ) und IB mit  $4 \pm 14$  min<sup>-1</sup> ( $\searrow 3,0\%$ ), während für MB eine Zunahme von  $3 \pm 11$  min<sup>-1</sup> ( $\nearrow 2,1\%$ ) beobachtet wurde.

Die Normalverteilungsprüfung mit Hilfe des One-Sample Kolmogorov-Smirnov-Tests ergab keine signifikanten Abweichungen zur Normalverteilung für die Variablen IHT mit  $D(57) = .1.136$ ,  $p = .136$ , KIA mit  $D(57) = .519$ ,  $p = .950$ , LAC mit  $D(57) = .555$ ,  $p = .918$  und HF mit  $D(57) = .789$ ,  $p = .562$  (alle z-Werte der Schiefe und Wölbung  $< 1.96$ ). Box's-Test war mit  $p = .177$  nicht signifikant, sodass die Homogenität der Kovarianz-Matrizen angenommen werden konnte. Die Homogenität der Regressionsgerade mit angepasstem Modell konnte für die abhängige Variablen IHT ( $p = .170$ ), KIA ( $p = .621$ ), LAC ( $p = .867$ ) und HF ( $p = .630$ ) ebenfalls angenommen werden. Infolge des Levene-Tests konnte angenommen werden, dass sich die Varianzen in den Trainingsgruppen nicht unterscheiden ( $p > .05$ ).

Pillai's Trace der multivariaten Varianzanalyse (MANCOVA) mit den Kovariaten  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  aus dem Pretest,  $\text{Luftfeuchtigkeit}_{\text{Pretest}}$  und  $\text{Luftfeuchtigkeit}_{\text{Posttest}}$  ergab signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen mit  $V = .851$ ,  $F(16,196) = 3.310$ ,  $p < .001$ ,  $r = .5$ . Die Hypothese, dass alle Gruppenmittelwerte in

der Grundgesamtheit identisch sind, kann somit wiederlegt werden. Ein signifikanter Einfluss der Kovariate  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  konnte für IHT mit  $F(1,49) = .011$ ,  $p = .916$ , KIA mit  $F(1,49) = .038$ ,  $p = .847$ , LAC mit  $F(1,49) = .641$ ,  $p = .427$  und HF mit  $F(1,49) = .043$ ,  $p = .836$  nicht beobachtet werden. Demgegenüber konnte ein signifikanter Einfluss der Kovariate  $Luftfeuchtigkeit_{\text{Pretest}}$  für LAC [ $F(1,49) = 5.061$ ,  $p = .029$ ], sowie ein signifikanter Einfluss der Kovariate  $Luftfeuchtigkeit_{\text{Posttest}}$  beim IHT mit  $F(1,49) = 8.691$ ,  $p = .005$  festgestellt werden. Die separaten Varianzanalysen ergaben signifikante Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen für die Variablen IHT mit  $F(4,49) = 5.609$ ,  $p = .001$ ,  $r = .6$ , KIA mit  $F(4,49) = 6.67$ ,  $p < .001$ ,  $r = .6$ , und LAC mit  $F(4,49) = 3.518$ ,  $p = .013$ ,  $r = .5$ , aber nicht für HF mit  $F(4,49) = .789$ ,  $p = .538$ ,  $r = .2$ . Die Ergebnisse der Post-Hoc-Tests nach Bonferroni sind in Tabelle 38 dargestellt.

**Tabelle 38.** Ergebnisse des Post-Hoc-Tests nach Bonferroni für die Variablen IHT, KIA und LAC.

Variable	Trainingsgruppe		Vergleichsgruppen	Signifikanz
KIA	IB	>	BL	$p = .005$ [**]
			MB	$p = .025$ [*]
			HB	$p = .008$ [**]
IHT	VB	>	BL	$p < .001$ [***]
LAC	IB	<	MB	$p = .019$ [*]
				HB

In den Abbildungen 53-54 ist die Steigerung der KIA und der IHT nach vierwöchiger Trainingsdauer für alle fünf Trainingsgruppen grafisch dargestellt.

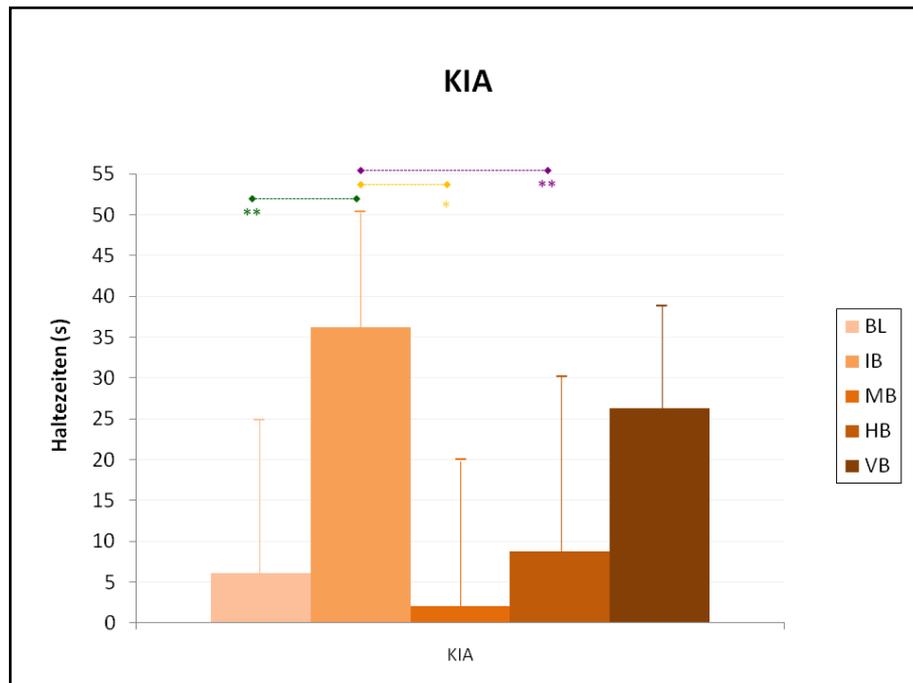


Abbildung 53. Steigerung der KIA nach vierwöchiger Trainingsphase.

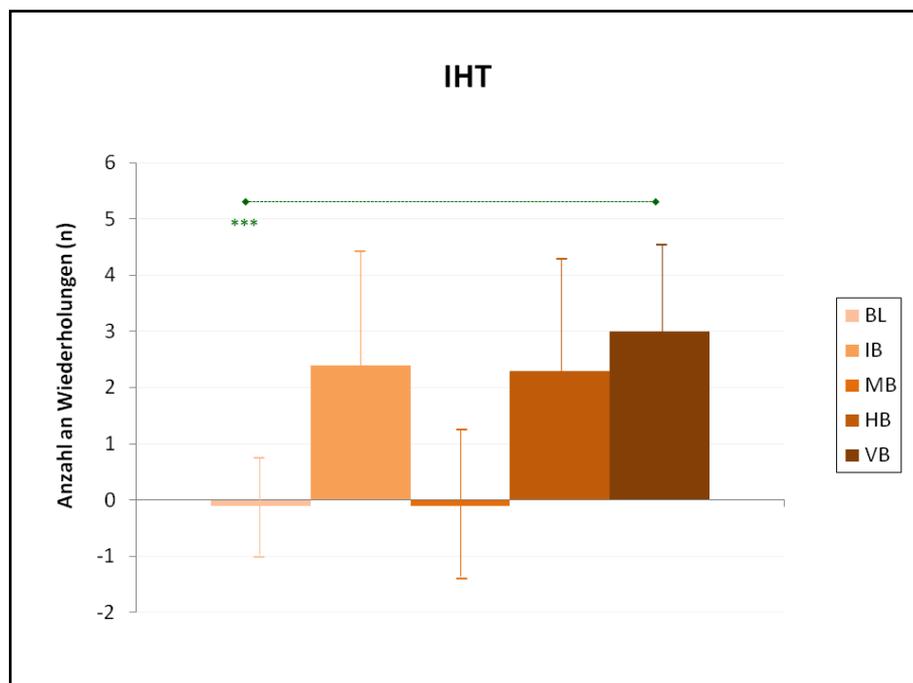


Abbildung 54. Veränderung der IHT nach vierwöchiger Trainingsphase.

In den Abbildungen 55-56 sind die Veränderungen der Laktat- und Herzfrequenzwerte nach vierwöchiger Trainingsdauer für alle fünf Trainingsgruppen grafisch dargestellt.

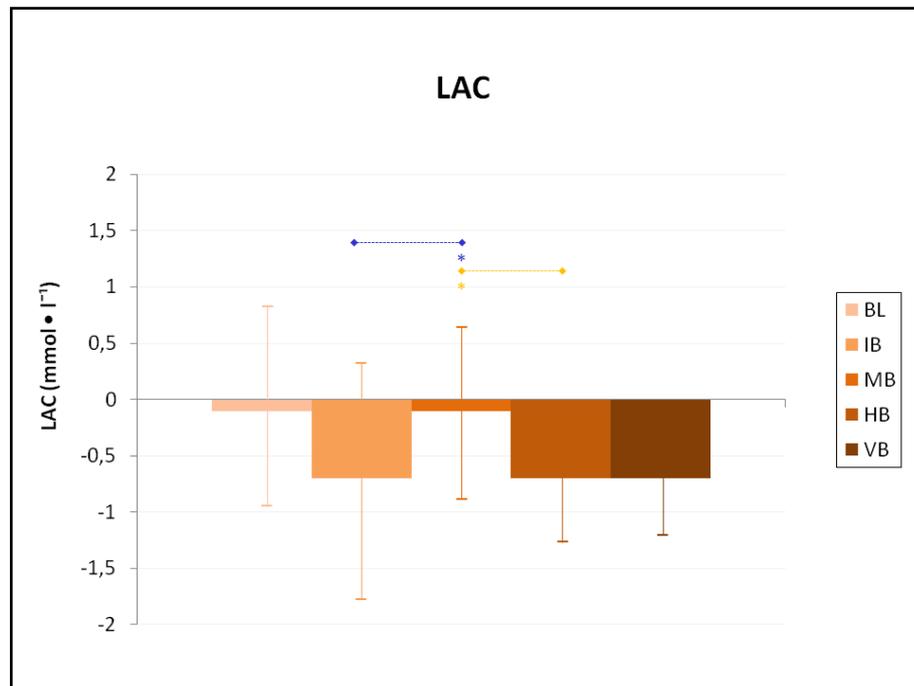


Abbildung 55. Veränderung der Laktatwerte nach vierwöchiger Trainingsphase.

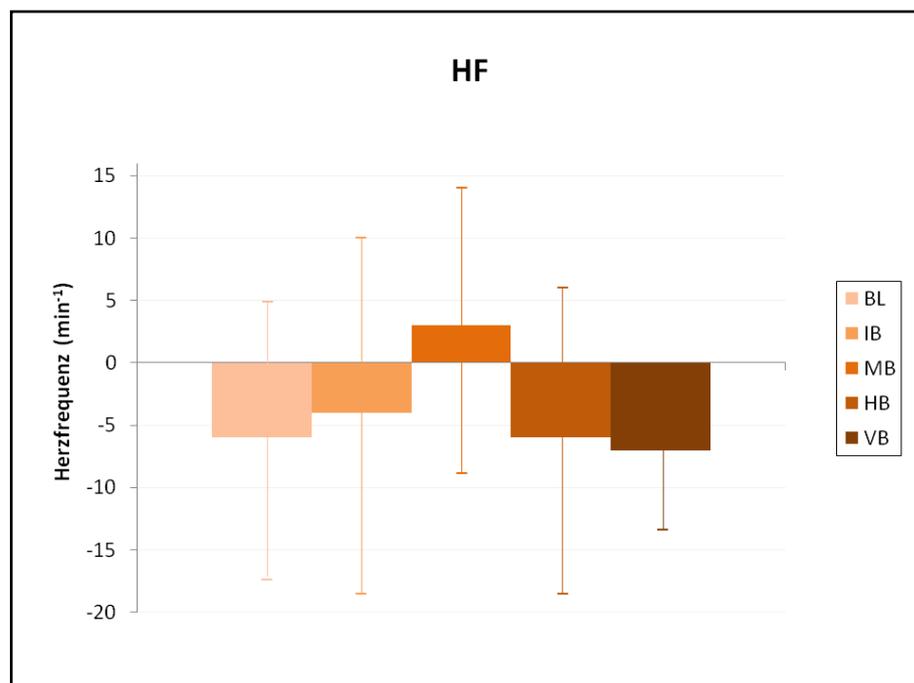


Abbildung 56. Veränderung der Herzfrequenz nach vierwöchiger Trainingsphase.

## 6 Diskussion

In dieser Arbeit wurde die Wirkungsweise fünf boulderspezifischer Trainingsmethoden auf die Maximalkraft der Fingermuskulatur (MAF), die Kraftfähigkeit der Armbeuger und der Schultergürtelmuskulatur (KAS) und die lokale Muskelausdauer (LOM) überprüft. Zu den untersuchten Trainingsmethoden gehören

- das Bouldern (BL),
- das Intervall Bouldern (IB),
- das Training am Moonboard (MB),
- das Training am Hangboard (HB) und
- das Training am Vibrationsboard (VB).

Nach bestem Wissen des Autors ist diese Arbeit die erste empirische Studie, in der fünf Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern untersucht wurden. Anhand des derzeitigen Forschungsstandes konnte gezeigt werden, dass die Wirkungsweise der Mehrzahl der sportartspezifischen Trainingsmethoden und eingesetzten Trainingsgeräte bislang wissenschaftlich nicht untersucht wurde. Dabei ist die adäquate Trainingsplanung und -gestaltung im Hinblick auf die individuelle Leistungsmaximierung mit steigender Leistungsfokussierung und wachsender Leistungsdichte eine *conditio sine qua non*, sodass die vorliegende Arbeit für den Bouldersport eine hohe, sportwissenschaftliche Relevanz darstellt.

Im Vorfeld der Ergebnisdiskussion (6.3 Ergebnisdiskussion) erfolgt im ersten Teil dieses Kapitels (6.1 Überprüfung der Hypothesen) eine Zusammenfassung im Hinblick auf die Verifikation oder Falsifikation der Hypothesen. Im Anschluss dieses Kapitels wird die angewandte Methodik diskutiert (6.2 Methodendiskussion) und die Untersuchungsergebnisse aus Kapitel 5 in der Ergebnisdiskussion (6.3 Ergebnisdiskussion) diskutiert und hinterfragt. Weiterhin wird versucht, die Untersuchungsergebnisse in einen wissenschaftlichen Zusammenhang zu stellen,

wobei aufgrund kaum vorhandener Studien im Bereich der Trainingsmethodik ein Vergleich mit bisherigen Forschungsarbeiten nur bedingt erfolgen kann.

## 6.1 Überprüfung der Hypothesen

In diesem Kapitel erfolgt die Zusammenfassung der Überprüfung der Hypothesen. Für die detaillierte Darstellung aller Hypothesen wird auf die Tabellen 48-57 im Anhang verwiesen.

Als wesentlicher Befund dieser Arbeit gilt die signifikante Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$ , der  $MAF_{\text{funktional}}$ , der KAS und der LOM für VB nach vierwöchiger Trainingsdauer. Diesen Ergebnissen zufolge kann die Nullhypothese  $H_{05}$  vollständig verworfen und die Alternativhypothese  $H_{A5}$  angenommen werden. Überdies konnte nach vierwöchiger Trainingsphase für VB im Vergleich zu BL, IB und MB eine signifikant höhere Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  und des  $MAF_{\text{funktional}}$ -Scores beobachtet werden. Demgegenüber konnte für die KAS bei VB im Vergleich zu BL, IB und MB zwar eine signifikant höhere Steigerung beim Klimmzug- und MZW-Test diagnostiziert werden, aber nicht für die Haltezeiten bei den BAT-Hängetests und die Wiederholungszahl beim Tabata-Protokoll. Und auch für die LOM wurde ausschließlich beim IHT für VB im Vergleich zu BL eine signifikant höhere Steigerung beobachtet. Diesen Befunden zufolge kann die Nullhypothese  $H_{06}$  ausschließlich für die  $MAF_{\text{isoliert}}$  und den  $MAF_{\text{funktional}}$ -Score widerlegt werden. Weiterhin kann die Hypothese, dass VB im Vergleich zu HB zu einer signifikant höheren Steigerung der  $MAF$ , der KAS und der LOM führt ( $H_{A8}$ ), nicht angenommen werden.

Auch für HB konnte nach vierwöchiger Untersuchungsdauer eine signifikante Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$ , der  $MAF_{\text{funktional}}$  und der KAS beobachtet werden. In Bezug

auf die LOM konnte beim IHT ebenfalls eine signifikante Steigerung diagnostiziert werden, aber nicht für die KIA. Infolgedessen kann die Nullhypothese  $H_{04}$  für die  $MAF_{\text{isoliert}}$ , die  $MAF_{\text{funktional}}$  und die KAS widerlegt werden, aber nicht für die LOM. Überdies kann die Hypothese, dass HB im Vergleich zu BL, IB und MB zu einer signifikant höheren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM führt ( $H_{A7}$ ) nicht angenommen werden.

Für BL, IB und MB konnte nach vierwöchiger Trainingsdauer keine signifikante Zunahme der  $MAF_{\text{isoliert}}$  beobachtet werden. Demgegenüber wurde eine signifikante Steigerung der  $MAF_{\text{funktional}}$  für BL, für IB mit Ausnahme vom  $BAT_{10\text{mm}}$  und für MB festgestellt. Bezüglich der KAS konnte nach vierwöchiger Untersuchungsdauer für BL, IB und MB bei den Hängetests  $BAT_{15\text{mm}}$ ,  $BAT_{20\text{mm}}$  und  $BAT_{30\text{mm}}$  eine signifikante Steigerung der Haltezeiten beobachtet werden. Allerdings wurden beim Klimmzug-Test, beim MZW-Test und beim Tabata-Protokoll für BL, IB und MB keine signifikanten Steigerungen beobachtet. Für die LOM konnte nach vierwöchiger Trainingsphase bei IB eine signifikante Steigerung diagnostiziert werden, aber nicht bei BL und MB. Summa summarum kann anhand dieser Befunde festgehalten werden, dass die Nullhypothese  $H_{01}$  ausschließlich für die  $MAF_{\text{funktional}}$ , die Nullhypothese  $H_{02}$  ausschließlich für die LOM und die Nullhypothese  $H_{03}$  ausschließlich für die  $MAF_{\text{funktional}}$  widerlegt werden kann.

Überdies wurde für IB im Vergleich zu BL und MB nach vierwöchiger Untersuchungsphase eine signifikant höhere Steigerung der KIA festgestellt, während beim IHT keine signifikanten Unterschiede beobachtet wurden und die Nullhypothese  $H_{09}$  folglich nicht widerlegt werden kann. Und schließlich wurde für MB nach vierwöchiger Studiendauer im Vergleich zu BL eine signifikant höhere Zunahme des  $MAF_{\text{funktional}}$ -Score beobachtet, während für die  $MAF_{\text{isoliert}}$  und die KAS keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden. Die Nullhypothese  $H_{010}$  kann demzufolge nur für den  $MAF_{\text{funktional}}$ -Score widerlegt werden kann.

## 6.2 Methodendiskussion

Der zentrale Stellenwert der Methodendiskussion in der vorliegenden Arbeit wird dadurch begründet, dass die Methode als Kennzeichen des wissenschaftlichen Arbeitens gilt, sodass die Gültigkeit aller Schlussfolgerungen aus den Untersuchungsergebnissen von der methodischen Vorgehensweise abhängt [146]. Nachfolgend werden (a) die Gesamtstichprobe und die Gruppenbildung, (b) die Auswahl der Testverfahren und (c) die Auswahl der Trainingsinhalte diskutiert.

Zur Gewährleistung einer für das Wettkampfbouldern repräsentativen Gesamtstichprobe, wurden für die Teilnahme an dieser Studie (a) ein Leistungsniveau von 7a Fb oder höher, (b) mindestens drei Jahre Bouldererfahrung, (c) mindestens ein Jahr Wettkampferfahrung und (d) mindestens ein Jahr Erfahrung im boulderspezifischen Krafttraining vorausgesetzt. Mithilfe dieser Ausschlusskriterien konnte eine Gesamtstichprobe mit einer durchschnittlichen Klettererfahrung von  $6,6 \pm 2,9$  Jahre, einem Leistungsniveau von durchschnittlich 7b Fb und einem S-Score von  $10,2 \pm 0,9$  gewährleistet werden. Zusammenfassend kann somit angenommen werden, dass in der vorliegenden Studie ausschließlich leistungsorientierte Boulderer mit regelmäßiger Teilnahme an Boulderwettkämpfen zugelassen wurden.

In summa nahmen drei Frauen an der Studie teil, deren Merkmalsausprägungen für die Untersuchungsergebnisse nicht berücksichtigt wurden. Diese Entscheidung kann ausschließlich dadurch begründet werden, dass Frauen und Männer grundsätzlich etwa zu gleichen Leistungen fähig sind, beide Geschlechter aber unterschiedliche körperliche Voraussetzungen mitbringen, wodurch geschlechtsspezifische Auswirkungen auf die Testergebnisse zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM zu erwarten sind [10,122,123]. Philippe et al. [129] untersuchten diesbezüglich die MAF und die LOM bei männlichen und weiblichen Elitesportkletterern und konnten bei den männlichen Probanden signifikant höhere absolute ( $p < .001$ ) und relative ( $p = .002$ ) Maximalkraftwerte der Fingermuskulatur beobachten als bei den

weiblichen Probanden. Auch Balás et al. [10] beobachteten im Sportklettern beim Dead Hang-Test und Bent-Arm Hängetest für weibliche Probanden niedrigere Haltezeiten im Vergleich zu männlichen Probanden mit gleichem Leistungsniveau. In der Videoanalyse beim Boulder Welt-Cup 2013 in München (vgl. 3.4 Forschungsstand der LOM) wurden ergänzend zu den männlichen Athleten ebenfalls die zu diesem Zeitpunkt nach dem IFSC-Ranking 30 weltweit besten weiblichen Athleten untersucht und anhand der Befunde konnte festgestellt werden, dass

- die Frauen an einem Boulder durchschnittlich mehr Versuche durchführten ( $5,1 \pm 1,9$ ) als die Männer ( $4,3 \pm 2,2$ ),
- die Versuchsdauer pro Boulder bei den Frauen ( $15,2 \pm 8,8$  s) niedriger war als im Vergleich zu den Männern ( $23,8 \pm 15,2$  s),
- die Dauer bei erfolgreicher Top-Begehung bei den Frauen niedriger war ( $33,7 \pm 13,9$  s) als bei den Männern ( $41,0 \pm 14,5$  s),
- die Gesamtkletterzeit pro Boulder bei den Frauen niedriger war ( $63,9 \pm 19,9$  s) als bei den Männern ( $79,6 \pm 38,5$  s) und dass
- die Pausendauer zwischen den einzelnen Versuchen bei den Frauen ( $33,4 \pm 15,5$  s) länger war als bei den Männern ( $27,2 \pm 13,7$ ).

Inwiefern diese Befunde der Pilotstudie im Wettkampfbouldern Anwendung finden können, bleibt ungeklärt, da die Kletterzeiten u.a. auch von der Länge und Komplexität der Boulder und den Wandeigenschaften bestimmt werden [35]. Zusammenfassend kann aber festgehalten werden, dass das Einbeziehen der weiblichen Probanden aufgrund der geringen Anzahl die homogene Gruppenbildung erschwert und dadurch auch die Aussagekraft der Querschnittsvergleiche zwischen den fünf Trainingsgruppen deutlich eingeschränkt hätte [131].

Da bei einer Teilmenge der Grundgesamtheit Aussagen über die untersuchte Menge hinaus erfolgen und die Gültigkeit dieser Aussagen somit vom Auswahlverfahren

der Probanden bestimmt wird [146], wurde bei der Gruppenbildung einen besonderen Wert auf homogene Stichproben gelegt. Den Befunden der Untersuchungsergebnisse zufolge, konnten im Pretest zu Beginn des vierwöchigen Untersuchungszeitraums keine signifikanten ( $p = .173$ ) Unterschiede in Bezug auf das Leistungsniveau zwischen den einzelnen Trainingsgruppen beobachtet werden (vgl. Tabelle 6). Diesen Ergebnissen zufolge kann davon ausgegangen werden, dass für alle fünf Trainingsgruppen ein vergleichbares Leistungsniveau im Bouldern gewährleistet werden konnte. Da Kletterrouten und Boulderprobleme einer subjektiven Bewertung unterliegen [10,152] und die Kletterleistungsfähigkeit eine harmonische Abstimmung von physischen, technischen, taktischen und mentalen Fähigkeiten voraussetzt [3,27,63,65,82,111,114,116,123,124,152,165], sodass sich Kletterer mit vergleichbarem Leistungsniveau oftmals durch individuelle Stärken und Schwächen differenzieren [23], kann davon ausgegangen werden, dass zwischen dem Leistungsniveau und den Testergebnissen zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM nicht per se ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang besteht [100]. Infolgedessen wurde in Ergänzung an die übergeordnete Boulderleistungsfähigkeit überprüft, ob im Pretest zwischen den fünf Stichproben signifikante Unterschiede der MAF, der KAS und der LOM beobachtet werden konnten. Für die absoluten Dynamometerwerte zur Bestimmung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  ergaben die Untersuchungsergebnisse im Pretest keine signifikanten ( $p = .624$ ) Unterschiede zwischen den fünf Stichproben. Weiterhin konnten im Pretest zwischen den einzelnen Stichproben auch keine signifikanten Unterschiede für die  $MAF_{\text{funktional}}$  beobachtet werden ( $p = .393$  für  $Dead\ Hang_{\text{Leiste}}$ ,  $p = .800$  für  $Dead\ Hang_{\text{Sloper}}$ ,  $p = .769$  für  $Dead\ Hang_{\text{Zange}}$ ,  $p = .534$  für  $BAT_{7,5\text{mm}}$  und  $p = .189$  für  $BAT_{10\text{mm}}$ ). Überdies ergaben die Untersuchungsergebnisse im Pretest ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Stichproben in Bezug auf die KAS mit  $p = .901$  für  $BAT_{15\text{mm}}$ ,  $p = .983$  für  $BAT_{20\text{mm}}$ ,  $p = .947$  für  $BAT_{30\text{mm}}$ ,  $p = .750$  für die Anzahl an Klimmzügen und  $p = .128$  für die Wiederholungszahl beim Tabata-Protokoll. Und schließlich konnten im Pretest auch für die LOM keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Stichproben beobachtet werden mit  $p = .179$  für die Wiederholungszahl beim IHT und  $p = .692$  für die KIA. Da für die Haltezeiten bei

Hängetests auch das individuelle Körpergewicht leistungsbestimmend ist, wurde auch für das Körpergewicht überprüft, ob im Pretest signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Stichproben beobachtet werden konnten. Die Untersuchungsergebnisse ergaben aber auch hier keine signifikanten ( $p = .861$ ) Unterschiede. Diesen Ergebnissen zufolge kann davon ausgegangen werden, dass die Gruppenvergleiche im Hinblick auf die Überprüfung der Trainingswirksamkeit der fünf Trainingsmethoden in der vorliegenden Studie an homogenen Stichproben durchgeführt wurden, sodass unterschiedliche Ausgangswerte der einzelnen Stichproben nicht als Ursache für die Befunde der MAF, der KAS und der LOM herangezogen werden können.

Da neben der Stichprobenqualität auch die Stichprobengröße für die Gültigkeit inferenzstatistischer Untersuchungsergebnisse maßgebend ist [48,77,86,146], wurde durch die Auswahl der Testverfahren versucht, eine maximale Textzugänglichkeit zu ermöglichen. Durch die Datenerhebung vor Ort in der Boulderhalle konnten zeitintensive Anreisen zwischen den Testverfahren und den Trainingseinheiten unterbunden werden. Überdies kann die Untersuchung zu Gunsten der Reproduzierbarkeit prinzipiell in jeder beliebigen Boulderhalle durchgeführt werden. Weiterhin wurde versucht, die Leistungstests bestmöglich an die Testverfahren aus bisherigen Studien anzupassen, um eine Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten. Auch wenn die Feldforschung i.d.R. den Nachteil hat, dass Störeffekte relativ schwer zu minimieren sind, was zu Einbußen der internen Validität führen kann [146], konnte durch die Auswahl der Testverfahren der Erhalt des natürlichen Handlungsfeldes beibehalten werden, wodurch i.d.R. eine höhere externe Validität gewährleistet wird [78,146].

Um Störfaktoren zu minimieren und eine hohe interne Validität zu gewährleisten, die dann gegeben ist, wenn das Treatment für die Variation der abhängigen Variablen verantwortlich ist und Veränderungen der Messwerte nicht oder nur geringfügig von einem oder mehreren Störfaktoren beeinflusst werden [146], wurde versucht, eine Konstanzhaltung der Einflussvariablen (a) körperliche Befindlichkeit,

(b) Raumtemperatur und (c) Luftfeuchtigkeit zu gewährleisten. In Bezug auf die körperliche Befindlichkeit (vgl. 5.5.1.3 Wahrgenommene körperliche Verfassung) wurde im Pretest für die  $WKV_{\text{Gesundheit}}$  signifikante ( $p = .014$ ) Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen festgestellt. Die höchsten Werte wurden dabei für VB ( $4,3 \pm 0,7$ ) und HB ( $4,2 \pm 0,6$ ) beobachtet, während für die Trainingsgruppen BL ( $3,3 \pm 0,7$ ), IB ( $3,5 \pm 0,9$ ) und MB ( $3,4 \pm 0,7$ ) niedrigere Befunde diagnostiziert wurden (vgl. Tabelle 32). Ein Einfluss dieser Variable auf die Untersuchungsergebnisse kann demzufolge nicht ausgeschlossen werden. Weiterhin konnten nach vierwöchiger Intervention im Posttest signifikant höhere Befunde der  $WKV_{\text{Trainiertheit}}$  für BL (+12,8%,  $p = .001$ ), IB (+20%,  $p = .007$ ), HB (+24,2%,  $p = .011$ ) und VB (+22,2%,  $p < .001$ ) beobachtet werden. Für MB wurde eine nicht-signifikante Steigerung von 13,9% mit  $p = .168$  festgestellt. Infolgedessen fühlten sich die Probanden, unabhängig von den Untersuchungsergebnissen der Leistungstests, nach vierwöchiger Trainingsintervention im Posttest körperlich trainierter als im Pretest. Es ist folglich anzunehmen, dass höhere WKV-Werte die individuelle Motivation beeinflusst und somit einen wesentlichen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse ausgeübt haben könnten.

Überdies ergaben die Untersuchungsergebnisse im Pre- und Posttest sowohl für die Raumtemperatur als auch für die Luftfeuchtigkeit signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen (vgl. 5.5.1.4 Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit). Veränderungen der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit können die Ergebnisse bei den Hängetests und die Leistungsfähigkeit im Bouldern und Klettern maßgebend beeinflussen [6,23,110]. Bislang aber liegen keine sportartspezifischen Studien vor, in denen die Haltezeiten und Kletterzeiten bei unterschiedlicher Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit erforscht wurden, sodass ungeklärt bleiben muss, in welchem Ausmaß die gemessenen Unterschiede die Untersuchungsergebnisse beeinflusst haben könnten. Trotz signifikanter Gruppenunterschiede in Pre- und Posttest wurde die Raumtemperatur in der vorliegenden Studie nicht als Kovariate für die Gruppenvergleiche zur Untersuchung signifikanter Unterschiede der MAF, der KAS und der LOM berücksichtigt. Dies kann

dadurch begründet werden, dass anhand der deskriptiven Statistik für die Raumtemperatur im Pre- und Posttest lediglich geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Stichproben beobachtet wurden (vgl. Tabelle 34). Tatsächlich betrug die durchschnittliche Raumtemperatur im Pretest für HB 14,0 °C, für IB 15,2 °C, für MB 16,3 °C, für VB 16,5 °C und für BL 17,7 °C. Ähnliche Befunde wurden im Posttest diagnostiziert mit 13,6 °C für HB, 14,7 °C für MB, 15,0 °C für VB, 15,1 °C für IB und 16,6 °C für BL. Da die Spannweite aller Merkmalsausprägungen im Pre- und Posttest lediglich 4,7°C und 4,3 °C betrug, ist ein Einfluss der Raumtemperatur auf die Untersuchungsergebnisse tendenziell als unwahrscheinlich anzusehen. Diese Annahme ist ebenfalls für die Vorher-Nachher Vergleiche gültig, da eine durchschnittliche Abnahme der Raumtemperatur von 1,1 °C für BL, 0,1 °C für IB, 1,6 °C für MB, 0,4 °C für HB und 1,5 °C für VB trotz signifikanter Befunde als Störfaktor unberücksichtigt bleiben kann. In Bezug auf die Luftfeuchtigkeit wurden im Pretest durchschnittliche Werte von 57,7% für HB, 58,6% für IB, 62,9% für BL, 64,9% für VB und für 69,4% für MB beobachtet. Für MB konnte im Pretest eine deutlich höhere Luftfeuchtigkeit diagnostiziert werden als für HB (+12%). Auch im Posttest konnte für MB eine höhere Luftfeuchtigkeit (+7%) beobachtet werden als für HB (vgl. Tabelle 34). Weiterhin betrug die Spannweite aller Merkmalsausprägungen im Pre- und Posttest 27% bzw. 19%, sodass ein Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Untersuchungsergebnisse nicht ausgeschlossen werden konnte, weshalb die Luftfeuchtigkeit als Kovariate berücksichtigt wurde.

In der vorliegenden Studie erfolgte keine randomisierte Testdurchführung der Leistungstests zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM. Inwiefern hierdurch die Testergebnisse gegen Ende der Datenerhebung aufgrund der zunehmenden Ermüdung der Probanden beeinflusst wurden, bleibt ungeklärt. Allerdings wäre eine randomisierte Testdurchführung aus methodischer Sicht schwer umsetzbar gewesen (ein Testleiter auf 57 Probanden) und hätte ein erhöhtes Verletzungsrisiko für die Probanden zufolge gehabt, welche die Tests zur Bestimmung der MAF erst am Ende der Datenerhebung durchgeführt hätten. Eine Reduzierung des Testumfangs wurde abgelehnt, da mehrere, zeitgleich durchgeführte Tests zur

Messungen der gleichen Dimension die Aussagekraft der Testbefunde deutlich erhöht. Die randomisierte Aufteilung der Leistungstests auf zwei Tage wurde im Hinblick auf Einbüßen der Validität aufgrund der *day-to-day* Variabilität ebenfalls abgelehnt [129]. Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass durch die Konstanthaltung der Testverfahren eine standardisierte Testimplementierung für alle Probanden gewährleistet wurde, obgleich nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Vorher-Nachher-Ergebnisse der Testverfahren durch die zunehmende Ermüdung der Probanden beeinflusst wurden.

Überdies kann eine nicht willentliche Beeinflussung der Versuchsprobanden durch den Einfluss des Verhaltens des Versuchsleiters aufgrund bestimmter Erwartungen in Bezug auf die Ergebnisse (Prinzip der Hypothesenbestätigung) ebenfalls nicht ausgeschlossen werden [146]. Hier könnte ein unbewusster Informationsaustausch zwischen Versuchsleiter und Probanden stattgefunden haben, sodass Vorerwartungen vermittelt und Hypothesen möglicherweise schneller angenommen wurden (Rosenthal-Effekt) [146]. Inwiefern Probanden gemäß den Vorerwartungen des Versuchsleiters handelten und so durch den „*good subject effect*“ die passenden Daten zur Annahme der Alternativhypothese erbrachten [146], bleibt ungeklärt. Auch zwischenzeitliche Geschehnisse, also Ereignisse zwischen Pre- und Posttest, könnten als zusätzlichen Stimulus fungiert haben und demnach die abhängige Variable beeinflusst haben [146]. Diesbezüglich können intrapersonale Reifungsprozesse der Probanden, etwa bedingt durch verzögerte Trainingseffekte aus der Trainingsperiodisierung vor der Untersuchung, nicht vollständig ausgeschlossen werden [146]. Überdies wurde für die Testverfahren im Hinblick auf valide Testergebnisse die individuelle Ausbelastung vorausgesetzt, sodass Veränderungen der Motivationslage mit Einfluss auf die Merkmalskonstanz nicht ausgeschlossen werden können. Infolgedessen kann die individuelle Motivation als wesentlicher Einflussfaktor auf die Untersuchungsergebnisse angesehen werden [37,82,110]. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass trotz Bestreben nach einer standardisierten Testimplementierung und dem Versuch, identische Rahmenbedingungen für alle Stichproben zu gewährleisten, der Einfluss

unterschiedlicher Störfaktoren auf die Untersuchungsergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann.

In Anlehnung an bisherige Studien aus dem Klettersport, erfolgte die Dynamometermessung in der vorliegenden Studie an der dominanten Hand [116,129], welche im Vorfeld der Datenerhebung per Interview ermittelt wurde. Obwohl Werle et al. [170] bei Nicht-Kletterern signifikant höhere Dynamometerwerte für die dominante Hand im Vergleich zu der nicht-dominanten Hand diagnostizierten, wurde die Einschränkung auf die dominante Hand dadurch begründet, dass Bourne et al. (23), Grant et al. (67) und Schweizer und Furrer (150) bei Sportkletterern keine signifikanten Unterschiede zwischen der dominanten und der nicht-dominanten Hand beobachteten. Diese Befunde können möglicherweise dadurch begründet werden, dass mit steigender Kletterleistungsfähigkeit die Differenz der MAF zwischen der dominanten und der nicht-dominanten Hand zunehmend geringer wird [41].

Die Ruhephase von 48 Stunden vor jedem Pre- und Posttest, in der keine sportlichen Aktivitäten erfolgen durften, erfolgte in Anlehnung an bisherige Publikationen aus dem Klettersport [16,20,25,35,47,82,147]. Überdies wird in der Trainingspraxis nach intensiver Trainingseinheit am Hangboard eine Erholungsphase von 48 Stunden empfohlen [2]. Neumann [122] empfiehlt, in Abhängigkeit des Leistungsniveaus, beim Muskelaufbautraining eine Erholungszeit von 48-60 Stunden und beim IK-Training Erholungszeiten bis zu 72 Stunden. Auch Hörst [82] gibt als grobe Richtlinie eine Erholungszeit im Bereich von 24-72 Stunden an. Aussagen darüber, inwiefern längere Erholungszeiten vor dem Pre- und Posttest zu höheren Testergebnissen hätten beitragen können, können nicht erfolgen. Allerdings konnte mit einer Erholungszeit von 48 Stunden ein Kompromiss zwischen hinreichender Regeneration und Zeitökonomisierung gefunden werden.

Die Dauer der Erholungsphase zwischen den Leistungstests ist für die anschließende Leistungsfähigkeit entscheidend [82,109,172], sodass in der vorliegenden Studie

zwischen den einzelnen Testverfahren zur Bestimmung der MAF eine Pausendauer von jeweils fünf Minuten und zwischen den Testverfahren zur Bestimmung der KAS und der LOM sieben Minuten festgelegt wurde. Die Bestimmung der optimalen Pausendauer wird dadurch erschwert, dass die Erholungszeit zwischen zwei Sätzen von mehreren Faktoren beeinflusst wird wie beispielsweise durch (a) die aktive vs. passive Erholung, (b) die Kontraktionsform während der Belastung, (c) die Wiederholungszahl (etwa bis zur individuellen Ausbelastung) oder (d) die Belastungsintensität [172]. Allgemein wird im Krafttraining eine Pausendauer zwischen zwei Sätzen von 2-5 min empfohlen [38,78,172], wobei 3-5 min beim Krafttraining mit 90% oder weniger der One Repetition Maximum und beim Krafttraining mit 90% oder mehr der One Repetition Maximum 1-2 min auszureichen scheinen [172]. Hörst [82] empfiehlt im Maximalkraftbereich bei kletterspezifischen Übungen je nach Übungsauswahl eine Pausendauer von 3-5 min und auch Albesa und Lloveras [1] empfehlen eine Pausendauer im Bereich von 2-5 min. Zwischen den Tests zur Bestimmung der MAF kann folglich angenommen werden, dass eine hinreichend lange Pausendauer gewährleistet werden konnte. Im Hinblick auf die Pausendauer bei den Testverfahren zur Bestimmung der KAS und der LOM konnten Studien aus dem Sportklettern zeigen, dass bei passiver Erholung erhöhte Blutlaktatwerte noch 20-30 min post Belastung nachweisbar sind [1,153,166,165]. Diese Befunde stimmen in etwa mit den Empfehlungen einer 30-45 minütigen Pausendauer für die vollständige Erholung zwischen zwei Kletterrouten von Guyon und Broussouloux [69] überein. In den Trainingseinheiten aber, wo keine vollständige Erholung zwischen den Sätzen erreicht wird, sind in der Literatur deutlich kürzere Pausen wiederzufinden. Albesa und Lloveras [1] empfehlen beim Klettern einer Route an der individuellen Leistungsgrenze eine Pausendauer von ca. 8-10 min, was in etwa der Pausendauer von 7 min der vorliegenden Studie entspricht.

Auch wenn maßgebende Veränderungen der absoluten Wettkampfleistung bei wettkampferfahrenen Leistungsboulderern nach vierwöchiger Intervention nicht zu erwarten sind [148], wurde in der vorliegenden Studie versucht, eine Steigerung der

Leistungsfähigkeit im Bouldern innerhalb der vierwöchigen Trainingsperiode zu quantifizieren. Hierzu wurden bei 12 Probanden 48 Stunden im Vorfeld des Pretests an 20 Bouldern die Anzahl der OS Begehungen gemessen und nach vierwöchiger Trainingsphase an 20 neuen Bouldern mit gleichem Schwierigkeitsgrad überprüft, ob eine Zunahme der Anzahl an OS Begehungen beobachtet werden konnte. Dieser Untersuchungsvorgang wurde abgebrochen, da durch dieses Verfahren keine aussagekräftigen Befunde ermöglicht wurden. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Leistungsfähigkeit im Klettersport u.a. auch von technischen, taktischen und mentalen Fähigkeiten abhängt [3,10,27,44,50,63,110,111,114,116,123,152,165], sodass bei der Überprüfung möglicher Leistungssteigerungen im Bouldern nicht differenziert werden kann, welche Prozesse für diese Verbesserung der Leistungsfähigkeit verantwortlich sind [46]. Denkbar wäre beispielsweise eine begleitende Kraftzunahme der Rumpfmuskulatur durch das vierwöchige Training am Hangboard, welche zu einer gesteigerten Leistungsfähigkeit im Bouldern beitragen könnte. Zudem unterliegt die Bewertung eines Boulders stets einer subjektiven Beurteilung [123,152], sodass der Durchstieg an der individuellen Leistungsgrenze maßgebend vom Liegefaktor mitbestimmt wird [91]. Weiterhin führt die angewandte Messmethode zu Einbußen der Reliabilität, da nicht gewährleistet werden konnte, dass die Boulder im Pretest vom Profil und Schwierigkeitsgrad identisch waren als die Boulder im Posttest [147]. Würden die Probanden im Pre- und Posttest die gleichen Boulder klettern, wären Einbußen der Testvalidität aufgrund von Veränderungen der Messeffekte nicht auszuschließen, da die Probanden auf Informationen aus dem Pretest zurückgreifen könnten.

In der vorliegenden Studie wurden einerseits verzögerte Trainingseffekte und andererseits die Nachhaltigkeit der diagnostizierten MAF-, KAS- und LOM-Befunde nicht überprüft. Medernach [114] untersuchte die Effekte des Detrainings nach zwölfwöchigem Training am Hangboard und konnte nach dreiwöchiger Ruhephase eine Reduktion der Haltezeiten von ca. 15-20% beobachten. Hörst [82] beschreibt, dass eine erste Abnahme der sportartspezifischen Maximalkraft bereits nach ca. 10-14 Tagen zu erwarten ist. Da beim Vibrationskrafttraining anzunehmen ist, dass die

Belastungsintensitäten deutlich höher sind als beim normalen Krafttraining [70], sind insbesondere bei VB verzögerte Trainingseffekte nicht auszuschließen [95,118]. Da die Untersuchungen *in-season* durchgeführt wurden und weitere Untersuchungen die Probanden zusätzlich in Anspruch genommen hätten, wurde auf zusätzliche Testverfahren a posteriori verzichtet.

Für die detaillierte Begründung der Auswahl der Trainingsinhalte wird auf das Kapitel 4.3.3 Trainingsinhalte verwiesen. Inwiefern andere als die angewandten Trainingsinhalte zu unterschiedlichen Untersuchungsergebnisse geführt hätten, bleibt ungeklärt und muss zukünftig anhand von weiteren Studien untersucht werden. Weiterhin sollte nicht unerwähnt bleiben, dass in der vorliegenden Studie bei HB und VB ein simultanes Kraft und Ausdauertraining erfolgte, obwohl im Hochleistungssport empfohlen wird, Kraft- und Ausdauer mithilfe von Trainingsblöcken separat zu trainieren, da ein gleichzeitiges Training von Kraft und Ausdauer aufgrund molekularer Interaktionen etwa die Kraftzunahme behindern kann [81]. Inwiefern dadurch die Ergebnisse beeinflusst wurden, kann nicht gezeigt werden.

## 6.3 Ergebnisdiskussion

Alle 57 Probanden konnten die Teilnahme an der Studie erfolgreich abschließen. Die Gruppenvergleiche ergaben in Bezug auf die Leistungsfähigkeit im Bouldern keine signifikanten Unterschiede zwischen den fünf Stichproben (vgl. 5.5.1.2 Leistungsniveau). In Bezug auf das Körpergewicht konnten in dieser Studie ähnliche Ergebnisse (ca. 70 kg) wie in bisherigen Publikationen aus dem Bouldersport mit 70,2 kg bei Macdonald und Callender [108] und 69,7 kg bei Fanchini et al. [54] festgestellt werden. Demgegenüber wurde in der Studie von La Torre et al. [103] mit 62 kg ein niedrigeres Körpergewicht beobachtet. Im Hinblick auf ein optimiertes Kraft-Gewicht-Verhältnis, welches insbesondere im Hochleistungssport zunehmend an Bedeutung gewinnt [82,104,111,116,165], kann vermutet werden, dass das geringere Körpergewicht bei La Torre et al. [103] durch ein höheres Leistungsniveau erklärt werden kann. Die Probanden bei La Torre et al. [103] waren Eliteboulderer und demzufolge leistungsstärker als die Probanden in der vorliegenden Studie, bei Macdonald und Callender [108] und bei Fanchini et al. [54]. Zudem können auch Unterschiede in Bezug auf die Körpergröße für die Unterschiede herangezogen werden, denn bei La Torre et al. [103] wurde eine durchschnittliche Körpergröße von ca. 171 cm beobachtet, während in der vorliegenden Studie (ca. 178 cm), sowie bei Macdonald und Callender [108] mit ca. 178 cm und bei Fanchini et al. [54] mit ca. 180 cm höhere Werte diagnostiziert wurden. Beim Vergleich der Ergebnisse aus dieser Arbeit und aus den Studien von La Torre et al. [103], Macdonald und Callender [108] und Fanchini et al. [54] mit den Befunden aus dem Sportklettern kann festgehalten werden, dass für Boulderer ähnliche Ergebnisse in Bezug auf das Körpergewicht und die Körpergröße beobachtet werden können als für Sportkletterer (vgl. Tabelle 1). Den bisherigen Befunden, dass Boulderer und Sportkletterer i.d.R. ein relativ geringes Körpergewicht haben [10,16,51,63,103,104,108,111,116,129,153,165] kann ebenfalls zugestimmt werden.

Für die isolierte Maximalkraft der Fingermuskulatur ( $MAF_{\text{isoliert}}$ ) konnte für VB (+7,3%) und HB (+5,0%) nach vierwöchiger Trainingsphase eine signifikante ( $p <$

.001) Steigerung der isolierten Maximalkraft der Fingermuskulatur ( $MAF_{\text{isoliert}}$ ) beobachtet werden, während für BL (+2,6%,  $p = .109$ ), IB (+1,0%,  $p = .111$ ) und MB (+1,2%,  $p = .167$ ) keine signifikanten Steigerungen festgestellt wurden. Dabei können aufgrund der Untersuchungsergebnisse ( $p = .647$ ) unterschiedliche Ausgangswerte der  $MAF_{\text{isoliert}}$  im Pretest zwischen den fünf Trainingsgruppen als Erklärung für diese Befunde ausgeschlossen werden. Es ist naheliegend, dass die geringe Zunahme der  $MAF_{\text{isoliert}}$  in BL, IB und MB darauf zurückzuführen ist, dass das Bouldern i.d.R. eine Vielzahl an unterschiedlichen Griffgrößen und -formen beinhaltet, sodass die Isolierung einer Griffart (e.g. Leistengriff) nicht in dem Ausmaß erfolgen kann wie bei HB und VB [2,82,110,114,167]. Nach Hörst [82] sind maximale Zunahmen der MAF überwiegend dann zu erwarten, wenn im Krafttraining die Isolierung der Griffart und maximale Belastungsintensitäten bis zur individuellen Ausbelastung gewährleistet werden, da je nach Griffart Variationen hinsichtlich der muskulären Beanspruchung der beteiligten Muskelgruppen zu erwarten sind [82,110]. Überdies können als Ursache für die Befunde bei IB zu geringe Belastungsintensitäten herangezogen werden [76,82].

Allerdings ist den Ergebnissen am Moonboard zufolge anzunehmen, dass neben der Randomisierung der Griffart weitere Ursachen für die unterschiedlichen Befunde herangezogen werden können. Denn das für die Studie eingesetzte Set-up am Moonboard bestand überwiegend aus Leistengriffe, sodass hier ebenfalls eine Isolierung der Griffart, wenn auch nicht in dem Ausmaß wie am Hangboard, gewährleistet werden konnte. Auf deskriptiver Ebene aber wurde bei MB eine geringere ( $\nearrow$  1,2%) Zunahme der  $MAF_{\text{isoliert}}$  beobachtet als bei BL ( $\nearrow$  2,6%). Als Erklärung hierfür ist anzunehmen, dass diese Befunde auf die Messspezifik der Hand-Dynamometrie zurückgeführt werden können. Bei der Hand-Dynamometrie ohne Daumeneinsatz erfolgt eine Beugung des proximalen Interphalangealgelenks um ca. 45° und des distalen Interphalangealgelenks um ca. 60°, sodass diese Belastungsart hinsichtlich der muskulären Beanspruchung mit der Belastung beim Greifen eines Slopers gleichzustellen ist [5,82,148,151,163] (vgl. Abbildung 9). Da am

Moonboard überwiegend Leistengriffe zum Einsatz kamen, ist eine Steigerung der Dynamometerwerte bei MB demnach nicht zu erwarten.

Überdies scheint die geringe Zunahme der  $MAF_{\text{isoliert}}$  bei BL und MB dadurch erklärt werden zu können, dass im Bouldern i.d.R. versucht wird, eine möglichst zweckmäßige und damit kraftsparende Lösungsstrategie anzuwenden, um ein Boulderproblem zu durchsteigen, während beim Krafttraining am Hangboard gezielt maximale Belastungsintensitäten bis zur individuellen Ausbelastung erreicht werden [82]. Folglich ist anzunehmen, dass die Belastungsintensitäten bei BL und MB geringer waren als bei HB und VB [82,110,114]. Diese Annahme wird dadurch bekräftigt, dass beim Training am Hangboard und Vibrationsboard eine präzise Abstimmung der Belastungsintensitäten ermöglicht wird [82,110,114], während im Bouldern die Anpassung der Belastungsintensität überwiegend über den Schwierigkeitsgrad erfolgt, sodass progressive Belastungssteigerungen zur Verbesserung der konditionellen Fähigkeiten nicht in dem Ausmaß wie beispielsweise beim Training am Hangboard erreicht werden [82].

Auf deskriptiver Ebene konnte für VB ( $\nearrow$  7,3%) im Vergleich zu HB ( $\nearrow$  5,0%) eine höhere Zunahme der  $MAF_{\text{isoliert}}$  beobachtet werden, welche vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass durch den zusätzlichen Vibrationsreiz höhere Belastungsintensitäten erreicht worden sind [70,83,84,89,95,107]. Allerdings konnten auf inferenzstatistischer Ebene keine signifikanten Unterschiede zwischen HB und VB festgestellt werden. Die Ursache für diese Befunde muss ungeklärt bleiben, wobei als mögliche Erklärungen eine zu geringe Stichprobenhöhe und verzögerte Trainingseffekte herangezogen werden können. Inwiefern also ein größerer Stichprobenumfang zu anderen statistischen Ergebnissen geführt hätte, muss zukünftig durch weitere Studien untersucht werden. Überdies liegt die Vermutung nahe, dass die Probanden bei VB aufgrund der höheren Belastungsintensitäten durch die Vibrationsstimuli die Übungen an größeren Leistengriffen des Hangboards durchgeführt haben als die Probanden bei HB. Dies würde bedeuten, dass VB an größeren Griffen zu einer vergleichbaren Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  beitragen könnte

als HB an kleineren Griffen. Da die Griffgröße, an denen die Probanden das Training absolvierten, nicht überprüft wurden, kann diese Hypothese allerdings nicht bestätigt werden.

In Bezug auf die physiologischen Anpassungserscheinungen scheint eine Zunahme des Muskelquerschnitts (Hypertrophie) für die Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  naheliegend [37,70,78,81,82]. Nach Hohmann, Lames und Letzelter [78] ist eine Zunahme der Maximalkraft über die Vergrößerung des Muskelquerschnitts innerhalb eines Zeitraums von etwa vier bis sechs Wochen anzusetzen, während innerhalb der ersten 2-3 Trainingswochen die Kraftzunahme i.d.R. ohne nennenswerte Querschnittszunahme der Muskelfasern durch (a) eine erhöhte neuronale Aktivierung über die Zunahme der Zahl aktiver motorischer Einheiten (Rekrutierung), (b) eine Steigerung der Aktionspotentialfrequenz (Frequenzierung) und (c) eine maximale Synchronisation mit möglichst gleichzeitigem Einbeziehen aller motorischen Einheiten erfolgt [37,70,78,82]. Da in dieser Studie ausschließlich leistungsorientierte Boulderer mit mindestens einjähriger Erfahrung im boulderspezifischen Krafttraining teilnahmen, scheint eine Verbesserung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  nicht primär über intramuskuläre Anpassungserscheinungen erklärt werden zu können [78]. Obwohl in dieser Arbeit die Bestimmung des aktiven Muskelquerschnitts durch die metrische Umfangmessung erfolgte, konnten hinsichtlich der Anpassungserscheinungen keine Aussagen erfolgen, sodass die Ergebnisse aufgrund des entsprechend ungenauen Erhebungsverfahrens [37] nicht für die Ergebnisdarstellung berücksichtigt wurden.

Im konventionellen Krafttraining sind, je nach Leistungsniveau, Trainingsintensität und Trainingsumfang, innerhalb von acht Wochen Zunahmen der Muskelkraft und des Muskelquerschnitts bis ca. 30% anzusetzen [81]. Macdonald und Callender [108] untersuchten männliche Boulderer mit einem Leistungsniveau von 7b Fb und diagnostizierten hinsichtlich der Dynamometerwerte mit durchschnittlichen Werten von ca. 50 kg ähnliche Befunde im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie. Werle et al. [170] untersuchten alters- und geschlechtsspezifische

Unterschiede und beobachteten für die Schweizer Bevölkerung bei männlichen Probanden im Alter von 20-24 Jahre ( $n = 496$ ) Dynamometerwerte an der dominanten Hand von ca. 51-53 kg. Diese Ergebnisse stimmen mit den Befunden der vorliegenden Studie (vgl. Tabelle 20) und den Ergebnissen von Macdonald und Callender [108] überein, sodass zwischen männlichen Leistungsboulderern und der untersuchten Population von Werle et al. [170] keine maßgebenden Unterschiede beobachtet werden konnten. Vergleichbare Ergebnisse zeigen auch einige Studien aus dem Sportklettern [51,63,165] und wurden dadurch begründet, dass die Hand-Dynamometrie keine sportartspezifische Bestimmung der MAF ermöglicht [10,63,120,150]. Allerdings ist der Vergleich zwischen den einzelnen Studien aufgrund unterschiedlicher Messmethoden (e.g. Körperposition während der Messung, dominante vs. nicht-dominante Hand, Einstellung des Dynamometers) i.d.R. nur eingeschränkt möglich [138]. Diesbezüglich wurde in der vorliegenden Studie und in der Arbeit von Macdonald und Callender [108] zur Gewährleistung einer möglichst sportartspezifischen Bestimmung der MAF der Einsatz des Daumens nicht zugelassen, wodurch niedrigere Befunde zu erwarten sind.

Unterschiedliche Ausgangswerte zwischen den fünf Trainingsgruppen können auch für die Befunde der  $MAF_{\text{funktional}}$  ausgeschlossen werden (vgl. 5.4.4 Gruppenvergleiche der  $MAF_{\text{funktional}}$ ). Die höhere Steigerung des  $MAF_{\text{funktional}}$ -Scores nach vierwöchiger Trainingsdauer für VB und HB scheint somit erneut dadurch erklärt werden zu können, dass beim Bouldern eine Vielzahl an Griffgrößen und -formen vorkommen, sodass das Training an einer isolierten Griffart mit maximalen Belastungsintensitäten bis zur individuellen Ausbelastung nur bedingt gewährleistet werden kann. Diese Annahme wird dadurch bekräftigt, dass für MB nach vierwöchiger Intervention im Vergleich zu BL ( $p = .014$ ) und IB ( $p = .006$ ) eine signifikant höhere Zunahme des  $MAF_{\text{funktional}}$ -Scores beobachtet werden konnte. Am Moonboard überwiegt, wie bereits diskutiert, der Leistengriff, wodurch bei MB nach vierwöchiger Intervention beim Dead Hang<sub>Leiste</sub> (+5,0 s), BAT<sub>7,5mm</sub> (+5,2 s) und BAT<sub>10mm</sub> (+10,1 s) eine höhere Steigerung der Haltezeiten beobachtet werden konnte als bei BL (3,0 s, 2,7 s und 4,3 s) und IB (2,1 s, 4,0 s und 3,2 s).

Demgegenüber lassen sich beim Dead Hang<sub>Sloper</sub> ähnliche Steigerungen der Haltezeiten für MB (+3,2 s), BL (+3,0 s) und IB (+3,3 s) feststellen, was darauf zurückzuführen ist, dass am Moonboard die Griffart „Sloper“ i.d.R. nicht vorkommt, sodass auch keine maßgebenden Steigerungen der Haltezeiten am Sloper zu erwarten sind. Die signifikant höhere Steigerung des MAF<sub>funktional</sub>-Scores für MB im Vergleich zu BL ( $p = .014$ ) und IB ( $p = .006$ ) kann demzufolge dadurch erklärt werden, dass beim Summenwert zur Berechnung des MAF<sub>funktional</sub>-Scores die Hängetests mit dem Grifftypus Leiste überwiegen.

Anhand der deskriptiven Statistik lassen sich für VB im Vergleich zu HB bei allen Hängetests zur indirekten Bestimmung der MAF mit Ausnahme des BAT<sub>10mm</sub> höhere Befunde diagnostizieren. Dennoch konnten auch die Ergebnisunterschiede für die MAF<sub>funktional</sub> auf inferenzstatistischer Ebene nicht belegt werden ( $p = .254$ ). Ob neben dem Treatment auch hier die Stichprobenhöhe oder verzögerte Trainingseffekte für die nicht-signifikanten Unterschiede herangezogen werden können, muss ungeklärt bleiben und zukünftig in weiteren Studien untersucht werden.

Ogleich für BL und MB niedrigere Befunde für die MAF<sub>funktional</sub> festgestellt wurden als für HB und VB, haben BL und MB den Vorteil, dass Kraftzuwächse nicht in Isolierung erfolgen, sondern zeitgleich auch taktische und technisch-koordinative Fähigkeiten trainiert werden können [82,110,158]. Infolgedessen ist für BL und MB im Vergleich zu HB und VB ein höherer Transfer zwischen Training und der übergeordneten Boulderleistungsfähigkeit anzunehmen [82,110]. Inwiefern und in welchem Ausmaß die fünf Trainingsmethoden trotz unterschiedlicher Befunde der MAF<sub>isoliert</sub> zu einer Verbesserung der Boulderleistungsfähigkeit beitragen können, bleibt ungeklärt, da die eingesetzten Testverfahren Leistungssteigerungen in ihrer Gesamtheit nicht erfassen können.

López-Rivera und González-Badillo [105] untersuchten die Trainingswirksamkeit von zwei unterschiedlichen Maximalkraftmethoden im Sportklettern und beobachteten

nach vierwöchiger Untersuchungsdauer eine Zunahme der  $MAF_{\text{funktional}}$  am Hangboard von durchschnittlich 9,6%. Diese Ergebnisse sind niedriger als die Befunde der vorliegenden Studie und können durch die angewandte Untersuchungsmethode erklärt werden. Während in der vorliegenden Studie die Zunahme der Haltezeiten überprüft wurde, untersuchten López-Rivera und González-Badillo [105] in ihrer Studie eine Steigerung der maximalen Zusatzlast (kg), bei der Haltezeiten von fünf Sekunden an einem 15 mm Leistengriff gewährleistet wurden. Inwiefern die Autoren bei diesem Messverfahren die maximalen Zusatzlasten ermitteln konnten, bei denen Haltezeiten von exakt fünf Sekunden gewährleistet wurden, ist fragwürdig. Überdies sind die Probanden aus der Studie von López-Rivera und González-Badillo [105] wesentlich leistungsstärker (8a+/8b RP) als die Boulderer in der vorliegenden Studie. Infolgedessen sind geringere Kraftzuwächse zu erwarten, da aufgrund von Akkomodationsprozessen mit steigendem Leistungsniveau die Gewährleistung wirksamer Belastungsreize zunehmend erschwert wird [82,100,110]. Weiterhin ist zu beachten, dass die Trainingsmethoden bei López-Rivera und González-Badillo [105] in Ergänzung zum Klettern und Bouldern durchgeführt wurden, sodass keine Aussagen darüber gemacht werden können, inwiefern dadurch die Untersuchungsergebnisse beeinflusst wurden. Medernach [114] untersuchte bei fortgeschrittenen Sportkletterern die Trainingseffekte eines 12-wöchigen Hangboardtrainings (1 TE / Woche) und konnte beim Bent-Arm Hängetest am Hangboard im Maximalkraftbereich (maximale Haltezeiten im Pretest zwischen 5-10 s) nach vierwöchiger Untersuchungsphase eine Zunahme der Haltezeiten von durchschnittlich 9 s beobachten. Eine vergleichbare Zunahme der Haltezeiten konnte in der vorliegenden Studie für HB beim  $BAT_{7,5\text{mm}}$  beobachtet werden (+8,9 s).

Neben einer Zunahme des Muskelquerschnitts und einer Verbesserung der intramuskulären Koordination, ist eine Zunahme der  $MAF_{\text{funktional}}$  auch auf eine Verbesserung der intermuskulären Koordination (verbessertes Zusammenspiel der an der Kraftentwicklung beteiligten Agonisten, Synergisten und Antagonisten) zurückzuführen [37,78]. Die Haltezeiten bei den Hängetests zur Bestimmung der

MAF<sub>funktional</sub> werden durch das Zusammenwirken vieler Muskelgruppen bestimmt, sodass davon ausgegangen werden kann, dass neben der Zunahme der MAF auch weitere Anpassungserscheinungen für die Steigerung der MAF<sub>funktional</sub> herangezogen werden können. Tatsächlich wird die Fähigkeit, einen Griff zu halten, neben der MAF auch von der Reibung zwischen Körperhaut und Griffoberfläche beeinflusst [163], wobei diese Reibungskraft maßgebend von der Kraftflusskette zwischen den oberen Extremitäten und dem Körperschwerpunkt bestimmt wird [101]. Infolgedessen ist beispielsweise anzunehmen, dass die in der vorliegenden Studie beobachteten Steigerungen der KAS auch die Haltezeiten bei den Hängetests beeinflusst haben könnten. In diesem Zusammenhang konnten Muehlbauer, Stuerchler und Granacher [121] bei untrainierten Kletterern nach achtwöchigem Sportklettern (2 TE / Woche) eine signifikante Zunahme der Rumpfmuskulatur beobachten. Ähnliche Anpassungserscheinungen mit Einflussnahme auf die Haltezeiten sind auch für die vorliegende Studie denkbar und könnten die unterschiedlichen Befunde zwischen der MAF<sub>isoliert</sub> und der MAF<sub>funktional</sub> erklären. Denn während eine signifikante Steigerung der MAF<sub>isoliert</sub> nach vierwöchiger Interventionsphase ausschließlich für HB und VB beobachtet wurde, konnten für alle Hängetests zur Bestimmung der MAF<sub>funktional</sub> mit Ausnahme vom BAT<sub>10mm</sub> bei IB signifikante Steigerungen beobachtet werden.

Für die KAS konnte nach vierwöchiger Trainingsphase auf deskriptiver Ebene für VB und HB im Vergleich zu BL, IB und MB bei allen fünf Testverfahren eine höhere Steigerung beobachtet werden (vgl. Abbildung 46). Diese Befunde können im Wesentlichen durch die spezifische Reizsetzung bei VB und HB erklärt werden [82,110]. Die am Hangboard und Vibrationsboard eingesetzten (a) Uneven Lock-offs, (b) Fingerboard Hangs, (c) Frenchies und (d) Fingerboard Pyramiden sind sportartspezifische Übungen, welche neben einer Zunahme der MAF insbesondere auf eine Steigerung der KAS hinzielen [82,110]. Im Gegensatz dazu sind die niedrigen Befunde bei BL, IB und MB dadurch zu erklären, dass bei diesen Trainingsformen die *time under tension* und die Belastungsintensitäten der Muskelgruppen der KAS

nicht hoch genug sind, um vergleichbare Effekte wie beim Training am Hangboard und Vibrationsboard zu erzielen.

Im Hinblick auf die Untersuchungsergebnisse der KAS muss, wie bereits beschrieben, zwischen den unterschiedlichen Messverfahren differenziert werden. Werden zur Bestimmung der KAS ausschließlich die Anzahl an Klimmzügen und die Wiederholungszahl beim Tabata-Protokoll herangezogen, so lassen sich für BL, IB und MB nach vierwöchiger Trainingsintervention keine signifikanten Steigerungen beobachten (vgl. Tabelle 17). Demgegenüber konnte bei den Hängetests  $BAT_{15mm}$ ,  $BAT_{20mm}$  und  $BAT_{30mm}$  nach vierwöchiger Untersuchungsdauer auch für BL, IB und MB eine signifikante Steigerung der Haltezeiten beobachtet werden. Drei Ursachen scheinen für diese Befunde naheliegend:

- Bei den Hängetests zur Bestimmung der KAS könnte aufgrund der Griffiefen von 15 mm, 20 mm und 30 mm auch die  $MAF_{\text{funktional}}$  einen leistungsbestimmenden Einfluss auf die Ergebnisse ausgeübt haben, was bei den Klimmzügen und dem Tabata-Protokoll an der Klimmzugstange eher unwahrscheinlich ist.
- Überdies differenzieren sich die Testverfahren im Hinblick auf die Belastungs- und Kontraktionsformen. Bei den Klimmzügen wird die dynamische Kraftfähigkeit der Oberarmbeuger bei konzentrisch-exzentrischer Kontraktionsform überprüft, während bei den BAT-Hängetests die statische Haltearbeit bei isometrischer Kontraktionsform untersucht wird.
- Trotz den Befunden der Korrelationsanalyse, wo gezeigt werden konnte, dass alle fünf Testverfahren miteinander korrelieren und folglich eine hohe interne Konsistenz besteht, ist fraglich, inwiefern die Widerstandstests (a)  $BAT_{15mm}$ , (b)  $BAT_{20mm}$  und (c)  $BAT_{30mm}$  die sportartspezifische KAS im Wettkampfbouldern tatsächlich erfassen können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Begriff der „Kraftfähigkeit“ sehr unspezifischer Art ist und allgemein Muskelleistungen mit 30% oder mehr der Maximalkraft

bezeichnet [80]. Die Haltezeiten beim  $BAT_{30mm}$  im Pretest betragen für alle fünf Stichproben ca. 50 s (vgl. Tabelle 25) und sind primär Ausdruck einer Ermüdungswiderstandsfähigkeit der Armbeuger bei anhaltender, isometrischer Muskelkontraktion [69,78]. Demgegenüber ist im Wettkampfbouldern überwiegend die Maximalkraft der Armbeuger und der Muskelgruppen des Schultergürtels leistungsbestimmend.

Infolgedessen ist im Hinblick auf die Untersuchungsergebnisse anzunehmen, dass die Überprüfung der Anzahl an Klimmzügen im Vergleich zu den eingesetzten Hängetests eine sportartspezifischere Bestimmung der KAS ermöglicht. Tatsächlich konnten für HB und VB nach vierwöchiger Intervention eine signifikant höhere Steigerung der Klimmzüge beobachtet werden als für BL, IB und MB, in denen die Wiederholungszahl in summa unverändert blieb (vgl. Tabelle 24). In diesem Zusammenhang ist anzunehmen, dass auch der MZW-Test (vgl. 4.3.2.6 Maximale Zusatzlast für eine Wiederholung) eine sportartspezifische Bestimmung der KAS ermöglicht, obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Ergebnisse maßgebend von der MAF beeinflusst wurden. In summa konnten beim MZW-Test ähnliche Befunde als beim Klimmzug-Test und nach vierwöchiger Untersuchungsphase sogar eine signifikant höhere Zunahme der Klimmzüge beobachtet werden als bei allen anderen Trainingsverfahren.

In einer älteren Studie untersuchten Grant et al. [67] die Haltezeiten beim BAT am Hangboard und die Autoren konnten signifikant ( $p < .05$ ) höhere Haltezeiten für leistungsstärkere Athleten ( $53,1 \pm 1,3$  s) als für Kletteranfänger ( $31,4 \pm 9,0$  s) und Nicht-Kletterer ( $32,6 \pm 15,0$  s) beobachten. Mermier et al. [116] untersuchten einige Jahre später ebenfalls die Haltezeiten beim BAT am Hangboard und konnten für männliche Sportkletterer Haltezeiten von  $51,8 \pm 14,6$  s beobachten. Auch Macdonald und Callender [108] untersuchten die Haltezeiten beim BAT an der Klimmzugstange und konnten für Boulderer (7b Fb) signifikant ( $p < .001$ ) längere Haltezeiten ( $58 \pm 13$  s) beobachten als für Nicht-Boulderer ( $39 \pm 9$  s). Balás et al. [10] konnten bei Sportkletterern mit ähnlichem Leistungsniveau als die Boulderer der

vorliegenden Studie Haltezeiten beim BAT an der Klimmzugstange von rund 56 s beobachten. In summa entsprechen die Befunde dieser Studien in etwa den Hängezeiten im Pretest beim BAT<sub>30mm</sub> der vorliegenden Studie (vgl. Tabelle 25). Medernach [114] untersuchte bei Sportkletterern die Trainingseffekte eines 12-wöchigen Hangboardtrainings und konnte beim BAT am Hangboard nach vierwöchiger Untersuchungsphase eine Zunahme der Haltezeiten im Bereich von 12 s beobachten. Diese Ergebnisse stimmen mit den Befunden für HB beim BAT<sub>15mm</sub>, BAT<sub>20mm</sub> und BAT<sub>30mm</sub> der vorliegenden Studie überein. In Bezug auf die Klimmzüge konnten Grant et al. [67] bei leistungsstärkeren Sportkletterern eine signifikant höhere Klimmzuganzahl beobachten ( $16,2 \pm 7,2$ ) im Vergleich zu Kletteranfängern ( $3,0 \pm 9,0$ ) und Nicht-Kletterern ( $3,9 \pm 3,9$ ). Allerdings lassen sich diese Befunde nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie vergleichen, da die Klimmzüge in der vorliegenden Arbeit mit einer standardisierten Ausführungsgeschwindigkeit (Aufwärts- und Abwärtsbewegung von jeweils 3 s) durchgeführt wurden (vgl. 4.3.2.8 Klimmzüge). Auch für das Tabata-Protokoll in Anlehnung an Hörst [82] scheinen für den Klettersport nach bestem Wissen des Autors bislang keine Studien vorzuliegen.

Die Bestimmung der lokalen Muskelausdauer der Fingerflexoren (LOM) erfolgte anhand des Intermittent Hängetests (IHT) und der Kletterzeit bis zur individuellen Ausbelastung (KIA). Wie bei den bisherigen Testverfahren zur Bestimmung der MAF und der KAS können unterschiedliche Ausgangswerte im Pretest auch für die LOM ausgeschlossen werden. Im Wesentlichen sind die Befunde durch die unterschiedlichen Wirkungsweisen der Trainingsmethoden zu erklären. Aufgrund der niedrigen Kletterhöhe und einer durchschnittlichen Anzahl von vier bis acht Klettergriffen, zielt BL und MB nicht auf eine Steigerung der LOM hin [82,110], während IB mit dem wiederholten Klettern von Boulderzirkeln und einer lohnenden Pausendauer zwischen den einzelnen Wiederholungen eine hocheffektive Trainingsmethode zur Steigerung der LOM darstellt [82,110]. Überdies sind die in HB und VB eingesetzten *Fingerboard Hangs* ebenfalls hocheffektive Hängeübungen zur Steigerung der LOM [82]. Dabei hat IB gegenüber HB und VB den entscheidenden Vorteil, dass zeitgleich auch taktische und technisch-koordinative Fähigkeiten

trainiert werden können [82]. Es ist anzunehmen, dass hierdurch ein höherer Transfer vom Training zu der übergeordneten Boulderleistungsfähigkeit gewährleistet werden kann als bei HB und VB [82,110]. Überdies hat nach Giles, Rhodes und Taunton [63] IB den Vorteil, dass die Steigerung der LOM an einer Vielzahl an unterschiedlichen Griffarten erfolgt. Weiterhin konnte die höchste Zunahme der KIA nach vierwöchiger Untersuchungsdauer für IB (+36 s) beobachtet werden, während für VB (+26,3 s) und HB (+8,7 s) geringere Steigerungen beobachtet wurden. Dabei wurde für IB eine signifikant höhere Zunahme der KIA festgestellt als bei BL ( $p = .005$ ), MB ( $p = .025$ ) und HB ( $p = .008$ ).

Als Ursache für die Steigerung der sportartspezifischen LOM werden in der Literatur mehrere Wirkungsmechanismen beschrieben. Einen eminenten Stellenwert hat im Wettkampfbouldern die Erhöhung der lokalen Durchblutung in den Entlastungsphasen (belastungsbegleitende Erholungsprozesse), durch die einerseits eine Zunahme des intrazellulären  $O_2$ -Angebots pro Zeiteinheit und andererseits ein schneller Abtransport von Stoffwechselmetaboliten gewährleistet werden kann [16,20,37,55,59,80,81,102,111,117,129,132,137,154,161,166]. Dabei ist für Wettkampfboulderer vor allem ein schneller Laktatabbau (sowohl unter Belastung als auch post Belastung) von entscheidender Bedeutung [1,55,59,63,68,82,100,117,153,154,165,166]. Auf hämodynamischem Weg kann eine gesteigerte Vaskularisierung u.a. durch

- eine Vergrößerung des Querschnitts der Arteriolen und Arterien [37,80],
- die Entwicklung neuer Kollateralen (Angiogenese) [80,111],
- eine erhöhte Vasodilatation der Blutgefäße mit gleichzeitiger Abnahme des lokalen arteriellen Gefäßwiderstandes und einem gesteigertem venösem Blutrückstrom [55,63,68,80,111,134,165] und
- eine Zunahme der Kapillarisation (e.g. Kapillarneubildung, Erhöhung der Kapillardichte und des Kapillarovolumens, Öffnung von Ruhekapillaren) mit dem Ziel, die Austauschfläche zwischen Kapillaren und Muskel zu vergrößern

und die Diffusionsstrecke zwischen Kapillarwand und Mitochondrien zu verkürzen [1,37,68,80-82,87,111,137] erfolgen.

Neben der gesteigerten Vaskularisierung ist auf hämodynamischem Weg auch eine verbesserte intramuskuläre Blutverteilung anzunehmen [80]. Auf metabolischem Weg sind u.a. (a) die Vergrößerung des intramuskulären Glykogengehalts [1,80,82,100], (b) die Verbesserung des Phosphatabbaus [100], (c) die Vermehrung und Vergrößerung der Mitochondrien [1,80-82,137] und (d) eine Aktivitätssteigerung oxidativ und anaerob wirksamer Enzyme [80,137] möglich. Eine höhere Wiederholungsanzahl beim IHT und eine längere KIA können auch auf eine erhöhte Schmerztoleranz trotz lokaler Laktatakkumulation (Laktattoleranz) zurückgeführt werden [1,17,63,68,80,82,102,153]. Da die lokale Ermüdungswiderstandsfähigkeit durch das Zusammenwirken von Kraft und Ausdauer bestimmt wird, kann zudem davon ausgegangen werden, und dies überwiegend beim IHT, dass die Steigerung der LOM durch die Zunahme der MAF beeinflusst wurde [78,122]. Überdies ist, vor allem für die KIA, eine erhöhte muskuläre Entspannungsfähigkeit ebenfalls denkbar [16,60,102].

In der vorliegenden Studie konnte für IB und VB nach vierwöchiger Intervention eine Zunahme der LOM von etwa 30-40% beobachtet werden. Dies ist nach Jensen, Bangsbo und Hellsten [87] und MacLeod [110] dadurch zu erklären, dass eine deutliche Steigerung der LOM bereits nach einigen Trainingswochen zu erwarten ist. Vergleichswerte aus bisherigen Studien scheinen derzeit nicht vorzuliegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die LOM bislang überwiegend mithilfe von isometrischen Hängetests bis zur individuellen Ausbelastung untersucht wurde [105,114]. Die sportartspezifische LOM besteht im Klettern und Bouldern aber aus intermittierenden, wiederkehrenden Belastungen bei isometrischer Muskelkontraktion [16,82,147], sodass isometrische Widerstandstests bis zur Ausbelastung unspezifisch sind [147]. López-Rivera und González-Badillo [105] konnten in ihrer Studie beim isometrischen Hängetest an einem 11 mm tiefen

Leistungsgreif nach vierwöchiger Untersuchungsdauer eine Zunahme der Haltezeiten von 6,0 s (+11,6%) bzw. 7,8 s (+16,7%) beobachten.

Im Hinblick auf die Laktatwerte kann aufgrund des unveränderten Testablaufs zwischen Pre- und Posttest eine Reduzierung der Laktatwerte bei IB, HB und VB als Indiz für entsprechende Ökonomisierungsprozesse angesehen werden [37,147]. Allgemein kann bei gleichbleibender Belastung davon ausgegangen werden, dass bei Athleten mit einer höheren aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit geringere Laktatwerte beobachtet werden können als bei Athleten mit einer weniger gut ausgebildeten aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit [37]. Im Wesentlichen sind die Befunde für BL und IB erneut auf die niedrige Kletterhöhe und eine durchschnittliche Anzahl von vier bis acht Klettergriffen zurückzuführen [82,110]. Die Laktatbefunde können als Ergänzung zu den Untersuchungsergebnissen der LOM betrachtet werden, welche gezeigt haben, dass IB, HB und VB zu einer Steigerung der LOM beitragen können, während BL und MB zu keiner Verbesserung der LOM führten.

Die Laktatbefunde im Pretest der vorliegenden Studie ( $2,2-3,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) können überwiegend dadurch erklärt werden, dass keine sportartspezifische Ausbelastung stattgefunden hat. In der Pilotstudie zur Bestimmung der LOM im Wettkampfbouldern (vgl. 3.4 Forschungsstand der LOM) konnten höhere maximale Blutlaktatwerte von ca.  $5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  diagnostiziert werden. Überdies konnten La Torre et al. [103] in ihrer Studie unmittelbar nach Ende einer italienischen Bouldermeisterschaft maximale Laktatwerte von durchschnittlich  $6,9 \pm 1,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  beobachten. Die höheren Befunde im Vergleich zu der Pilotstudie wurden dadurch begründet, dass in der Studie von La Torre et al. [103] die Kletterzeit pro Boulder jeweils sechs Minuten betrug (demzufolge höhere Gesamtkletterzeit als im Vergleich zum IFSC-Reglement) und dass eine höhere Motivation im Wettkampf anzunehmen ist als bei einer Simulation.

In der vorliegenden Studie erfolgte die Blutabnahme am hyperämisierten Ohrläppchen [35,37,75], da bei einer Abnahme am Finger während den anschließenden Testverfahren das Infektionsrisiko beim Greifen der Griffe erhöht worden wäre [59,68]. Draper et al. [43] untersuchten im Sportklettern den Einfluss vom Blutabnahmeort auf die Laktatwerte und konnten bei der Blutabnahme am Finger ( $3,9 \pm 1,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) im Vergleich zu der Blutabnahme am Ohrläppchen ( $3,4 \pm 1,3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) höhere Laktatwerte beobachten. Die Autoren erklären diese Befunde einerseits dadurch, dass eine lokale Minderdurchblutung bei isometrischer Muskelkontraktion zu einer Verzögerung der Ausschwemmung des Laktats in den Blutkreislauf beitragen kann, und dass andererseits das in der Unterarmmuskulatur produzierte Laktat in anderen, weniger aktiven Muskelgruppen verstoffwechselt wird. Diese Regulierung des Laktat-Gleichgewichts erfolgt durch sogenannte Laktat-Shuttle-Mechanismen, bei denen Monocarboxylattransporter-Proteine (MCT), insbesondere deren Isoformen MCT1 und MCT4, mit der Blutbahn und den Organen ein Laktattransportnetzwerk bilden, durch das ca. 85% des anfallenden Laktats über den aktiven Transport abgebaut wird und der weiteren Energiegewinnung dient [42,79]. Mit zunehmender Belastung etwa werden ca. 60% des anfallenden Laktats im Herz verstoffwechselt, während intrazelluläre Laktat-Shuttle dafür sorgen, dass das aus der Glykolyse stammende Laktat im Zytosol durch Mitochondrien der gleichen Zelle abgebaut wird [79]. Nach Gladden [64] dient das produzierte Laktat bereits während der körperlichen Belastung als Energielieferant und wird durch aktiven Transport in die Mitochondrien derselben oder anderen Muskelzellen transportiert, um zu Pyruvat umgewandelt und oxidiert zu werden. In diesem Zusammenhang wird in einigen Studien aus dem Sportklettern ein signifikant schnellerer Laktatabbau bei aktiver Erholung (Gehen, Fahrradergometrie) im Vergleich zu passiver Erholung postuliert [42,75,165,166]. Draper et al. [42] untersuchten die Wirkungsweise aktiver Regenerationsmaßnahmen im Sportklettern und konnten feststellen, dass nach aktiver Regeneration signifikant niedrigere Laktatwerte beobachtet werden konnten als nach passiver Regeneration. Die Autoren beschreiben, dass durch die aktive Regeneration eine erhöhte Durchblutung erzielt wird, wodurch ein erhöhter Laktatabbau in der belastenden

Muskulatur mit einer schnelleren Verteilung des Laktats zu alternativen metabolischen Orten (e.g. Leber, Herz) erfolgen kann.

Wird die Bestimmung der Laktatwerte als Indikator der LOM herangezogen, können weitere Einflussfaktoren wie

- der Füllungszustand der Glykogendepots und die akute Ernährung,
- die Laktat-Analysemethode,
- die Gerätevarianz,
- die Tag-zu-Tag-Variabilität,
- mögliche Vorbelastungen oder
- Veränderungen der Raumtemperatur

die Laktatbefunde maßgebend beeinflussen [37,79]. Unterschiedliche Untersuchungsmethoden wie (a) das Leistungsniveau der Probanden, (b) die Belastungsintensität (Schwierigkeitsgrad der Route), (c) das Vorliegen einer sportartspezifischen Ausbelastung, (d) die Wandeigenschaften (u.a. Wandneigung) und (e) die Länge der Route (Dauer der Belastung) erklären auch die unterschiedlichen Laktatbefunde aus dem Klettersport [17,39,43,59,63,117,125,139,147,153]. So konnten im Hinblick auf die Wandeigenschaften einige Studien zeigen, dass mit zunehmender Wandneigung der Anteil der Beinmuskulatur für die Aufwärtsbewegung geringer wird und somit ein Großteil des Körpergewichts durch die relativ kleinen Muskelgruppen der Hände und Finger getragen werden muss [1,5,63,82,111,120,125,152,168]. Infolgedessen können bei Kletterrouten mit gleichem Schwierigkeitsgrad unterschiedliche Laktatbefunde aufgrund verschiedener Routenprofile (e.g. Überhang, Platte) diagnostiziert werden [35,50,59,63].

Hinsichtlich dieser Einflussfaktoren sollte zudem berücksichtigt werden, dass beim Aufwärmen in der vorliegenden Studie keine Standardisierung hinsichtlich der Auswahl der Boulder erfolgte. Trotz siebenminütiger Pausendauer zwischen dem

Aufwärmen und der Laktatbestimmung, können Unterschiede hinsichtlich vorangegangener Belastungen beim Aufwärmen somit die Laktatwerte beeinflussen haben [43,59]. Weiterhin konnten im Pretest signifikant niedrigere Laktatwerte für BL ( $2,4 \pm 0,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $p = .012$ ) und MB ( $2,2 \pm 0,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $p = .001$ ) beobachtet werden als für IB ( $3,4 \pm 0,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Es ist demnach wahrscheinlich, dass die Befunde im Posttest auch maßgebend durch die Ausgangswerte erklärt werden können. Für die detaillierte Beschreibung der Laktatbefunde im Sportklettern wird hier auf die Pilotstudie in Kapitel 3.4 Forschungsstand der LOM verwiesen.

In der Trainingssteuerung gelten Längsschnittsvergleiche der Herzfrequenz als einfachster Parameter zur Diagnostik der Wirkungsweise eines Ausdauertrainings [37,78,80]. Denn neben den Laktatwerten ist bei gegebener Ausdauerbelastung, unverändertem Testverfahren und gleichen Ausgangsbedingungen auch die Reduzierung der Herzfrequenz ein Indiz für die Ökonomisierung des Körpers [37,78,80]. Die durchschnittlichen Ausgangswerte im Pretest lagen bei allen fünf Stichproben im Bereich von  $135\text{-}149 \text{ min}^{-1}$ , was in etwa mit den Befunden an Boulder 2 der Pilotstudie übereinstimmt ( $146,5 \pm 14,6 \text{ min}^{-1}$ ). Die signifikante Abnahme der Herzfrequenz nach vierwöchiger Trainingsintervention für VB ( $141 \rightarrow 134 \text{ min}^{-1}$ ) stimmt mit den Laktatbefunden überein, wo für VB ebenfalls eine signifikante Abnahme diagnostiziert wurde ( $2,6 \rightarrow 1,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Zusammenfassend konnte für VB nach vierwöchiger Trainingsphase anhand der Herzfrequenz und der Laktatwerte eine Ökonomisierung des Körpers bei gegebener Ausdauerbelastung diagnostiziert werden.

Trotz der relativ niedrigen Muskelmasse, welche primär beansprucht wird, können im Klettersport nach kurzer Belastungsdauer relativ hohe Herzfrequenzwerte festgestellt werden. Schöffl et al. [147] beobachten im Sportklettern bei Untersuchungen am Kletterergometer innerhalb der ersten Klettermetern eine Zunahme der Herzfrequenz auf durchschnittlich  $155 \pm 12 \text{ min}^{-1}$ . Als Ursache für diese Befunde wird in der Literatur die Reduzierung der lokalen Blutzirkulation (Ischämie) aufgrund der statischen Muskelarbeit herangezogen, welche zur

Auslösung des Metaboreflex führt, welcher eine Erhöhung der Herzfrequenz, des Blutdrucks und des Herzschlagvolumens hervorbringt [35,58,63,80,103,117,153].

Wird die Herzfrequenz als Marker für die Ökonomisierung des Gesamtorganismus eingesetzt, sollte in Betracht gezogen werden, dass die Herzfrequenz zahlreichen psycho-physischen Einflüssen und einer relativ hohen *day-to-day* Variabilität unterliegt [37,78]. Überdies konnten Studien aus dem Sportklettern einen Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und dem Schwierigkeitsgrad und der Länge einer Route beobachten [63,153,154,165]. Diese Befunde stimmen mit den Ergebnissen der Pilotstudie (vgl. 3.4 Forschungsstand der LOM) überein, wo mit zunehmender Länge und Schwierigkeit des Boulders ebenfalls eine erhöhte Herzfrequenz diagnostiziert wurde. Für weitere Einflussfaktoren und Studien aus dem Sportklettern wird erneut auf die Pilotstudie in Kapitel 3.4 verwiesen.

## **7 Hinweise für die Trainingspraxis und Ausblick**

In diesem Kapitel erfolgen abschließend in Anlehnung an die Befunde dieser Studie die Darstellung von Hinweisen für die Trainingspraxis und der Ausblick auf mögliche Forschungsthemen für zukünftige Studien im Bouldersport.

### **7.1 Hinweise für die Trainingspraxis**

Aufgrund maximaler Belastungsintensitäten und einer niedrigen Kletterhöhe sollten Wettkampfboulderer den Trainingsschwerpunkt auf die Steigerung der MAF und KAS legen. Überdies konnte in der Pilotstudie gezeigt werden, dass durch den Rotationsmodus auch die LOM als leistungsbestimmende Größe betrachtet werden kann. Kletterzeiten von 40 s und länger, mehrere Versuche an einem Boulder und eine geringe Pausendauer sowohl zwischen zwei Bouldern als auch zwischen den Versuchen an einem Boulder zeigen, dass die LOM in Ergänzung zur MAF und KAS trainiert werden sollte. Dabei sollten im Leistungssport die konditionellen Fähigkeiten Kraft und Ausdauer separat mithilfe von Trainingsblöcken trainiert werden, da ein gleichzeitiges Training der Kraft und Ausdauer aufgrund molekularer Interaktionen die Kraftzunahme behindern kann [81].

Zur Steigerung der MAF kann infolge der Untersuchungsergebnisse primär das Training am Hangboard und Vibrationsboard empfohlen werden. Dies ist dadurch zu erklären, dass am Hangboard und Vibrationsboard i.d.R. die Isolierung einer Griffart erfolgt und ohne Einsatz der Füße trainiert wird, sodass maximale Belastungsintensitäten (wirksamer Belastungsreiz) bis zur individuellen Ausbelastung gewährleistet werden können [82,110]. Auch wenn die Kraftzuwächse

wie in dieser Studie in relativ kurzer Zeit erfolgen können, sollten Leistungssteigerungen im Hinblick auf die Adaptation biologischer Strukturen und Systeme langfristig geplant werden [1]. Da die Kraftzuwächse am Hangboard und Vibrationsboard in Isolierung und nicht in Kombination mit koordinativen Fähigkeiten und Bewegungsfertigkeiten erfolgen, sind verzögerte Trainingseffekte im Hinblick auf die übergeordnete Boulderleistungsfähigkeit zu erwarten [82,110,148]. Eine wie in der Fachliteratur postulierte hohe Verletzungsgefahr durch das Training am Hangboard [82,110] kann anhand der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden, wobei beim Training am Hangboard eine ausreichend lange Regenerationszeit (48 Stunden) berücksichtigt werden und bei ersten Anzeichen von Übertraining oder Beschwerden eine sofortige Reduzierung der Belastung erfolgen sollte [70]. Durch Bouldern an der Boulderwand und am Moonboard sind im Vergleich zum Training am Hangboard und Vibrationsboard deutlich niedrigere Kraftzuwächse zu erwarten, obgleich die Kraftzuwächse hier nicht in Isolierung erfolgen, sondern zeitgleich auch taktische und technisch-koordinative Fähigkeiten trainiert werden können, wodurch ein höherer Transfer zwischen Kraftzuwachs und übergeordneter Boulderleistungsfähigkeit vermutet werden kann [82,110,158]. Geringere Kraftzuwächse sind primär durch die Randomisierung der Griffgrößen und -formen zu erklären.

Zur Steigerung der KAS kann ebenfalls das Training am Hangboard und Vibrationsboard empfohlen werden. Niedrigere Befunde beim Bouldern, Intervall Bouldern und beim Training am Moonboard sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass die *time under tension* und die Belastungsintensität der Armbeuger und der Muskeln des Schultergürtels nicht hoch genug sind, um vergleichbare Effekte wie beim Training am Hangboard und Vibrationsboard zu erzielen.

Zur Steigerung der LOM ist gemäß den Untersuchungsergebnissen primär das Intervall Bouldern zu empfehlen [82,110,158]. Das Training der LOM am Hangboard und Vibrationsboard ist aufgrund der Belastungsmonotonie überwiegend als Trainingsergänzung zum Intervall Bouldern zu empfehlen [82,114]. Konventionelles

Bouldern ist aufgrund der niedrigen Kletterhöhe und einer durchschnittlichen Anzahl von vier bis acht Klettergriffen nicht zur Steigerung der LOM geeignet. Weiterhin sollten auch taktische Maßnahmen wie die optimale Ausnutzung von Schüttelstellen und das schnelle Klettern durch schwere Kletterpassagen (*Pacing*) mit in die Trainingspraxis einfließen [20,102,138]. Auch der Einsatz aktiver Regenerationsmaßnahmen scheint im Wettkampfbouldern sinnvoll, um die Maximierung der Erholungsprozesse während den unvollständigen Pausen zu fördern.

Im Allgemeinen sind die Übungen am Hangboard und Vibrationsboard nach dem Prinzip der zunehmenden Spezialisierung auszuwählen [82]. Die Trainingsinhalte sollten an die spezifischen Anforderungen im Wettkampfbouldern angepasst werden. Für die Trainingspraxis können im Hinblick auf die Untersuchungsergebnisse die sportartspezifischen Übungen der vorliegenden Studie (Tabelle 45-47) empfohlen werden. To-Do Listen mit der Auflistung der Boulder, die in einem definierten Zeitraum geklettert werden sollen, sind beim Bouldern, Intervall Bouldern und beim Training am Moonboard zur Gewährleistung individueller Belastungsintensitäten und progressiver Belastungssteigerungen ebenfalls zu empfehlen.

Da die Leistungsfähigkeit im Bouldern neben den konditionellen Fähigkeiten auch die harmonische Abstimmung technischer, taktischer und mentaler Fähigkeiten voraussetzt [3,10,27,44,50,63,110,111,114,116,123,152,165], sollte das Training am Hangboard und Vibrationsboard in Ergänzung zum Bouldern durchgeführt werden [82,110]. Infolgedessen ist für die Trainingspraxis im Hinblick auf das Prinzip der regulierenden Wechselwirkung der einzelnen Trainingselemente eine Kombination von Bouldern und sportartspezifischem Krafttraining am Hangboard und Vibrationsboard zu empfehlen. Allgemein gültige Aussagen hinsichtlich der optimalen Konstellation der Trainingsinhalte können hier nicht erfolgen, da die Auswahl und zeitliche Abstimmung aller für die Zielsetzung relevanten Trainingsreize u.a. auch nach individuellen Voraussetzungen (e.g. Leistungsniveau,

Stärken und Schwächen) und in Abhängigkeit von persönlichen Zielen (Prinzip der Individualität) abzustimmen sind [78,82,110]. Überdies kann der erforderliche Reizinput in Abhängigkeit der Tagesform sowohl interindividuell als auch intraindividuell stark variieren [78]. Als metrische Richtlinie empfiehlt Hörst [82], dass im Leistungsbereich ca. 60% der Trainingsinhalte aus sportartspezifischen Übungen zur Verbesserung der MAF, der KAS und der LOM bestehen sollten. MacLeod [110] empfiehlt als Ergänzung zum Bouldern maximal drei Trainingseinheiten am Hangboard pro Trainingswoche (40-50 min / TE). Im Hinblick auf die Variation der Trainingsbelastung können zum Entgegenwirken von Akkomodationsprozessen überwiegend kurze Mesozyklen von etwa vier bis sechs Wochen empfohlen werden [82,100,102].

Für die Trainingssteuerung ist die klare Definition der Trainingsziele, die durch den Trainingsprozess erreicht werden sollen, für die kurz-, mittel- und langfristige Abstimmung und Ausführung aller Planungs- und Trainingsmaßnahmen von zentraler Bedeutung [1,78]. Überdies ist im Hinblick auf die Bestimmung eines Prioritätenkatalogs [78] mithilfe von einfachen Diagnostikverfahren eine Analyse der Ausgangssituation zu empfehlen [1,4]. Hier können die Testverfahren der vorliegenden Studie zur Bestimmung der MAF, der KAS und der LOM empfohlen werden, da sie prinzipiell in jeder Boulderhalle durchgeführt werden können.

In Tabelle 39 sind (a) die Wirkungsweise, (b) der Einsatzbereich und (c) die Eigenschaften der fünf untersuchten Trainingsmethoden im Überblick zusammengefasst. Die Tabelle liefert Hinweise (e.g. Leistungsniveau, Trainingsvariation, Individualität) im Hinblick auf den Einsatz der untersuchten Trainingsmethoden in der Trainingspraxis.

**Tabelle 39.** Wirkungsweise, Einsatzbereich und Eigenschaften der fünf Trainingsmethoden.

		BL	IB	MB	HB	VB
Kondition	MAF <sub>isoliert</sub>	0	0	0	+	++
	MAF <sub>funktional</sub>	+	+	+	+	++
	KAS	0	0	0	+	++
	LOM	0	++	0	+	+
Einsatzbereich	Anfänger	++	+	0	0	0
	Fortgeschrittene	++	+	0	+	0
	Elite	++	++	++	++	++
	Weltklasse	++	++	++	++	++
Eigenschaften der Trainingsmethoden	Zugänglichkeit	+	+	+	++	0
	Griffvariabilität	++	++	+	+	+
	Isolierung einer Griffart	+	0	+	++	++
	Trainingsvariation	++	+	+	0	0
	Kombination Kraft und Technik	++	+	+	0	0
	Wirksamer Belastungsreiz	+	+	+	++	++
	Progressive Belastungssteigerung	+	+	+	++	++
	Individualität	++	++	+	+	+

**Legende:**

Auswertung der *Kondition* in Anlehnung an die Untersuchungsergebnisse:

0 = trifft nicht zu,  $p > .05$ ; + = trifft zu,  $p \leq .05$ ; ++ = Höchstwert in Prozent der fünf Trainingsmethoden

Auswertung der Kategorien *Einsatzbereich* und *Eigenschaften* in Anlehnung an Hörst [82] und MacLeod [110]:

0 = trifft i.d.R. nicht zu; + = trifft zu; ++ = trifft besonders zu

Abkürzungen:

BL = Bouldern; IB = Intervall Bouldern; MB = Moonboard; HB = Hangboard; VB = Vibrationsboard.

MAF<sub>isoliert</sub>: Isolierte Maximalkraft der Fingermuskulatur; MAF<sub>funktional</sub>: Funktionale Maximalkraft der Fingermuskulatur; KAS: Kraftfähigkeit der Armbieger und der Schultergürtelmuskulatur; LOM: Lokale Muskelausdauer.

## 7.2 Ausblick

Für die  $MAF_{\text{isoliert}}$ , die  $MAF_{\text{funktional}}$ , die KAS und die LOM konnten in dieser Arbeit für VB im Vergleich zu HB auf deskriptiver Ebene nach vierwöchiger Trainingsdauer höhere Befunde diagnostiziert werden, welche auf inferenzstatistischer Ebene allerdings nicht belegt werden konnten. Tatsächlich konnte für VB im Vergleich zu HB nur beim MZW-Test eine signifikant höhere Steigerung nach vierwöchiger Trainingsphase festgestellt werden. Als mögliche Erklärung für diese Befunde wurde eine zu geringe Stichprobenhöhe angegeben, da diese für die Aussagekraft inferenzstatistischer Messverfahren maßgebend ist (die Varianz wird mit zunehmendem Stichprobenumfang geringer) [48,77,86,146]. Infolgedessen könnten in Zukunft weitere Studien mit einem höheren Stichprobenumfang und multizentrischen Stichproben die Wirkungsweise der fünf untersuchten Trainingsmethoden belegen und überprüfen, ob für das Training am Vibrationsboard im Vergleich zum Hangboard signifikant höhere Befunde für die MAF, die KAS und die LOM diagnostiziert werden könnten. Als weitere Erklärung für die nicht-signifikanten Befunde zwischen HB und VB wurden verzögerte Trainingseffekte vermutet, sodass weitere Studien die Entwicklung der MAF, der KAS und der LOM über einen längeren Zeitraum untersuchen könnten.

In Bezug auf die Gesamtstichprobe und die Bildung der fünf Trainingsgruppen, sollte in Erwägung gezogen werden, dass in der schließenden Statistik anhand einer Zufallsstichprobe versucht wird, Rückschlüsse für eine definierte Grundgesamtheit zu ermöglichen [48,146]. Da die untersuchte Teilgesamtheit nur für einen bestimmten Teil der Grundgesamtheit (in dieser Studie für fortgeschrittene Wettkampfboulderer) repräsentativ ist, könnten weitere Studien die Wirkungsweise der fünf Trainingsmethoden ebenfalls für den Breiten- und Hochleistungssport untersuchen. Nach wie vor bleibt nämlich ungeklärt, ob für leistungsschwächere oder leistungsstärkere Boulderer nach vierwöchiger Intervention ähnliche Befunde in Bezug auf die MAF, die KAS und die LOM diagnostiziert werden können. Diesbezüglich wären insbesondere Studien zur Überprüfung der Wirkungsweise der

fünf Trainingsmethoden im Hochleistungssport von Interesse, da aufgrund von Akkomodationsprozessen mit steigendem Leistungsniveau die Gewährleistung wirksamer Belastungsreize hier besonders schwierig ist [82,100,110]. Tendenziell ist anzunehmen, dass für Hochleistungsboulderer eine geringere Zunahme der MAF, der KAS und der LOM zu erwarten ist, da der menschliche Organismus mit steigendem Leistungsniveau zunehmend langsamer auf Trainingsreize im Bereich der konditionellen Fähigkeiten reagiert [100] und somit i.d.R. längere Interventionszeiträume für entsprechende Veränderungen zu erwarten sind [110]. Ergänzend hierzu könnten zukünftig auch Studien mit weiblichen Probanden durchgeführt werden, um zu untersuchen, ob für Frauen im Vergleich zu den vorliegenden Befunden bei männlichen Probanden ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der MAF, der KAS und der LOM beobachtet werden können.

Zukünftig könnten Studien auch neue Erkenntnisse darüber liefern, ob, in welchem Ausmaß und in welchem Zeitrahmen die untersuchten Trainingsmethoden zu einer Zunahme der übergeordneten Boulderleistungsfähigkeit beitragen. Die subjektive Selbsteinschätzung des Leistungsniveaus anhand eines Fragebogens wäre eine Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit im Bouldern zu überprüfen. Weiterhin könnten neue Studien überprüfen, inwiefern andere als die angewandten Trainingsinhalte zu unterschiedlichen Untersuchungsergebnissen beitragen könnten. So könnte eine zusätzliche Studie die Hypothese überprüfen, ob ein Training am Vibrationsboard an größeren Griffen im Vergleich zum Training am Hangboard an kleineren Griffen zu ähnlichen oder sogar höheren Steigerungen der MAF führen könnte. Auch das Bouldern mit Zusatzlasten (*Hypergravity Bouldering*), das Training am Campusboard oder das Training an der Systemwand könnten zukünftig erforscht werden.

## 8 Zusammenfassung

Wettkampfbouldern ist eine eigenständige Disziplin des Sportkletterns und beschreibt das seilfreie Klettern in Absprunghöhe an künstlichen Kletterwänden mit Fallschutzmatten zur Minimierung des Verletzungsrisikos. Seit den 1980er Jahren hat die Entstehung künstlicher Indooranlagen dazu beigetragen, dass sich das Bouldern zunehmend als eigenständige Wettkampfdisziplin etablieren konnte. Seither lässt sich im Bouldersport eine wachsende Leistungsdichte und eine Zunahme der Wettkämpfe auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene beobachten. Im Hinblick auf die Maximierung der individuellen Leistungsfähigkeit, rücken im modernen Wettkampfbouldern sportartspezifische Trainingsmethoden und -geräte zunehmend in den Mittelpunkt. Demgegenüber ist der trainingsbezogene Forschungsschwerpunkt im Wettkampfbouldern wissenschaftlich weitestgehend unberührt, sodass sich die Mehrzahl der angewandten Trainingsmethoden bislang einer fundierten wissenschaftlichen Grundlage entziehen und die Gestaltung der Trainingsinhalte nach wie vor ad libitum nach dem „*Trial-and-Error*“-Prinzip erfolgt.

Die vorliegende Studie verfolgt somit die Zielsetzung, die Wirkungsweise von Bouldern (BL), Intervall Bouldern (IB), dem Training am Moonboard (MB), Hangboard (HB) und Vibrationsboard (VB) auf die Maximalkraft der Fingermuskulatur (MAF), die Kraftfähigkeit der Armbeuger und der Muskeln des Schultergürtels (KAS) und die lokale Muskelausdauer der Fingerflexoren (LOM) zu untersuchen. 57 männliche Wettkampfboulderer wurden in die Trainingsgruppen BL ( $n = 12$ ), IB ( $n = 12$ ), MB ( $n = 11$ ), HB ( $n = 11$ ) und VB ( $n = 11$ ) aufgeteilt und absolvierten 12 Trainingseinheiten über einen Untersuchungszeitraum von vier Wochen. Die Datenerhebung erfolgte mithilfe von Pre- und Posttests mit einer Dauer von jeweils 120 min.

Nach vierwöchiger Interventionsphase konnte für VB und HB eine signifikante Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  beobachtet werden, während für BL, IB und MB keine

signifikante Zunahme festgestellt wurde. In Bezug auf die KAS konnte für VB und HB eine signifikante Steigerung beim Klimmzug-Test, beim Tabata-Protokoll und beim MZW-Test beobachtet werden, aber nicht für BL, IB und MB. Und für die LOM konnte für IB und VB eine signifikante Zunahme der KIA festgestellt werden, während für BL, MB und HB keine signifikante Steigerung diagnostiziert wurde.

Diesen Untersuchungsergebnissen zufolge kann zusammenfassend festgehalten werden, dass zur Steigerung der  $MAF_{\text{isoliert}}$  das Training am Hangboard und Vibrationsboard empfohlen werden kann, was dadurch erklärt werden kann, dass am Hangboard und Vibrationsboard die Isolierung einer Griffart mit maximalen Belastungsintensitäten bis zur individuellen Ausbelastung erfolgt. Weiterhin kann zur Steigerung der KAS ebenfalls das Training am Hangboard und Vibrationsboard empfohlen werden, während die *time under tension* und die Belastungsintensität der Armbeuger und der Muskeln des Schultergürtels beim Bouldern, Intervall Bouldern und beim Training am Moonboard nicht hoch genug sind, um vergleichbare Effekte wie beim Training am Hangboard und Vibrationsboard zu erzielen. Und schließlich kann zur Steigerung der LOM das Intervall Bouldern und das Training am Vibrationsboard eingesetzt werden, während Bouldern und das Training am Moonboard aufgrund der niedrigen Kletterhöhe und einer durchschnittlichen Anzahl von vier bis acht Klettergriffen nicht zur Steigerung der LOM geeignet sind.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Albesa, C., Lloveras, P. (2001). Klettertraining. Optimierung der motorischen, konditionellen und mentalen Fähigkeiten. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH.
- [2] Albrand, V. (2012). La poutre en long, en large et en travers. *Grimper. Le magazine de l'escalade*, 141 (08/09), 26-28.
- [3] Albrand, V. (2012). Les secrets de la progression. *Grimper. Le magazine de l'escalade*, 141 (08/09), 50-55.
- [4] Altner, J. (2014). Klettern 2014. Nationales Regelwerk. Version 1-2014. München: Deutscher Alpenverein.
- [5] Amca, A. M., Vigouroux, L., Aritan, S., Berton, E. (2012). Effect of hold depth and grip technique on maximal finger forces in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, 30 (7), 669-677. doi: 10.1080/02640414.2012.658845
- [6] Amca, A. M., Vigouroux, L., Aritan, S., Berton, E. (2012). The effect of chalk on the finger-hold friction coefficient in rock climbing. *Sports Biomechanics*, 11(4), 473-479. doi: 10.1080/14763141.2012.724700
- [7] American Psychological Association (2011). Concise Rules of APA Style. The official pocket style guide from the American Psychological Association. Sixth Edition. Washington: American Psychological Association.
- [8] American Psychological Association (2011). Publication Manual of the American Psychological Association. Sixth Edition. Washington: American Psychological Association.
- [9] Appell, H., Stang-Voss, C. (2005). Funktionelle Anatomie. Grundlagen sportlicher Leistung und Bewegung. 3., überarbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- [10] Balás, J., Pecha, O., Martin, A. J., Cochrane, D. (2012). Hand-arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, 12(1), 16-25. doi: 10.1080/17461391.2010.546431
- [11] Balás, J., Strejcová, B., Malý, T., Malá, L., Martin, A. J. (2009). Changes in upper body strength and body composition after 8 weeks indoor climbing in youth. *Isokinetics and Exercise Science*, 17, 173-179. doi: 10.3233/IES-2009-0350
- [12] Bannister, P., Foster, P. (1986). Upper limb injuries associated with rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 20(2), 55.
- [13] Barroso, R., Roschel, H., Ugrinowitsch, C., Araújo, R., Nosaka, K., Tricoli, V. (2010). Effect of eccentric contraction velocity on muscle damage in repeated bouts of elbow flexor exercise. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 35, 534-540. doi: 10.1139/H10-042
- [14] Baumstieger, M. (2014). Bouldern. Die Nachfrage klettert. *Neue Zürcher Zeitung*, 14/03, 1-4.
- [15] Benninghoff, A., Drenckhahn, D. (2008). Anatomie. Band 1. Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie. 17. Auflage. München: Elsevier (Urban & Fischer Verlag).
- [16] Bertuzzi, R. C., Franchini, E., Kokubun, E., Kiss, M. A. (2007). Energy system

- contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 293-300. doi: 10.1007/s00421-007-0501-0
- [17] Billat, V., Palleja, P., Charlaix, T., Rizzardo, P., Janel, N. (1995). Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35, 20-24.
- [18] Bolker, J. (1998). Writing your dissertation in fifteen minutes a day. A guide to starting, revising, and finishing doctoral thesis. New York: Henry Holt and Company.
- [19] Bollen, S. R. (1988). Soft tissue injury in extreme rock climbers. *British Journal of Sports Medicine*, 22, 145-147. doi: 10.1136/bjism.22.4.145
- [20] Booth, J., Marino, F., Hill, C., Gwinn, T. (1999). Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *British Journal of Sports Medicine*, 33, 14-18.
- [21] Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt*, 101 (15), 1016-1021.
- [22] Bosco, C., Cardinale, M., Tarpela, O. (1999). Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 79, 306-311.
- [23] Bourne, R., Halaki, M., Vanwanseele, B., Clarke, J. (2011). Measuring lifting forces in rock climbing: Effect of hold size and fingertip structure. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 40-46.
- [24] Brancaccio, P., Maffulli, N., Limongelli, F. M. (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin*, 81-82, 209-230. doi: 10.1093/bmb/ldm014
- [25] Brent, S., Draper, N., Hodgson, C., Blackwell, G. (2009). Development of a performance assessment tool for rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 9(3), 159-167. doi: 10.1080/17461390902741132
- [26] Bühl, A. (2012). SPSS 20. Einführung in die moderne Datenanalyse. 13., aktualisierte Auflage. München: Pearson Deutschland GmbH.
- [27] Burmester, S., Köstermeyer, G. (2010). Jenseits der Klimmzüge: Klettertraining Gestern und Heute. *Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls*, 09/2010, 42-46.
- [28] Cardinale, M., Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(1), 3-7. doi: 0091-6631/3101/3-7
- [29] Chen, H. L., Nosaka, K., Pearce, A. J., Chen, T. C. (2012). Two maximal isometric contractions attenuate the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37, 680-689. doi: 10.1139/H2012-035
- [30] Clarkson, P. M., Litchfield, P., Graves, J., Kirwan, J., Byrnes, W. C. (1985). Serum creatine kinase activity following forearm flexion isometric exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53(4), 368-371.
- [31] Clarkson, P. M., Nosaka, K., Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 512-520. doi: 0195-9131/92/2405-12S3.00/0

- [32] Cole, A. T. (1990). Fingertip injuries in rock climbers. *British Journal of Sports Medicine*, 24, 14. doi: 0306-3674/90/010014-01
- [33] Couto, B. P., Silva, H. R., Filho, A. G., Neves, S. R., Szmuchrowski, L. A., Barbosa, M. P. (2013). Acute effects of resistance training with local vibration. *International Journal of Sports Medicine*, 34, 814-819. doi: 10.1055/s-0032-1331198
- [34] Cutts, A., Bollen, S. R. (1993). Grip strength and endurance in rock climbers. *Journal of Engineering in Medicine*, 207, 87-92. doi: 10.1243/PIME\_PROC\_1993\_207\_275\_02
- [35] De Geus, B., Villanueva-O'Driscoll, S., Meeusen, R. (2006). Influence of climbing style on physiological responses during indoor rock climbing on routes with the same difficulty. *European Journal of Applied Physiology*, 98, 489-496. doi: 10.1007/s00421-006-0287-5
- [36] Delecluse, C., Roelants, M., Verschueren, S. (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(6), 1033-1041. doi: 10.1249/01.MSS.0000069752.96438.B0
- [37] De Marées, H. (2003). Sportphysiologie. Korrigierter Nachdruck der 9., vollständig überarbeiteten und erweiterten Auflage. Köln: Sportverlag Strauss.
- [38] De Salles, B. F., Simão, R., Miranda, F., Novaes, J. S., Lemos, A., Willardson, J. M. (2009). Rest interval between sets in strength training. *Sports Medicine*, 39(9), 765-777. doi: 10.2165/11315230-000000000-00000
- [39] Dickson, T., Fryer, S., Blackwell, G., Draper, N., Stoner, L. (2012). Effect of style of ascent on the psychophysiological demands of rock climbing in elite level climbers. *Sports Technology*, 5(3-4), 111-119. doi: 10.1080/19346182.2012.686504
- [40] Di Giminiani, R., Tihanyi, J., Safar, S., Scrimaglio, R. (2009). The effects of vibration on explosive and reactive strength when applying individualized vibration frequencies. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 169-177. doi: 10.1080/02640410802495344
- [41] Donath, L., Roesner, K., Schöffl, V., Gabriel, H. H. (2011). Work-relief ratios and imbalances of load application in sport climbing: Another link to overuse-induced injuries? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23, 406-414. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01399.x
- [42] Draper, N., Bird, E. L., Coleman, I., Hodgson, C. (2006). Effects of active recovery on lactate concentration, heart rate and RPE in climbing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 97-105.
- [43] Draper, N., Brent, S., Hale, B., Coleman, I. (2006). The influence of sampling site and assay method on lactate concentration in response to rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 98, 363-372. doi: 10.1007/s00421-006-0289-3
- [44] Draper, N., Brent, S., Hodgson, C., Blackwell, G. (2009). Flexibility assessment and the role of flexibility as a determinant of performance in rock climbing. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 9, 67-89.

- [45] Draper, N., Canalejo, J. C., Fryer, S., Dickson, T., Winter, D., Ellis, G., Hamlin, M., Shearman, J., North, C. (2011). Reporting climbing grades and grouping categories for rock climbing. *Isokinetics and Exercise Science*, *19*, 273-280. doi: 10.3233/IES-2011-0424
- [46] Draper, N., Dickson, T., Blackwell, G., Fryer, S., Priestley, S., Winter, D., Ellis, G. (2011). Self-reported ability assessment in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, *29* (8), 851-858. doi: 10.1080/02640414.2011.565362
- [47] Draper, N., Dickson, T., Blackwell, G., Priestley, S., Fryer, S., Marshall, H., Shearman, J., Hamlin, M., Winter, D., Ellis, G. (2011). Sport-specific power assessment for rock climbing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *51*, 417-425.
- [48] Duller, C. (2013). Einführung in die Statistik mit Excel und SPSS. Ein anwendungsorientiertes Lehr- und Arbeitsbuch. 3., überarbeitete Auflage. Berlin: Springer Gabler.
- [49] Eklund, G., Hagbarth, K. E. (1966). Normal variability of tonic reflexes in man. *Experimental Neurology*, *16*(1), 80-92.
- [50] Espana-Romero, V., Jensen, R. L., Sanchez, X., Ostrowski, M. L., Szekely, J. E., Watts, P. B. (2012). Physiological responses in rock climbing with repeated ascents over a 10-week period. *European Journal of Applied Physiology*, *112*, 821-828. doi: 10.1007/s00421-011-2022-0
- [51] Espana-Romero, V., Ortega Porcel, F. B., Artero, E. G., Jiménez-Pavón, D., Sainz, Á. G., Castillo Garzón, M. J., Ruiz, J.R. (2009). Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high-level sport climbers. *European Journal of Applied Physiology*, *107*, 517-525. doi: 10.1007/s00421-009-1155-x
- [52] Fabian, K. Trainingssteuerung mit dem Blutparameter Kreatinkinase. Aus der Praxis der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung am Institut für Sport- und Rehabilitationsmedizin der Technischen Universität Dresden. Download: <http://www.uniklinikum-dresden.de/das-klinikum/kliniken-polikliniken-institute/ort/sportmedizin/service/TSCCK.pdf>.
- [53] Fachina, R., Da Silva, A., Falcão W., Montagner, P., Borin, J., Minozzo, F., Falcão, D., Vancini, R., Poston, B., De Lira, C. (2013). The influence of whole-body vibration on creatine kinase activity and jumping performance in young players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *84*, 503-511. doi: 10.1080/02701367.2013.843399
- [54] Fanchini, M., Violette, F., Impellizzeri, F. M., Maffiuletti, N. A. (2013). Differences in climbing-specific strength between boulder and lead rock climbers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(2), 310–314.
- [55] Ferguson, R. A., Brown, M. D. (1997). Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic isometric exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *European Journal of Applied Physiology*, *76*, 174-180.
- [56] Fernandez-Gonzalo, R., Lundberg, T. R., Alvarez-Alvarez, L., De Paz, J. A. (2014). Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. *European Journal of Applied*

- Physiology*, 114, 1075-1084. doi: 10.1007/s00421-014-2836-7
- [57] Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. 4<sup>th</sup> edition. London: Sage Publications Inc.
- [58] Fryer, S., Dickson, T., Draper, N., Eltom, M., Stoner, L., Blackwell, G. (2012). The effect of technique and ability on the VO<sub>2</sub>-heart rate relationship in rock climbing. *Sports Technology*, 5(3-4), 143-150. doi: 10.1080/19346182.2012.755538
- [59] Fryer, S., Draper, N., Dickson, T., Blackwell, G., Winter, D., Ellis, G. (2011). Comparison of lactate sampling sites for rock climbing. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 428-432. doi: 10.1055/s-0031-1271712
- [60] Fuss, F. K., Niegl, G. (2008). Instrumented climbing holds and performance analysis in sport climbing. *Sports Technology*, 1(6), 301-313. doi: 10.1002/jst.71
- [61] Fuss, F. K., Niegl, G. (2012). The importance of friction between hand and hold in rock climbing. *Sports Technology*, 5(3-4), 90-99. doi: 10.1080/19346182.2012.755539
- [62] Gerodimos, V., Zafeiridis, A., Karatrantou, K., Vailopoulou, T., Chanou, K., Pispirikou, E. (2010). The acute effects of different whole-body vibration amplitudes and frequencies on flexibility and vertical jumping performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 438-443. doi: 10.1016/j.jsams.2009.09.001
- [63] Giles, L. V., Rhodes, E. C., Taunton, J. E (2006). The physiology of rock climbing. *Sports Medicine*, 36(6), 529-545.
- [64] Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *The Journal of Physiology*, 558, 5-30. doi: 10.1113/jphysiol.2003.058701
- [65] Goddard, D., Neumann, U. (1994). *Performance Rock Climbing*. Mechanicsburg: Stackpole Books.
- [66] Goebel, R. (2006). *Effekte von Teilkörpervibrationen auf Muskelkräftigung- und dehnung*. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Sportwissenschaft. Deutsche Sporthochschule Köln.
- [67] Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A., Aitchison, T. (1996). Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *Journal of Sports Sciences*, 14, 301-309. doi: 10.1080/0264419608727715
- [68] Grant, S., Shields, C., Fitzpatrick, V., Ming Loh, W., Whitaker, A., Watt, I., Kay, J. W. (2003). Climbing-specific finger endurance: a comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals. *Journal of Sports Sciences*, 21, 621-630. doi: 10.1080/0264041031000101953
- [69] Guyon, L., Broussouloux, O. (2004). *Escalade et performance. Préparation et entraînement*. Paris: Editions Amphora.
- [70] Haleva, Y. (2005). *Mögliche Einflussfaktoren eines Vibrationstrainings auf die Maximalkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer*. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Sportwissenschaften. Deutsche Sporthochschule Köln.

- [71] Harriss D. J., Atkinson, G. (2013). Ethical standards in sport and exercise science research: 2014 Update. *International Journal of Sports Medicine*, 34, 1025-1028. doi: 10.1055/s-0033-1358756
- [72] Hatch, T. Rules 2013. International Climbing competitions. International Federation of Sport Climbing.
- [73] Hatzinger, R., Nagel, H. (2009). PASW Statistics. Statistische Methoden und Fallbeispiele. München: Pearson Studium.
- [74] Heled, Y., Bloom, M. S., Wu, T. J., Stephens, Q., Deuster, P. A. (2007). CM-MM and ACE genotypes and physiological prediction of the creatine kinase response to exercise. *Journal of Applied Physiology*, 103, 504-510. doi: 10.1152/japphysiol.00081.2007
- [75] Heyman, E., De Geus, B., Mertens, I., Meeusen, R. (2009). Effects of four recovery methods on repeated maximal rock climbing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 1303-1310. doi: 10.1249/MSS.0b013e318195107d
- [76] Hochholzer, T., Schöffl, V. (2001). So weit die Hände Greifen. Sportklettern. Ein Medizinischer Ratgeber. Ebenhausen: Lochner-Verlag.
- [77] Hoffmann, U., Orthmann, P. (2009). Schnellkurs Statistik mit Hinweisen zur SPSS-Benutzung. Köln: Sportverlag Strauß.
- [78] Hohmann, A., Lames, M., Letzelter, M. (2010). Einführung in die Trainingswissenschaft. 5. Auflage. Wiebelsheim: Limpert Verlag GmbH.
- [79] Holfelder, B., Bubeck, D. (2012). Theoretische Betrachtungen über die Trainingssteuerung anhand des Laktatstoffwechsels und der Muskelfasertypisierung. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 60(1), 32-39.
- [80] Hollmann, W., Strüder, H. K. (2009). Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin. 5., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Schattauer GmbH.
- [81] Hoppeler, H., Baum, O., Mueller, M., Lurman, G. (2011). Molekulare Mechanismen der Anpassungsfähigkeit der Skelettmuskulatur. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 59(1), 6-13.
- [82] Hörst, E. J. (2008). Training for climbing. The definitive guide to improve your performance. Second edition. Guilford: Falcon Guides.
- [83] Iodice, P., Bellomo, R. G., Gialluca, G., Fanò, G., Saggini, R. (2011). Acute and cumulative effects of focused high-frequency vibrations on the endocrine system and muscle strength. *European Journal of Applied Physiology*, 111, 897-904. doi: 10.1007/s00421-010-1677-2
- [84] Issurin, V. B., Liebermann, D. G., Tenenbaum, G. (1994). Effect of vibration training on maximal force and flexibility. *Journal of Sports Sciences*, 12, 561-566.
- [85] Issurin, V. B., Tenenbaum, G. (1999). Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of Sports Sciences*, 17, 177-182.
- [86] Janssen, J., Laatz, W. (2013). Statistische Datenanalyse mit SPSS. Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul

- exakte Tests. 8. Auflage. Berlin: Springer Gabler.
- [87] Jensen, L., Bangsbo, J., Hellsten, Y. (2004). Effect of high intensity training on capillarization and presence of angiogenic factors in human skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 557(2), 571-582. doi: 10.1113/jphysiol.2003.057711
- [88] Jones, G., Asghar, A., Llewellyn, D. J. (2008). The epidemiology of rock-climbing injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 42(9), 773-778. doi: 10.1136/bjism.2007.037978
- [89] Jordan, M. J., Norris, S. R., Smith, D. J., Herzog, W. (2005). Vibration training: An overview of the area, training consequences, and future considerations. *Journal of Strength Conditioning Research*, 19(2), 459-466.
- [90] Josephsen, G., Shinneman, S., Tamayo-Sarver, J., Josephsen, K., Bouleware, D., Hunt, M., Pham, H. (2007). Injuries in bouldering: A prospective study. *Wilderness and Environmental Medicine*, 18, 271-280.
- [91] Kern, S. (2009). Der 12. Grad. *Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls*, 06, 22-31.
- [92] Kern, S. (2014). Livin' Large. Interview mit Nalle Hukkataival. *Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls*, 05, 32-38.
- [93] Kern, S. (2014). Wie die Pilze. Deutschlands Boulderhallen-Boom. *Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls*, 04, 26-29.
- [94] Kleinert, J. (2006). Adjektivliste zur Erfassung der wahrgenommenen körperlichen Verfassung (WKV). Skalenkonstruktion und erste psychometrische Befunde. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 13(4), 156-164.
- [95] Kleinöder, H. (2009). Vibration training in elite tennis. *ITF Coaching and Sport Science Review*, 15(47), 2-4.
- [96] Kleinöder, H., Wortmann, L., Behringer, M., Mester, J. (2011). Abschlussbericht zur Vibrationskurzhantel BodyVib D1. Deutsche Sporthochschule Köln. Download: [http://www.pro-effect.com/studie\\_der\\_sporthochschule\\_koln\\_zur\\_vibrationshantel\\_d1.pdf](http://www.pro-effect.com/studie_der_sporthochschule_koln_zur_vibrationshantel_d1.pdf).
- [97] Kleinöder, H., Ziegler, J., Bosse, C., Mester, J. (2003). Safety considerations in vibration training. Proceedings on the 8th annual congress of the ECSS, 377-378. Download: <http://www.vibratrim.net/PDF/Safety%20considerations%20in%20vibration%20training.pdf>.
- [98] Koch, A. J., Pereira, R., Machado, M. (2014). The creatine kinase response to resistance exercise. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 14(1), 68-77.
- [99] Köstermeyer, G. (2000). Bestimmung, Bedeutung und Training der lokalen Kraftausdauer der Fingerbeuger im Sportklettern. Neuried: Ars Una Verlagsgesellschaft mbH.
- [100] Köstermeyer, G. (2009): Skript "Trainingslehre" für die DAV Trainerausbildung im Klettersport. Unveröffentlichte Arbeit. Deutscher Alpenverein.
- [101] Labreveux, F. (2012). Comment mieux tenir les plats? *Grimper. Le magazine de l'escalade*, 141(08/09), 34-36.
- [102] Labreveux, F. (2012). Rési, quand tu nous tiens! *Grimper. Le magazine de l'escalade*, 141(08/09), 38-40.

- [103] La Torre, A., Crespi, D., Serpiello, F. R., Merati, G. (2009). Heart rate and blood lactate evaluation in bouldering athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49, 19-24.
- [104] Limonta, E., Cè, E., Veicsteinas, A., Esposito, F. (2008). Force control during fatiguing contractions in elite rock climbers. *Sport Sciences for Health*, 4, 37-42. doi: 10.1007/s11332-008-0065-3
- [105] López-Rivera, E., González-Badillo, J. J. (2012). The effects of two maximum grip strength training methods using the same effort duration and different edge depth on grip endurance in elite climbers. *Sports Technology*, 1-11. doi: 10.1080/19346182.2012.716061
- [106] Lorenzen, C., Maschette, W., Koh, M., Wilson, C. (2009). Inconsistent use of terminology in whole body vibration exercise research. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 676-678. doi: 10.1016/j.jsams.2008.06.008
- [107] Luo, J., McNamara, B., Moran, K. (2005). The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Medicine*, 35(1), 23-41.
- [108] Macdonald, J. H., Callender, N. (2011). Athletic profile of highly accomplished boulderers. *Wilderness and Environmental Medicine*, 22, 140-143.
- [109] Machado, M., Willardson, J. M., Silva, D. P., Frigulha, I. C., Koch, A. J., Souza, S. C. (2012). Creatine kinase activity weakly correlates to volume completed following upper body resistance exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83(2), 276-281.
- [110] MacLeod, D. (2010). 9 out of 10 climbers make the same mistakes. *Navigation through the maze of advice for the self-coached climber*. Scotland: Rare Breed Productions.
- [111] MacLeod, D., Sutherland, D. L., Buntin, L., Whitaker, A., Aithchison, T., Watt, I., Bradley, J., Grant, S. (2007). Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *Journal of Sports Sciences*, 25(12), 1433-1443. doi: 10.1080/02640410600944550
- [112] Magiera, A., Rocznik, R., Maszczyk, A., Czuba, M., Kantyka, J., Kurek, P. (2013). The structure of performance of a sport rock climber. *Journal of Human Kinetics*, 36, 107-117. doi: 10.2478/hukin-2013-0011
- [113] Massy-Westropp, N. M., Gill, T. K., Taylor, A. W., Bohannon, R. W., Hill, C. L. (2011). Hand Grip Strength: age and gender stratified normative data in a population-based study. *BMC Research Notes*, 4(127), 1-5.
- [114] Medernach, J. (2012). Einsatz des Hangboards im Klettersport. Trainingstool zur Steigerung der Maximalkraft und der lokalen Kraftausdauer. Saarbrücken: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG.
- [115] Mendes Ritti-Dias, R., Averlar, A., Péricles Salvador, E., Serpeloni Cyrino, E. (2011). Influence of previous experience on resistance training on reliability of one-repetition maximum test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1418-1422.
- [116] Mermier, C. M., Janot, J. M., Parker, D. L., Swan, J. G. (2000). Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *British Journal of Sports Medicine*, 34, 359-365.
- [117] Mermier, C. M., Robergs, R. A., McMinn, S. M., Heyward, V. H. (1997).

- Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 31, 224-228.
- [118] Mester, J., Kleinöder, H., Yue, Z. (2006). Vibration training: benefits and risks. *Journal of Biomechanics*, 39, 1056-1065. doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.02.015
- [119] Miles, J., Shevlin, M. (2000). Applying Regression & Correlation - A guide for students and researchers. London: Sage Publications.
- [120] Morenas Martin, J., Del Campo, V. L., Leyton Román, M. L., Gómez-Valadés Horrillo, J. M., Gómez Navarrette, J. S. (2013). Description of the finger mechanical load of climbers of different levels during different hand grips in sport climbing. *Journal of Sports Sciences*, 31(15), 1713-1721. doi: 10.1080/02640414.2013.797592
- [121] Muehlbauer, T., Stuerchler, M., Granacher, U. (2012). Effects of climbing on core strength and mobility in adults. *International Journal of Sports Medicine*, 33, 445-451. doi: 10.1055/s-0031-1301312
- [122] Neumann, U. (2003). Lizenz zum Klettern 2.5. Köln: Udini Verlag.
- [123] Neumann, U. (2010). Lizenz zum Bouldern. Köln: Udini Verlag.
- [124] Niegl, G. (2009). Bouldering: one of the last sports defying technology? Interview with Kilian Fischhuber. *Sports Technology*, 2(3-4), 63-65.
- [125] Noé, F., Quaine, F., Martin, L. (2001). Influence of steep gradient supporting walls in rock climbing: biomechanical analysis. *Gait and Posture*, 13, 86-94.
- [126] Nosaka, K., Newton, M., Sacco, P. (2002). Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(6), 920-927.
- [127] Osawa, Y., Oguma, Y. (2011). Effects of whole-body vibration on resistance training for untrained adults. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10, 328-337.
- [128] Perez-Gomez, J., Calbet, J. A. (2013). Training methods to improve vertical jump performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53, 339-357.
- [129] Philippe, M., Wegst, D., Müller, T., Raschner, C., Burtscher, M. (2011). Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 2839-2847. doi: 10.1007/s00421-011-2260-1
- [130] Philippou, A., Maridaki, M., Bogdanis, G. C. (2003). Angle-specific impairment of elbow flexors strength after isometric exercise at long muscle length. *Journal of Sports Sciences*, 21, 859-865. doi: 10.1080/0264041031000140356
- [131] Pieber, K., Angelmaier, L., Csapo, R., Herceg, M. (2012). Acute injuries and overuse syndromes in sport climbing and bouldering in Austria: a descriptive epidemiological study. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 124, 352-362. doi: 10.1007/s00508-012-0174-5
- [132] Pires, F. O., Lima-Silva, A. E., Hammond, J., Franchini, E., Dal'Molin Kiss, M. A., Bertuzzi, R. (2011). Aerobic profile of climbers during maximal arm test. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 122-125. doi: 10.1055/s-0030-1268007

- [133] Quaine, F., Vigouroux, L. (2004). Maximal resultant four fingertip force and fatigue of the extrinsic muscles of the hand in different sport climbing finger grips. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 634-637. doi: 10.1055/s-2004-821117
- [134] Quaine, F., Vigouroux, L., Martin, L. (2003). Finger flexors fatigue in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 24, 424-427.
- [135] Quaine, F., Vigouroux, L., Paclet, F., Colloud, F. (2011). The thumb during the crimp grip. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 49-53. doi: 10.1055/s-0030-1267230
- [136] Ritzmann, R., Kramer, A., Bernhardt, S., Gollhofer, A. (2014). Whole body vibration training - improving balance control and muscle endurance. *Plos One*, 9(2), 1-9.
- [137] Robbins, J. L., Duscha, B. D., Bensimhon, D. R., Wasserman, K., Hansen, J. E., Houmard, J. A., Annex, B. H., Kraus, W. E. (2009). A sex-specific relationship between capillary density and anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology*, 106(4), 1181-1186. doi: 10.1152/jappphysiol.90947.2008
- [138] Roberts, H. C., Denison, H. J., Martin, H. J., Patel, H. P., Syddall, H., Cooper, C., Sayer, A. A. (2011). A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: towards a standardised approach. *Age and Ageing*, 49(4), 423-429. doi: 10.1093/ageing7afr051
- [139] Rodio, A., Fattorini, L., Rosponi, A., Quattrini, F. M., Marchetti, M. (2008). Physiological adaptation in noncompetitive rock climbers: Good for aerobic fitness? *Journal of Strength Conditioning Research*, 22(2), 359-364.
- [140] Rosponi, A., Schena, F., Leonardi, A., Tosi, P. (2012). Influence of ascent speed on rock climbing economy. *Sports Sciences for Health*, 7, 71-80. doi: 10.1007/s11332-012-0115-8
- [141] Sanchez, X., Boschker, M. S., Llewellyn, D. J. (2010). Pre-performance psychological states and performance in an elite climbing competition. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20, 356-363. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00904.x
- [142] Sanchez, X., Lambert, P., Jones, G., Llewellyn, D. J. (2012). Efficacy of pre-ascent climbing route visual inspection in indoor sport climbing. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22, 67-72. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01151.x
- [143] Schädle-Schardt, W. (1998). Die zeitliche Gestaltung von Belastung und Entlastung im Wettkampfklettern als Element der Trainingssteuerung. *Leistungssport*, 1, 23-28.
- [144] Schiffer, T., Geisler, S., Knicker, A., Mierau, A. (2010). Einführung in das Krafttraining. Köln: Sportverlag Strauß.
- [145] Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. (2008). Trainingswissenschaft. Leistung, Training, Wettkampf. Aachen: Meyer und Meyer.
- [146] Schnell, R., Hill, P. B., Esser, E. (2011), Methoden der empirischen Sozialforschung. 9., aktualisierte Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- [147] Schöffl, V. R., Möckel, F., Köstermeyer, G., Roloff, I., Küpper, T. (2006).

- Development of a performance diagnosis of the anaerobic strength endurance of the forearm flexor muscles in sport climbing. *International Journal of Sports Medicine*, 27(3), 205-211. doi: 10.1055/s-2005-837622
- [148] Schweizer, A., Bircher, H. P. (2012). Injuries to the upper extremity in rock-climbers. *Sports Technology*, 5(3-4), 77-89. doi: 10.1080/19346182.2012.686506
- [149] Schweizer, K., Boller, E., Braun, G. (1996). Der Einfluß von Klassifikationsverfahren, Stichprobengröße und strukturellen Datenmerkmalen auf die Klassifizierbarkeit von Variablen. *Methods of Psychological Research Online*, 1(4), 87-100.
- [150] Schweizer, A., Furrer, M. (2007). Correlation of forearm strength and sport climbing performance. *Isokinetics and Exercise Science*, 15, 211-216.
- [151] Schweizer, A., Hudek, R. (2011). Kinetics of crimp and slope gripe in rock climbing. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(2), 116-215.
- [152] Schweizer, A., Schneider, A., Goehner, K. (2007). Dynamic eccentric-concentric strength training of the finger flexors to improve rock climbing performance. *Isokinetics and Exercise Science*, 15, 131-136.
- [153] Sheel, A. W. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 355–359. doi: 10.1136/bjism.2003.008169
- [154] Sheel, A. W., Seddon, N., Knight, A., McKenzie, D. C., Warburton, D. E. (2003). Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal cycle ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(7), 1225-1231. doi: 10.1249/01.MSS.0000074443.17247.05
- [155] Stewart, J. A., Cochrance, D. J., Morton, R. H. (2009). Differential effects of whole body vibration durations on knee extensor strength. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 50-53. doi: 10.1016/j.jsams.2007.09.005
- [156] Stöhr, R., Neumann, U. (2007). Das Experiment. *Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls*, 12/01, 66-70.
- [157] Stöhr, R. (2011). Griffbrett-Training. Lords of the boards. *Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls*, 05, 64-65.
- [158] Stöhr, R. (2012). Volle Kraft voraus. Was beim Bouldertraining zählt. *Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls*, 12/01, 64-67.
- [159] Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., Yamamoto, K., (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Medicine and Science in Sports and Exercises*, 28(10), 1327-1330.
- [160] Tavakol, M., Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53-55. doi: 10.5116/ijme.4dfb.8dfd
- [161] Ušaj, A., Jereb, B., Robi, P., Von Duvillard, S. P. (2007). The influence of strength-endurance training on the oxygenation of isometrically contracted forearm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 100, 685-692. doi: 10.1007/s00421-007-0461-4
- [162] Vigouroux, L. Quaine, F. (2006). Fingertip force and electromyography of finger flexor muscle during a prolonged intermittent exercise in elite climbers and sedentary individuals. *Journal of Sports Sciences*, 24, 181-186.

- doi: 10.1080/02640410500127785
- [163] Vigouroux, L., Quaine, F., Labarre-Vila, A., Moutet, F. (2006). Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. *Journal of Biomechanics*, 39, 2583-2592. doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.08.027
- [164] Watanabe, T., Owashi, K., Kanauchi, Y., Mura, N., Takahara, M. Ogino, T. (2005). The short-term reliability of grip strength measurement and the effects of posture and grip strength. *Journal of Hand Surgery*, 30(39), 603-609.
- [165] Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 91, 361-372. doi: 10.1007/s00421-003-1036-7
- [166] Watts, P. B., Daggett, M., Gallagher, P., Wilkins, B. (2000). Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 185-190.
- [167] Watts, P. B., Jensen, R. L., Agena, S. M., Majchrzak, J. A., Schellinger, R. A., Wubbels, C. S. (2008). Changes in EMG and finger force with repeated hangs from the hands in rock climbers. *International Journal of Exercise Science*, 1(2), 62-70.
- [168] Watts, P. B., Jensen, R. L., Gannon, E., Kobeinia, R., Maynard, J., Sansom, J. (2008). Forearm EMG during rock climbing differs from EMG during handgrip dynamometry. *International Journal of Exercise Science*, 1(1), 4-13.
- [169] Weltärztebund (WMA). Deklaration von Helsinki. Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen. BÄK Deutsche Übersetzung 2008.
- [170] Werle, S., Goldhahn, J., Drerup, S., Simmen, B. R., Sprott, H., Herren, D. B. (2009). Age- and Gender-specific normative data of grip and pinch strength in a healthy adult Swiss population. *Journal of Hand Surgery* 34(1), 76-84. doi: 10.1177/1753193408096763
- [171] White, D. J., Olsen, P. D. (2010). A time motion analysis of bouldering style competitive rock climbing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1356-1360.
- [172] Willardson, J. M. (2006). A brief review: Factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 978-984.
- [173] Wolf, M. R., Fragala, M. S., Volek, J. S., Denegar, C. R., Anderson, J. M., Comstock, B. A., Dunn-Lewis, C., Hooper, D. R., Szivak, T. K., Luk, H., Maresh, C. M., Häkkinen, K., Kraemer, W. J. (2012). Sex differences in creatine kinase after acute heavy resistance exercise on circulating granulocyte estradiol receptors. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 3335-3340. doi: 10.1007/s00421-012-2314-z

## 10 Anhang

Deutsche Sporthochschule Köln - 50927 Köln

**Institut für Natursport und Ökologie**  
Herrn Jerry Medernach

- im Hause -



**Deutsche Sporthochschule Köln**  
German Sport University Cologne

**Institut für Pädagogik und Philosophie**  
Institute of Pedagogy and Philosophy

Prof. Dr. Dr. h.c. Eckhard Meinberg  
Vorsitzender der Ethikkommission

Am Sportpark Müngersdorf 6  
50933 Köln · Deutschland  
Telefon +49(0)221 4982-4520  
Telefax +49(0)221 4982-8450  
meinberg@dshs-koeln.de  
www.dshs-koeln.de

---

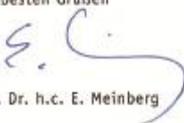
**Ihr Ethikantrag:**  
"Fünf Trainingsmethoden im Bouldersport (Five training methods in competitive Bouldering)"

Sehr geehrter Herr Medernach,

hierdurch darf ich Ihnen mitteilen, dass die Ethikkommission gegenüber Ihrer Untersuchung keinerlei Bedenken erhebt.

Ich wünsche Ihnen für die Durchführung viel Erfolg!

Mit den besten Grüßen



Prof. Dr. Dr. h.c. E. Meinberg

Köln, 16.12.2013

- 1 -

## 2. Einverständniserklärung

**Titel der Studie:** Fünf Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern  
(*Five training methods in competitive Bouldering*)

**Verantwortlicher Projektleiter:** Jerry Medernach, Institut für Natursport und Ökologie  
(j.medernach@dshs-koeln.de, 0221 2809 084)

Ich, \_\_\_\_\_, versichere mit meiner freiwilligen Unterschrift, dass ich nachfolgend aufgelistete Informationen und Rechte sorgfältig durchgelesen habe und diese für mich allgemeinverständlich dargestellt sind.

Ich, \_\_\_\_\_, erkläre mich anhand dieser Einverständniserklärung bereit, freiwillig und ohne Honorar an der Studie „Fünf Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern“ teilzunehmen.

Ich wurde vom verantwortlichen Projektleiter für mich ausreichend mündlich und schriftlich vor Beginn der Studie über Wesen, Bedeutung und Tragewerte der Studie aufgeklärt. Mir ist bewusst, dass das Forschungsprojekt fünf unterschiedliche Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern untersucht und ich wurde ausreichend über die Methodik, Inhalte und Dauer der Studie informiert. Anhand der Forschungsarbeit soll die Trainingswirksamkeit von fünf unterschiedlichen Trainingsmethoden (Bouldern, Interval Bouldering, Moonboard, Hangboard, Vibrationboard) empirisch belegt werden.

Zum Zweck der beschriebenen Forschungszielen willige ich mit meiner freiwilligen Unterschrift ein, dass nachfolgende Versuchsgrößen von mir registriert werden: Körpergewicht (Kg), Körpergröße (cm), BMI (Kg/m<sup>2</sup>), WKV (Aktiviertheit, Trainiertheit, Gesundheit, Beweglichkeit), absolute und relative Handkraft (N; N/Kg), max. Haltezeit (s) bei isometrischer Muskelbeanspruchung an Leisten-, Sloper- und Zangengriff, one Repetition Maximum (n) an Leistengriff, Anzahl an Klimmzügen (n), maximale Haltezeit (s) bei intermittierender und anhaltender, isometrischer Muskelbeanspruchung, Kletterzeit (s) bis lokale, muskuläre Ermüdung, Herzfrequenz (min<sup>-1</sup>) und Laktatwerte (mmol • l<sup>-1</sup>) beim Klettern und Kreatinkinase-Werte nach der Trainingsbelastung.

Ich wurde ausreichend darüber informiert, dass die erhobenen Versuchsgrößen im Hinblick auf die Vertraulichkeit persönlicher Daten und zum Schutz meiner Privatsphäre unter Verschluss gehalten und ausschließlich in anonymisierter Form veröffentlicht werden. Meine persönlichen Daten unterliegen dem Datenschutzgesetz und bei der Veröffentlichung der wissenschaftlichen Studie wird aus den Daten nicht hervorgehen, wer an dieser Untersuchung teilgenommen hat.

Ich versichere, dass mir meine Probandentätigkeit im Vorfeld der Studie allgemeinverständlich erklärt wurde sowie dass die von mir angegebenen, personenbezogenen Daten der Wahrheit entsprechen und dass ich den Anweisungen des verantwortlichen Projektleiters Folge leiste.

Im vorliegenden Forschungsprojekt hat der Beibehalt meiner Gesundheit sowie das Handeln in meinem persönlichen Interesse Vorrang. Mir dürfen während des gesamten Studienverlaufs keine unnötigen Schäden zugefügt werden und mein Wohlergehen muss über den gesamten Untersuchungszeitraum berücksichtigt werden. Der verantwortliche Projektleiter hat mich ausführlich über mögliche Risiken in Bezug auf die Teilnahme an der Studie aufgeklärt. Das potentielle Risiko von sportartspezifischen Beschwerden und Verletzungen aufgrund der hohen, individuellen Beanspruchungen während den Pre- und Posttests sowie innerhalb der vierwöchigen Trainingsphasen sind mir allgemeinverständlich dargelegt worden. Die kapillaren Blutentnahmen am Ohrläppchen werden von geschultem (Diplom-Sportwissenschaftler) und autorisiertem (Krankenschwester) Personal unter ärztlicher Aufsicht durchgeführt. Die Infektionsrisiken werden durch Einwegmaterialien minimiert. Als Folge kann ein Hämatom entstehen, das weder das Wohlbefinden noch die Arbeitsfähigkeit des Probanden beeinträchtigt. Ich bestätige, dass ich im Vorfeld der Studie angemessen über Kontraindikatoren informiert worden bin. Zu den aufgezählten Kontraindikatoren gehören akute Gelenkerkrankungen und Arthrosen, akute rheumatoide Arthritis, Epilepsie, schwere Diabetes, Herz- und Gefäßkrankheiten, Gelenkimplantate, metallische oder synthetische Implantate wie Herzschrittmacher oder Spirale, neuere Thrombose oder mögliche thrombotische Erkrankungen, Operation in den vergangenen 6-8 Wochen, Schwangerschaft, akute Knochenbrüche, Bandscheibendegeneration oder Spondylolyse. Mit dieser Einverständniserklärung bestätige ich mich einer ärztlichen Voruntersuchung zur Ausschließung von möglichen Kontraindikatoren unterzogen zu haben.

Ich versichere, dass ich im Vorfeld der Studie ausreichend darüber informiert wurde, dass ich das Recht habe, jederzeit Fragen zu stellen. Der Name und die Telefonnummer des verantwortlichen Projektleiters sind mir bekannt. Am Ende der Studie habe ich als eingeschlossener Proband das Recht, über das Ergebnis der Studie informiert zu werden und an jeder Art von Nutzen beteiligt zu sein.

Da die DSHS Köln keine Probandenversicherung für dieses Vorhaben abgeschlossen hat, ist eine Haftung für Sach- und Personenschäden gegen die Sporthochschule und ihre Mitarbeiter ausgeschlossen, es sei denn, der entstandene Schaden beruht auf Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit.

Ich weiß, dass ich meine Einwilligung, ohne Angaben von Gründen jederzeit widerrufen kann, ohne dass dies für mich nachteilige Folgen hat und bestätige mein Einverständnis freiwillig mit meiner Unterschrift.

\_\_\_\_\_  
Unterschrift (Datum, Name)

\_\_\_\_\_  
Zeuge (Datum, Name)

## Interview: Erfahrungs- und Gesundheitsbogen

**Titel der Studie:** Fünf Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern  
(*Five training methods in competitive Bouldering*)

**Verantwortlicher Projektleiter:** Jerry Medernach, Institut für Natursport und Ökologie  
(j.medernach@dshs-koeln.de, 0221 2809 084)

Alter:  Jahre.

Geschlecht:  männlich  weiblich.

Bouldererfahrung:  Jahre. Davon Wettkampferfahrung:  Jahre.

Schwerster Boulder (Rotpunkt) in den letzten sechs Monaten:  Fb.

Erfahrung im boulderspezifischem Krafttraining:

Ja  Jahre  Nein .

Periodisiertes Bouldertraining in den letzten vier Wochen:

Ja  Nein .

Allgemeine oder sportartspezifische, akute oder chronische Beschwerden / Verletzungen:

Ja  Nein .

WKV - Erlebte körperliche Verfassung

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

Bitte schätzen Sie spontan, ohne viel zu überlegen ein, inwieweit die folgenden Aussagen auf Ihren **körperlichen Allgemeinzustand im Augenblick** zutreffen. Machen Sie ein Kreuz an der entsprechenden Stelle:

---

**Im Augenblick** fühle ich mich **körperlich** ...

---

	völlig					gar nicht
kräftig	5	4	3	2	1	0
energielos	5	4	3	2	1	0
unbeweglich	5	4	3	2	1	0
platt	5	4	3	2	1	0
lädiert	5	4	3	2	1	0
gelenkig	5	4	3	2	1	0
ausgelaugt	5	4	3	2	1	0
krank	5	4	3	2	1	0
abgeschlafft	5	4	3	2	1	0
stark	5	4	3	2	1	0
steif	5	4	3	2	1	0
fit	5	4	3	2	1	0
schlapp	5	4	3	2	1	0
durchtrainiert	5	4	3	2	1	0
angeschlagen	5	4	3	2	1	0
gesund	5	4	3	2	1	0
dehnfähig	5	4	3	2	1	0
kraftvoll	5	4	3	2	1	0
verletzt	5	4	3	2	1	0
beweglich	5	4	3	2	1	0

---

**Im Augenblick** habe ich **körperliche** ...

---

	extrem stark					gar nicht
Schmerzen	5	4	3	2	1	0
Beschwerden	5	4	3	2	1	0

© 2000, Prof. Dr. Jens Kleinert

WKV - Wahrgenommene körperliche Verfassung

### Hinweise für die Auswertung

Zur Berechnung der Dimensionswerte werden

1. die mit (+) gekennzeichneten Item-Einzelwerte umgepolt (0→5, 1→4, 2→3, 3→2, 4→1, 5→0) sowie
2. die (gegebenfalls umgepolten) Item-Einzelwerte (0,1,2,3,4,5) einer Dimension summiert und durch 5 geteilt.

Die Zuordnung der Einzelitems zu den Dimensionen lautet (Itemnr. in Klammern):

Dimension Aktiviertheit:

energieelos (2) (+)  
platt (4) (+)  
ausgelaugt (7) (+)  
abgeschlafft (9) (+)  
schlapp (13) (+)

Dimension Gesundheit:

lädiert (5) (+)  
krank (8) (+)  
angeschlagen (15) (+)  
gesund (16)  
verletzt (19) (+)

Dimension Trainiertheit:

kräftig (1)  
stark (10)  
fit (12)  
durchtrainiert (14)  
kraftvoll (18)

Dimension Beweglichkeit:

unbeweglich (3) (+)  
gelenkig (6)  
steif (11) (+)  
dehnfähig (17)  
beweglich (20)

Die Items „körperliche Schmerzen“ und „körperliche Beschwerden“ sind Kontrollitems, die aufgrund der hohen Korrelation der Dimension Gesundheit mit Schmerzen und Beschwerden erhoben werden sollten.

Je nach Fragestellung ist die isolierte Verwendung einzelner Dimensionen denkbar - eine Diskussion der aktuell erlebten körperlichen Verfassung sollte jedoch lediglich unter Berücksichtigung aller Dimensionen erfolgen, da Wechselwirkungen zwischen den dimensional Komponenten bestehen.

Eine Dimension sollte ausschließlich über den kompletten Itemsatz berechnet werden. Einzelne Items geben nur bedingt Hinweise auf die entsprechende Dimension.

**Literatur:**

Kleinert, J. & Liesenfeld, M. (2001). Dimensionen der erlebten körperlichen Verfassung (EKV). In: J.R. Nitsch & H. Allmer: Denken, Sprechen, Bewegen (32. Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie vom 1.-3. Juni 2000 in Köln, S. 283-289). Köln: bps.

**Grip SAEHAN™**

## SAEHAN Corporation

973, Yangdeok-Dong, MasanHoewon-Gu,

Changwon 630-728, South Korea

(P.O.Box 426, Masan Free Trade Zone)

Phone : +82-55-294-0381

Fax : +82-55-293-5019

E-mail : saehancorp@korea.com

Website : [www.saehanmedical.com](http://www.saehanmedical.com)

Certificate of Calibration	
Item No.	SH5002
Description	Spring Hand Dynamometer
Serial No.	Serial No. 12040035
Calibration Date	2012. 04. 05
Inspected by	J.Y.C
<b>Tested by JYC through 10 ~ 90 kg</b>	
Standard	Approved
Weight (kg)	
10	
40	
90	O
<b>SAEHAN Corporation</b>	

ENTWICKLUNG • HERSTELLUNG • VERTEILUNG • VERTRIEB • DIAGNOSTICA



### Photometer Prüfzertifikat

Diaglobal GmbH • Köpenicker Str. 325 • 12555 Berlin • Tel +49 (0)30-6576 2597 • [www.diaglobal.de](http://www.diaglobal.de) • [info@diaglobal.de](mailto:info@diaglobal.de)

**Geräte-Typ:** Vario Photometer II  
**Geräte-Nr.:** 310 0035  
**Version:** V 5.8

**Ergebnisse der Funktionsprüfung:**

Funktion	Spezifikation	Entspricht
Funktion der Tasten	Ein / Aus / Testanwahl	✓
Qualität der Anzeige im Display	Helligkeit / Kontrast	✓
Automatisches Ausschalten	Nach 3 Min. im Mode Testanwahl	✓
Schnittstelle	Ausdruck und Datenübertragung	✓
Funktion des Küvettenschalters		✓
Zeitsetzung des Signaltons		✓

Photometrische Richtigkeit	Extinktion Zielwert	Extinktion Bereich $\pm 2\%$	Extinktion Messwert	Entspricht
Linearität bei $\lambda = 365 \text{ nm}$	0,915	0,897 – 0,933	0,909	✓
Linearität bei $\lambda = 520 \text{ nm}$	0,994	0,974 – 1,014	0,998	✓

Photometrische Präzision	Extinktion Zielwert	Extinktion Bereich $\pm 2\%$	Extinktion berechneter Mittelwert	VK (%) Zielwert	VK (%) berechnet	Entspricht
$\lambda = 365 \text{ nm}$ $n = 15$	0,915	0,897 – 0,933	0,915	$\leq 1,0$	0,2	✓
$\lambda = 520 \text{ nm}$ $n = 15$	0,994	0,974 – 1,014	0,997	$\leq 1,0$	0,2	✓

Das Vario Photometer II erfüllt die Spezifikationen und hat die Prüfungen erfolgreich bestanden.

---

Datum: 12.09.2012                      Service Techniker: Thomas Brenk

Stempel/Unterschrift: Thomas Brenk

**Diaglobal GmbH**  
 Köpenicker Str. 325, Haus 41  
 12555 Berlin  
 Fon: 65 76 25 97  
 Fax: 65 76 25 17

CEO:  
 Rosta Trappl  
 Sudhir Kumar Thakur

Handelsregister:  
 Berlin-Charlottenburg  
 HRB 73796

UST-IdNr. DE 812 88 27 91  
 Steuer-Nr. 37401/20454

Berliner Sparkasse  
 BLZ 100 500 00  
 Konto 297 003 2034

IBAN: DE41100500002970032034  
 BIC: BELA3333XXX

**Tabelle 40.** Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Bouldern (BL).

<b>Belastungsnormative</b>	Beschreibung	Bouldern an der Boulderwand
	Trainingshäufigkeit	3 TE / Woche
	Trainingsdauer	150 min
	Belastungsintensität	maximal (90-100%)
	Subj. Anstrengungsskala	4-5
	Griffgröße	variabel
	Griffart(en)	Leiste, Sloper, Zange
	Griffanzahl	4-8
	Zusatzlast	keine
	Belastungsdauer	< 1 min
	Wiederholung	1
	Pausendauer	/
	Tempo	sportartspezifisch
	Satzzahl	25-35
	Serienpause	vollständig (3-5 min)
	<b>Trainingsprinzipien</b>	Belastungsform
Kontraktionsform		variabel
Individualität		Schwierigkeit und Eigenschaft der Boulder
Spezifik		Auswahl der Boulder
Wirksamer Belastungsreiz / Überlast		Schwierigkeit und Wechsel der Boulder
Progressive Belastungssteigerung		Schwierigkeit und Wechsel der Boulder
Variation	Wechsel der Boulder	
Optimale Gestaltung von Belastung und Erholung	sportartspezifische Belastungsdauer bei vollständiger Erholung in der TE und $\geq 48$ Stunden Erholungszeit zwischen zwei TE	

**Tabelle 41.** Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Intervall Bouldern (IB).

<b>Belastungsnormative</b>	Beschreibung	Intervall Training an der Boulderwand
	Trainingshäufigkeit	3 TE / Woche
	Trainingsdauer	150 min
	Belastungsintensität	intensives IB: Fast maximal (50-75% der MK) extensives IB: Submaximal (30-50% der MK)
	Subj. Anstrengungsskala	2-3
	Griffgröße	variabel
	Griffart(en)	Leiste, Sloper, Zange
	Griffanzahl	4
		6
		8
		10
	Zusatzlast	keine
	Belastungsdauer	≈ 15 s (TOTAL: 1 min)
		≈ 30 s (TOTAL: 2 min)
		≈ 45 s (TOTAL: 3 min)
		≈ 60 s (TOTAL: 4 min)
	Wiederholung	4
Pausendauer	10 s	
Tempo	mittelschnell	
Satzzahl	4 pro Griffanzahl (Total: 16)	
Serienpause	lohnend (5-7 min)	
Belastungsform	variabel	
Kontraktionsform	variabel	
<b>Trainingsprinzipien</b>	Individualität	Schwierigkeit und Eigenschaft der Boulder
	Spezifik	Auswahl und Länge der Boulder
	Wirksamer Belastungsreiz / Überlast	Schwierigkeit, Länge und Wechsel der Boulder
	Progressive Belastungssteigerung	Schwierigkeit und Wechsel der Boulder
	Variation	Länge und Wechsel der Boulder
	Optimale Gestaltung von Belastung und Erholung	sportartspezifische Belastungsdauer bei lohnender Pause in der TE und ≥ 48 Stunden Erholungszeit zwischen zwei TE

**Tabelle 42.** Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Moonboard (MB).

<b>Belastungsnormative</b>	Beschreibung	Bouldern am Moonboard
	Trainingshäufigkeit	3 TE / Woche
	Trainingsdauer	150 min
	Belastungsintensität	Maximal (90-100% der MK)
	Subj. Anstrengungsskala	4-5
	Griffgröße	variabel
	Griffart(en)	Leiste
	Griffanzahl	4-8
	Zusatzlast	keine
	Belastungsdauer	< 1 min
	Wiederholung	1
	Pausendauer	/
	Tempo	sportartspezifisch
	Satzzahl	25-35
	Serienpause	vollständig (3-5 min)
	Belastungsform	variabel
Kontraktionsform	variabel	
<b>Trainingsprinzipien</b>	Individualität	Schwierigkeit und Eigenschaft der Boulder
	Spezifik	Auswahl der Boulder (Datenbank)
	Wirksamer Belastungsreiz / Überlast	Schwierigkeit und Wechsel der Boulder
	Progressive Belastungssteigerung	Schwierigkeit und Wechsel der Boulder
	Variation	Wechsel der Boulder
	Optimale Gestaltung von Belastung und Erholung	sportartspezifische Belastungsdauer bei vollständiger Erholung in der TE und $\geq 48$ Stunden Erholungszeit zwischen zwei TE

**Tabelle 43.** Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Hangboard (HB).

<b>Belastungsnormative</b>	Beschreibung	Training am Hangboard
	Trainingshäufigkeit	3 TE / Woche
	Trainingsdauer	150 min
	Belastungsintensität	fast maximal (50-75 % der MK) bis maximal (90-100% der MK)
	Subj. Anstrengungsskala	3-4-5
	Griffgröße	6-30 mm
	Griffart(en)	Leiste
	Griffanzahl	in Abhängigkeit der Übung
	Zusatzlast	keine
	Belastungsdauer	in Abhängigkeit der Übung
	Wiederholung	in Abhängigkeit der Übung
	Pausendauer	in Abhängigkeit der Übung
	Tempo	in Abhängigkeit der Übung
	Satzzahl	in Abhängigkeit der Übung
	Serienpause	vollständig (5-7 min)
<b>Trainingsprinzipien</b>	Belastungsform	in Abhängigkeit der Übung
	Kontraktionsform	in Abhängigkeit der Übung
	Individualität	Auswahl der Grifftiefe
	Spezifik	Auswahl der Grifftiefe und der Übung
	Wirksamer Belastungsreiz / Überlast	Auswahl der Grifftiefe und der Übung
	Progressive Belastungssteigerung	Auswahl der Grifftiefe
	Variation	Auswahl der Übung
Optimale Gestaltung von Belastung und Erholung	sportartspezifische Belastungsdauer bei vollständiger Erholung in der TE und $\geq 48$ Stunden Erholungszeit zwischen zwei TE	

**Tabelle 44.** Belastungsnormative und Trainingsprinzipien der Trainingsgruppe Vibrationsboard (VB).

<b>Belastungsnormative</b>	Beschreibung	Training am Vibrationsboard
	Trainingshäufigkeit	3 TE / Woche
	Trainingsdauer	150 min
	Belastungsintensität	fast maximal (50-75 % der MK) bis maximal (90-100% der MK)
	Subj. Anstrengungsskala	3-4-5
	Frequenz	40 Hz
	Amplitude	2 mm ( <i>low</i> )
	Griffgröße	6-30 mm
	Griffart(en)	Leiste
	Griffanzahl	1-2
	Zusatzlast	keine
	Belastungsdauer	< 1 min
	Wiederholung	in Abhängigkeit der Übung
	Pausendauer	in Abhängigkeit der Übung
	Tempo	in Abhängigkeit der Übung
	Satzzahl	in Abhängigkeit der Übung
	Serienpause	vollständig (5-7 min)
Belastungsform	in Abhängigkeit der Übung	
Kontraktionsform	in Abhängigkeit der Übung	
<b>Trainingsprinzipien</b>	Individualität	Auswahl der Grifftiefe
	Spezifik	Auswahl der Grifftiefe und der Übung
	Wirksamer Belastungsreiz / Überlast	Auswahl der Grifftiefe und der Übung
	Progressive Belastungssteigerung	Auswahl der Grifftiefe
	Variation	Auswahl der Übung
	Optimale Gestaltung von Belastung und Erholung	sportartspezifische Belastungsdauer bei vollständiger Erholung in der TE und $\geq 48$ Stunden Erholungszeit zwischen zwei TE

**Tabelle 45.** Trainingseinheit A (Montags) am Hangboard und Vibrationsboard.

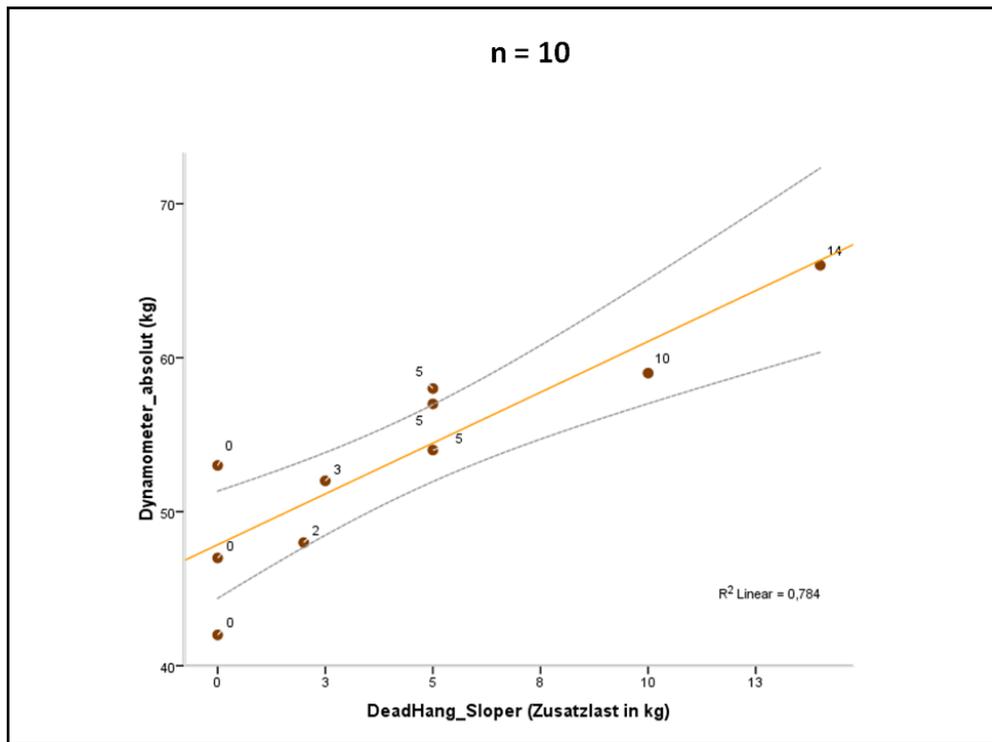
Übung	Fingerboard Repeaters	Fingerboard Hangs	Uneven Lock-Offs
<b>Beschreibung</b>	5 s bei 90° EBG	8 s 180° EBG 8 s 30° EBG 8 s 90° EBG 8 s 120° EBG	Versetzt Blockieren
<b>Belastungs- Intensität</b>	maximal (80-100%)	submaximal (50-75%)	submaximal (50-75%)
<b>Belastungsdauer</b>	5 s	≈35 s	10 s / Seite
<b>Griffgröße</b>	≤ 9 mm	30 mm	30 mm (oben) ≤ 9 mm (unten)
<b>Griffart</b>	Leiste	Sloper	Leiste & Sloper
<b>Zusatzlast</b>	keine	keine	keine
<b>Wiederholung</b>	6	5	5
<b>Pausendauer</b>	5 s	10 s	10 s
<b>Tempo</b>	vorgegeben	mittelschnell	vorgegeben
<b>Satzzahl</b>	5	3	3
<b>Serienpause</b>	vollständig (5-7 min)	vollständig (5-7 min)	vollständig (5-7 min)
<b>Belastungsform</b>	statisch	statisch dynamisch	statisch dynamisch
<b>Kontraktionsform</b>	isometrisch	isometrisch konzentrisch exzentrisch	isometrisch konzentrisch

**Tabelle 46.** Trainingseinheit B (Mittwochs) am Hangboard und Vibrationsboard.

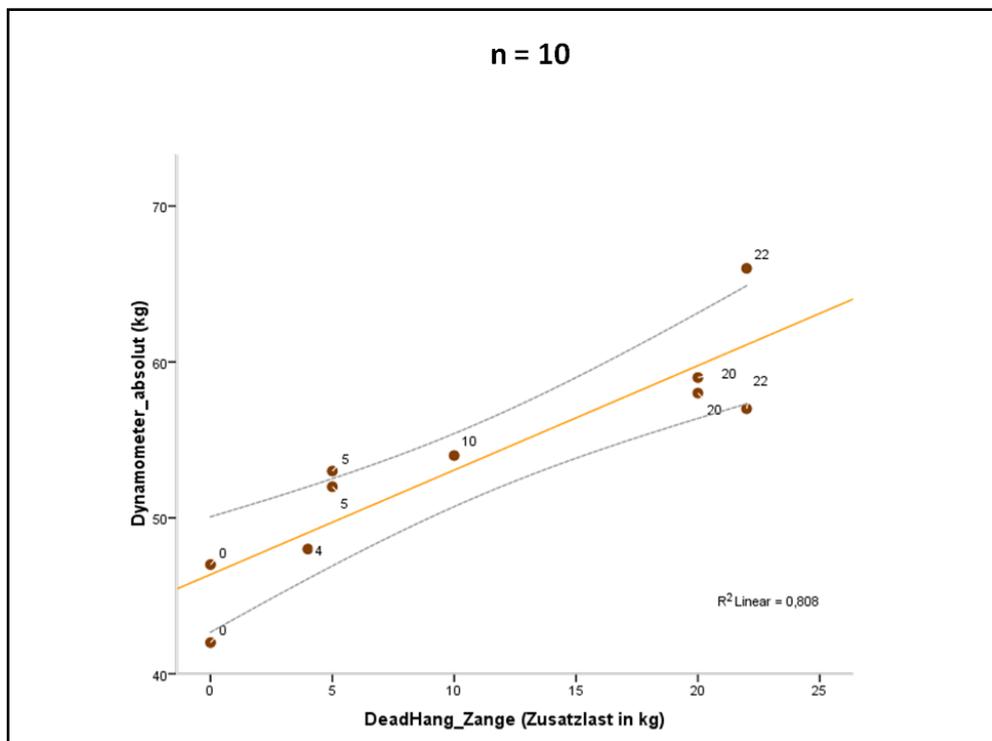
Übung	Fingerboard Hangs	Frenchie	Fingerboard Hangs
<b>Beschreibung</b>	3-5 s 180° EBG	Klimmzug + 5 s 30° EBG, Klimmzug + 5 s 90° EBG, Klimmzug + 5 s 120° EBG, 2x Klimmzug	20 s 180° EBG, 2x Klimmzug
<b>Belastungs- Intensität</b>	maximal (90-100%)	submaximal (50-75%)	submaximal (50-75%)
<b>Griffgröße</b>	≤ 8 mm	30 mm	9-12 mm
<b>Griffart</b>	Leiste	Sloper	Leiste
<b>Zusatzlast</b>	keine	keine	keine
<b>Wiederholung</b>	10	5	8
<b>Pausendauer</b>	30 s	30 s	10 s
<b>Tempo</b>	vorgegeben	mittelschnell	mittelschnell
<b>Satzzahl</b>	3	3	3
<b>Serienpause</b>	vollständig (5-7 min)	vollständig (5-7 min)	vollständig (5-7 min)
<b>Belastungsform</b>	statisch	statisch dynamisch	statisch dynamisch
<b>Kontraktionsform</b>	isometrisch	isometrisch konzentrisch exzentrisch	Isometrisch konzentrisch Exzentrisch

**Tabelle 47.** Trainingseinheit C (Freitags) am Hangboard und Vibrationsboard.

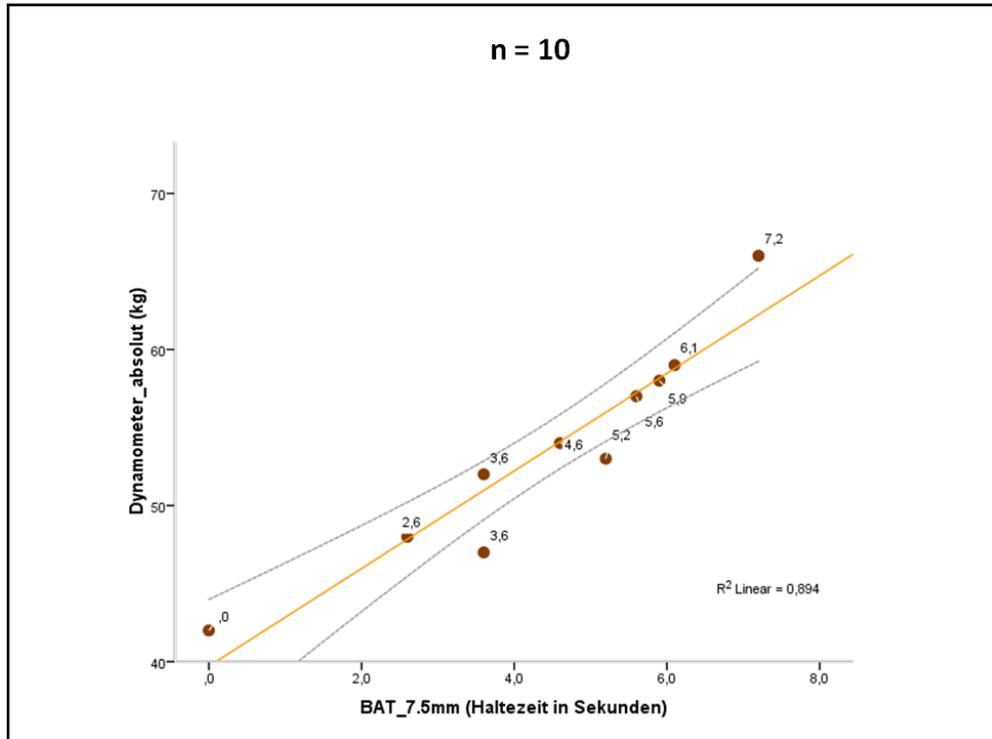
Übung	Fingerboard Repeaters	Lock-Offs	Fingerboard Pyramide
<b>Beschreibung</b>	10 s 180° EBG	5 s 180° EBG, rechte Hand, greift hoch, 5 s 180° EBG, linke Hand greift hoch	4s 90° EBG, 6 s 90° EBG 8 s 90° EBG, 10 s 90° EBG
<b>Belastungsintensität</b>	submaximal (50-75%)	submaximal (50-75%)	submaximal (50-75%)
<b>Griffgröße</b>	9-12 mm	30 mm	8-10 mm 9-12 mm 10-18 mm 14-18 mm
<b>Griffart</b>	Leiste	Sloper	Leiste
<b>Zusatzlast</b>	keine	keine	keine
<b>Wiederholung</b>	8	6	5
<b>Pausendauer</b>	2 s	/	20 s
<b>Tempo</b>	vorgegeben	schnellkräftig	vorgegeben
<b>Satzzahl</b>	5	5	3
<b>Serienpause</b>	vollständig (5-7 min)	vollständig (5-7 min)	vollständig (5-7 min)
<b>Belastungsform</b>	statisch	statisch dynamisch	statisch dynamisch
<b>Kontraktionsform</b>	isometrisch	isometrisch konzentrisch exzentrisch	isometrisch konzentrisch



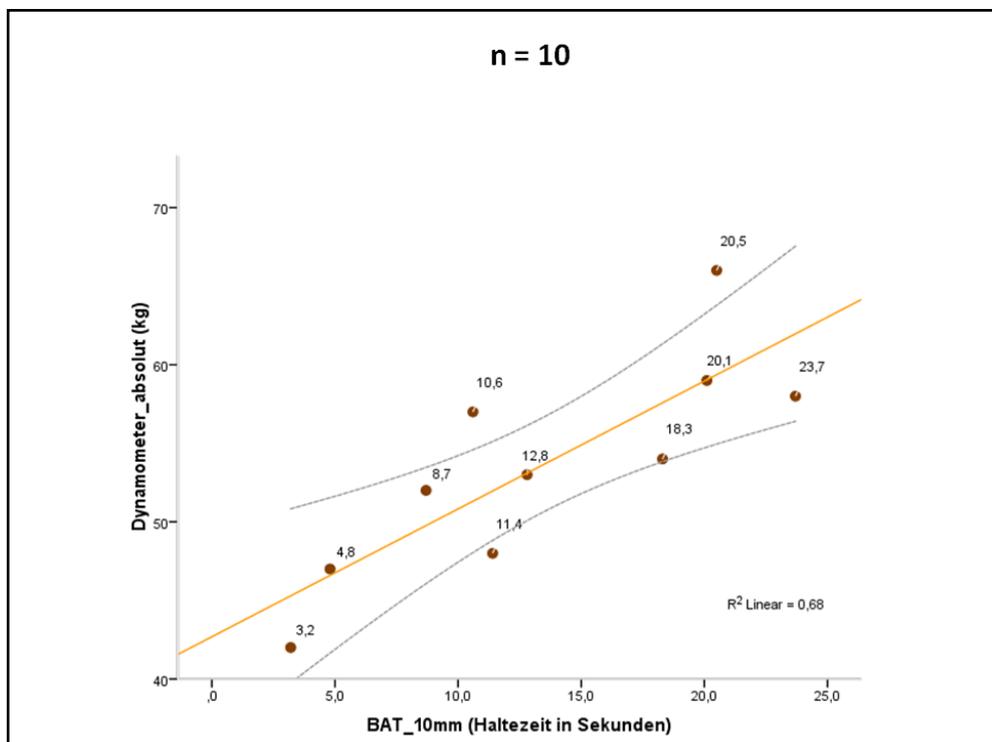
**Abbildung 57.** Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und der Zusatzlast beim Dead Hang Test am Slopergriff.



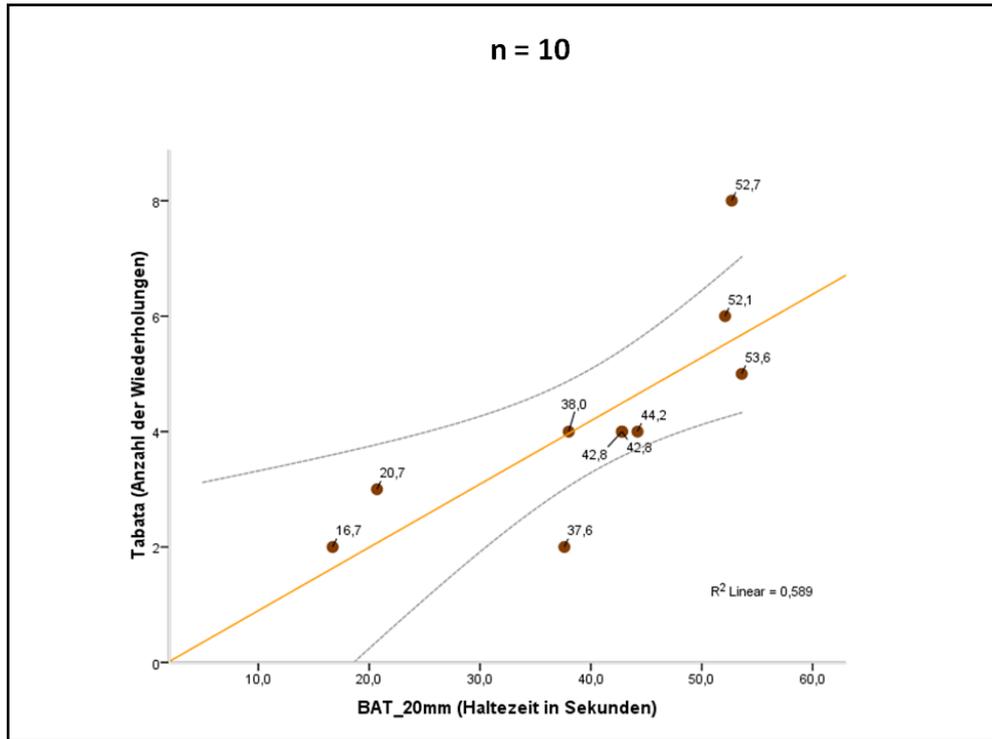
**Abbildung 58.** Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und der Zusatzlast beim Dead Hang Test am Zangengriff.



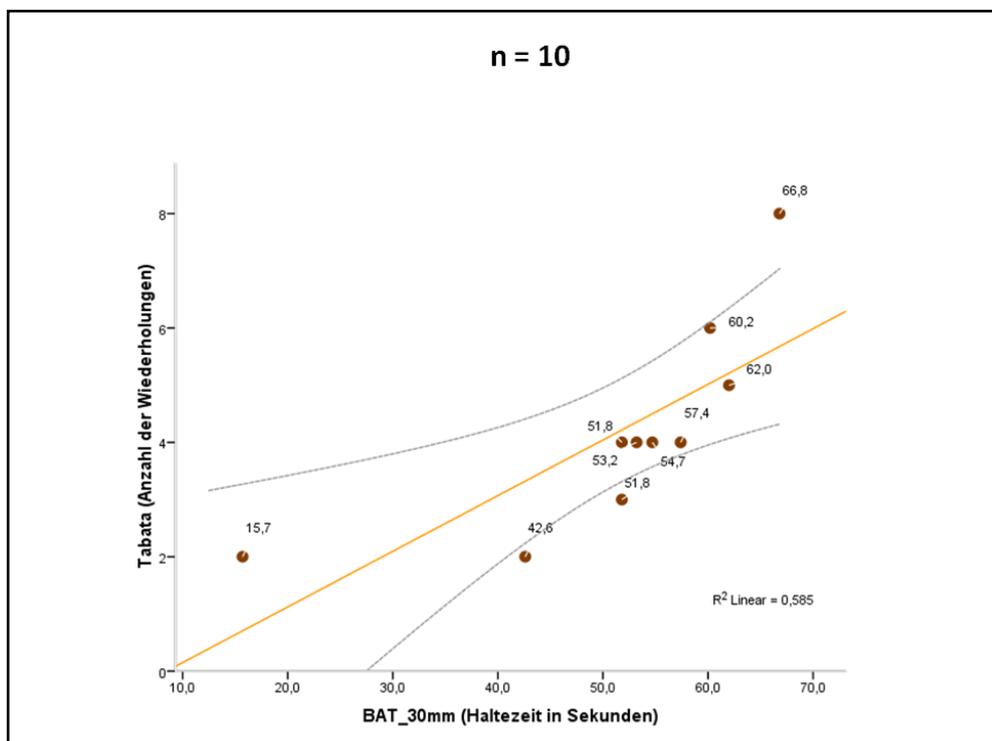
**Abbildung 59.** Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und den Haltezeiten beim BAT<sub>7,5mm</sub>.



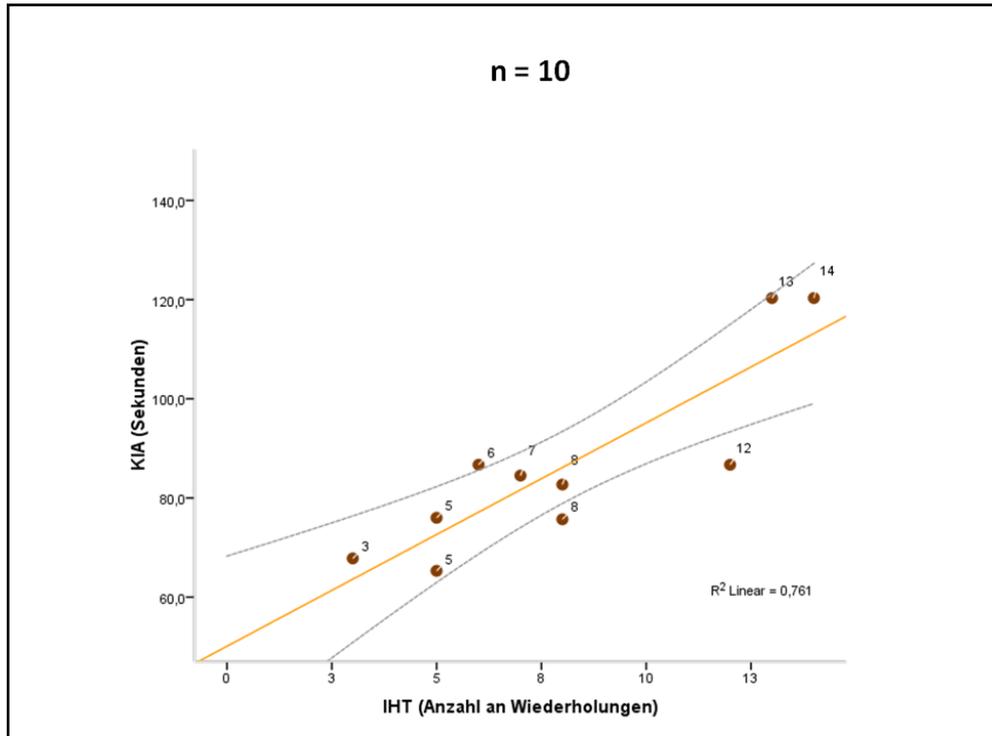
**Abbildung 60.** Zusammenhang zwischen den Dynamometerwerten und den Haltezeiten beim BAT<sub>10mm</sub>.



**Abbildung 61.** Zusammenhang zwischen dem Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim BAT<sub>20mm</sub>.



**Abbildung 62.** Zusammenhang zwischen dem Tabata-Protokoll und den Haltezeiten beim BAT<sub>30mm</sub>.



**Abbildung 63.** Zusammenhang zwischen der KIA und dem IHT.

**Tabelle 48.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{01}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{01}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Bouldereinheiten (BL) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{01}$ kann für $MAF_{\text{funktional}}$ widerlegt werden.
<b>Begründung MAF</b>	<p><b>Dynamometer (6):</b> Der <math>p</math>-Wert = .109 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 10,9%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Leiste</sub> (8):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>sloper</sub> (9):</b> Der <math>p</math>-Wert = .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Zange</sub> (10):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>7,5mm</sub> (12):</b> Der <math>p</math>-Wert = .002 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 0,2%.</p> <p><b>BAT<sub>10mm</sub> (13):</b> Der <math>p</math>-Wert = .003 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 0,3%.</p>
<b>Begründung KAS</b>	<p><b>MZW (7):</b> Der <math>p</math>-Wert = .083 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 8,3%.</p> <p><b>Klimmzüge (11):</b> Der <math>p</math>-Wert = .166 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 16,6%.</p> <p><b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> Der <math>p</math>-Wert = .012 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 1,2%.</p> <p><b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> Der <math>p</math>-Wert = .010 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 1,0%.</p> <p><b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> Der <math>p</math>-Wert = .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 0,1%.</p> <p><b>Tabata (19):</b> Der <math>p</math>-Wert = .054 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 5,4%.</p>
<b>Begründung LOM</b>	<p><b>IHT (17):</b> Der <math>p</math>-Wert = .551 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 55,1%.</p> <p><b>KIA (18):</b> Der <math>p</math>-Wert = .298 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> beträgt 29,8%.</p>

**Tabelle 49.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{02}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{02}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{02}$ kann für LOM widerlegt werden.
<b>Begründung MAF</b>	<p><b>Dynamometer (6):</b> Der <math>p</math>-Wert = .111 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 11,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Leiste</sub> (8):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>sloper</sub> (9):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Zange</sub> (10):</b> Der <math>p</math>-Wert = .002 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 0,2%.</p> <p><b>BAT<sub>7,5mm</sub> (12):</b> Der <math>p</math>-Wert = .016 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 1,6%.</p> <p><b>BAT<sub>10mm</sub> (13):</b> Der <math>p</math>-Wert = .082 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 8,2%.</p>
<b>Begründung KAS</b>	<p><b>MZW (7):</b> Der <math>p</math>-Wert = .083 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 8,3%.</p> <p><b>Klimmzüge (11):</b> Der <math>p</math>-Wert = .067 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 6,7%.</p> <p><b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> Der <math>p</math>-Wert = .018 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 1,8%.</p> <p><b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> Der <math>p</math>-Wert = .011 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 1,1%.</p> <p><b>Tabata (19):</b> Der <math>p</math>-Wert = .275 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 27,5%.</p>
<b>Begründung LOM</b>	<p><b>IHT (17):</b> Der <math>p</math>-Wert = .002 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> beträgt 0,2%.</p> <p><b>KIA (18):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{02}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A2}</math> ist kleiner als 0,1%.</p>

**Tabelle 50.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{03}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{03}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{03}$ kann für $MAF_{\text{funktional}}$ widerlegt werden.
<b>Begründung MAF</b>	<p><b>Dynamometer (6):</b> Der <math>p</math>-Wert = .167 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 16,7%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Leiste</sub> (8):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>sloper</sub> (9):</b> Der <math>p</math>-Wert = .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Zange</sub> (10):</b> Der <math>p</math>-Wert = .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>7,5mm</sub> (12):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>10mm</sub> (13):</b> Der <math>p</math>-Wert &lt; .001 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> ist kleiner als 0,1%.</p>
<b>Begründung KAS</b>	<p><b>MZW (7):</b> Der <math>p</math>-Wert = .059 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 5,9%.</p> <p><b>Klimmzüge (11):</b> Der <math>p</math>-Wert = .192 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 19,2%.</p> <p><b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> Der <math>p</math>-Wert = .005 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 0,5%.</p> <p><b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> Der <math>p</math>-Wert = .013 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 1,3%.</p> <p><b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> Der <math>p</math>-Wert = .011 ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 1,1%.</p> <p><b>Tabata (19):</b> Der <math>p</math>-Wert = .341 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 34,1%.</p>
<b>Begründung LOM</b>	<p><b>IHT (17):</b> Der <math>p</math>-Wert = .821 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 82,1%.</p> <p><b>KIA (18):</b> Der <math>p</math>-Wert = .717 ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{03}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A3}</math> beträgt 71,7%.</p>

**Tabelle 51.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{04}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{04}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{04}$ kann für $MAF_{\text{isoliert}}$ , $MAF_{\text{funktional}}$ und KAS widerlegt werden.
<b>Begründung MAF</b>	<p><b>Dynamometer (6):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Leiste</sub> (8):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Sloper</sub> (9):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Zange</sub> (10):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>7,5mm</sub> (12):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>10mm</sub> (13):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p>
<b>Begründung KAS</b>	<p><b>MZW (7):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>= .004</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> beträgt 0,4%.</p> <p><b>Klimmzüge (11):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>= .002</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> beträgt 0,2%.</p> <p><b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Tabata (19):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> ist kleiner als 0,1%.</p>
<b>Begründung LOM</b>	<p><b>IHT (17):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>= .003</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> beträgt 0,3%.</p> <p><b>KIA (18):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>= .228</math> ist größer als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{04}</math> wird beibehalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A4}</math> beträgt 22,8%.</p>

**Tabelle 52.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{05}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{05}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode zu keiner Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{05}$ kann für $MAF_{\text{isoliert}}$ , $MAF_{\text{funktional}}$ , KAS und LOM widerlegt werden.
<b>Begründung MAF</b>	<p><b>Dynamometer (6):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Leiste</sub> (8):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Sloper</sub> (9):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Dead Hang<sub>Zange</sub> (10):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>7,5mm</sub> (12):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>10mm</sub> (13):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p>
<b>Begründung KAS</b>	<p><b>MZW (7):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Klimmzüge (11):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{01}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A1}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>Tabata (19):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p>
<b>Begründung LOM</b>	<p><b>IHT (17):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p> <p><b>KIA (18):</b> Der <math>p</math>-Wert <math>&lt; .001</math> ist kleiner als das Signifikanzniveau <math>\alpha = .05</math>. <math>H_{05}</math> wird verworfen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei Annahme von <math>H_{A5}</math> ist kleiner als 0,1%.</p>

**Tabelle 53.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{06}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{06}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL), 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu keiner größeren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{06}$ kann für die MAF widerlegt werden.
<b>Begründung MAF</b>	<b>Dynamometer (6):</b> VB > BL ( $p = .050$ ), IB ( $p = .001$ ) und MB ( $p = .002$ ) <b>MAF-Score:</b> VB > BL ( $p < .001$ ), IB ( $p < .001$ ) und MB ( $p < .001$ )
<b>Begründung KAS</b>	<b>MZW (7):</b> VB > BL ( $p < .001$ ), IB ( $p < .001$ ) und MB ( $p = .001$ ) <b>Klimmzüge (11):</b> VB > BL ( $p < .001$ ), IB ( $p < .001$ ) und MB ( $p < .001$ ) <b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> VB > BL ( $p < .001$ ) und IB ( $p = .002$ ). VB $\nrightarrow$ MB ( $p = .100$ ) <b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> VB > BL ( $p = .027$ ) und IB ( $p = .005$ ) VB $\nrightarrow$ MB ( $p = .108$ ) <b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> VB > MB ( $p = .026$ ) VB $\nrightarrow$ BL ( $p = .555$ ) und IB ( $p = .282$ ) <b>Tabata (19):</b> VB > MB ( $p = .001$ ) VB $\nrightarrow$ BL ( $p < .999$ ) und IB ( $p < .999$ )
<b>Begründung LOM</b>	<b>IHT (17):</b> VB > BL ( $p < .001$ ) VB $\nrightarrow$ IB ( $p = .548$ ) und MB ( $p = .073$ ) <b>KIA (18):</b> VB $\nrightarrow$ BL ( $p = .269$ ), IB ( $p > .999$ ) und MB ( $p = .079$ )

**Tabelle 54.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{07}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{07}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL), 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu keiner größeren Steigerung der MAF, KAS und LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{07}$ kann teilweise widerlegt werden.
<b>Begründung MAF</b>	<p><b>Dynamometer (6):</b> HB <math>\nrightarrow</math> BL (<math>p &gt; .999</math>), IB (<math>p = .144</math>) und MB (<math>p = .246</math>)</p> <p><b>MAF-Score:</b> HB <math>&gt;</math> BL (<math>p &lt; .001</math>) und IB (<math>p &lt; .001</math>)</p> <p>HB <math>\nrightarrow</math> MB (<math>p &gt; .999</math>)</p>
<b>Begründung KAS</b>	<p><b>MZW (7):</b> HB <math>\nrightarrow</math> BL (<math>p = .498</math>), IB (<math>p = .800</math>) und MB (<math>p &gt; .999</math>)</p> <p><b>Klimmzüge (11):</b> HB <math>&gt;</math> BL (<math>p = .007</math>), IB (<math>p = .029</math>) und MB (<math>p = .008</math>)</p> <p><b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> HB <math>\nrightarrow</math> BL (<math>p = .258</math>), IB (<math>p = .326</math>) und MB (<math>p &gt; .999</math>)</p> <p><b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> HB <math>&gt;</math> IB (<math>p = .031</math>)</p> <p>HB <math>\nrightarrow</math> BL (<math>p = .911</math>) und MB (<math>p &gt; .999</math>)</p> <p><b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> HB <math>\nrightarrow</math> BL (<math>p &gt; .999</math>), IB (<math>p &gt; .999</math>) und MB (<math>p &gt; .999</math>)</p> <p><b>Tabata (19):</b> HB <math>&gt;</math> MB (<math>p = .011</math>)</p> <p>HB <math>\nrightarrow</math> BL (<math>p = .766</math>) und IB (<math>p = .816</math>)</p>
<b>Begründung LOM</b>	<p><b>IHT (17):</b> HB <math>\nrightarrow</math> BL (<math>p = .845</math>), IB (<math>p &gt; .999</math>) und MB (<math>p &gt; .999</math>)</p> <p><b>KIA (18):</b> HB <math>\nrightarrow</math> BL (<math>p &gt; .999</math>) und MB (<math>p &gt; .999</math>)</p> <p>HB <math>&lt;</math> IB (<math>p = .008</math>)</p>

**Tabelle 55.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{08}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{08}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Vibrationsboard (VB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Trainingseinheiten am Hangboard (HB) zu keiner größeren Steigerung der MAF, der KAS und der LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{08}$ kann bis auf MZW nicht widerlegt werden.
<b>Begründung MAF</b>	<b>Dynamometer (6):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p = .656$ ) <b>MAF-Score (7):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p = .254$ )
<b>Begründung KAS</b>	<b>MZW (7):</b> VB > HB ( $p = .004$ ) <b>Klimmzüge (11):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p = .335$ ) <b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p = .271$ ) <b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p > .999$ ) <b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p = .647$ ) <b>Tabata (19):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p > .999$ )
<b>Begründung LOM</b>	<b>IHT (17):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p = .214$ ) <b>KIA (18):</b> VB $\nrightarrow$ HB ( $p = .800$ )

**Tabelle 56.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{09}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{09}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Intervall Bouldereinheiten (IB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL) und 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) zu keiner größeren Steigerung der LOM.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{09}$ kann teilweise widerlegt werden.
<b>Begründung LOM</b>	<b>IHT (17):</b> IB $\nrightarrow$ BL ( $p = .226$ ) und MB ( $p > .999$ ) <b>KIA (18):</b> IB $>$ BL ( $p = .005$ ) und MB ( $p = .025$ )

**Tabelle 57.** Überprüfung der Nullhypothese  $H_{010}$ .

<b>Nullhypothese <math>H_{010}</math></b>	Im Wettkampfbouldern führen 12 Trainingseinheiten am Moonboard (MB) innerhalb einer vierwöchigen Trainingsperiode im Vergleich zu 12 Bouldereinheiten (BL) zu keiner größeren Steigerung der MAF und der KAS.
<b>Verifikation oder Falsifikation</b>	$H_{010}$ kann bis auf MAF-Score nicht widerlegt werden
<b>Begründung MAF</b>	<b>Dynamometer (6):</b> MB $\nrightarrow$ BL ( $p > .999$ ) <b>MAF-Score:</b> MB $>$ BL ( $p = .014$ )
<b>Begründung KAS</b>	<b>MZW (7):</b> MB $\nrightarrow$ BL ( $p > .999$ ) <b>Klimmzüge (11):</b> MB $\nrightarrow$ BL ( $p > .999$ ) <b>BAT<sub>15mm</sub> (14):</b> MB $\nrightarrow$ BL ( $p = .444$ ) <b>BAT<sub>20mm</sub> (15):</b> MB $\nrightarrow$ BL ( $p > .999$ ) <b>BAT<sub>30mm</sub> (16):</b> MB $\nrightarrow$ BL ( $p > .999$ ) <b>Tabata (19):</b> MB $\nrightarrow$ BL ( $p = .084$ )

## 11 Lebenslauf



<b>Name</b>	Medernach
<b>Vorname</b>	Jerry Prosper Joseph
<b>Akademischer Grad</b>	Diplom-Sportwissenschaftler
<b>Universitäre Weiterbildung</b>	DSHS Personal Trainer DSHS Kraft- und Konditionscoach Summer Special - Zentrum Körper
<b>Trainerausbildung</b>	Sportklettern Trainer C Wettkampfsport Sportklettern Trainer C Breitensport
<b>Funktionen</b>	Präsident der National Climbing Community Ehrenpräsident im Boulder Klub Letzebuerg Head of Marketing bei LuxDoc
<b>Geburtstag</b>	30. Juni 1985
<b>Geburtsort</b>	Luxemburg
<b>Familienstand</b>	Ledig
<b>Eltern</b>	Roger Medernach Jacqueline Levy
<b>Geschwister</b>	Simone Medernach Ben Medernach
<b>Adresse</b>	49, rue Emile Metz L-2149 Luxemburg
<b>Telefon</b>	+352 621 144 660
<b>Fax</b>	+352 26 41 01 91
<b>Email</b>	j.medernach@dshs-koeln.de j.medernach@iclimb.lu

## Schulischer Werdegang

16.09.2004 - 30.06.2005	Allgemeine Hochschulreife ( <i>Diplôme de fin d'études secondaires, Enseignement moderne, orientation scientifique, section langues vivantes - Mathématiques - Sciences Économiques</i> ), Lycée Robert-Schuman Luxembourg, Luxemburg.
18.09.1997 - 14.07.2004	Gymnasium, Lycée de Garçons Luxembourg, Luxemburg.
15.09.1991 - 08.07.1997	Grundschule, Mühlenbach, Luxemburg.

## Studium und wissenschaftlicher Werdegang

20.05.2015	Abschluss der Promotion am Institut für Natursport und Ökologie ( <i>magna cum laude</i> ), Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
22.12.2014	Abgabe der Dissertation mit dem Thema <i>Einsatz sportartspezifischer Trainingsmethoden im Wettkampfbouldern</i> mit dem angestrebten Doktorgrad "Dr. Sportwiss." unter der Betreuung von Prof. Dr. Helmut Lötzerich, stellv. Institutsleiter im Institut für Natursport und Ökologie, und Dr. Heinz Kleinöder im Institut für Trainingswissenschaft, Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
WS 2013 - 2014	Erfolgreicher Abschluss des viersemestrigen Promotionsstudiums an der Deutschen Sporthochschule Köln, Deutschland.
WS 2012 - 2013	Zulassung zum viersemestrigen Promotionsstudium mit dem angestrebten Doktorgrad Dr. Sportwiss. an der Deutschen Sporthochschule Köln, Deutschland.
13.10.2011	Diplomzeugnis mit dem akademischen Grad „Diplom-Sportwissenschaftler“, Schwerpunkt Training und Leistung, Gesamtnote: 1.6, Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
24.09.2008	Diplomvorprüfung, Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
20.02.2006	Aufnahme des Studiums an der Deutschen Sporthochschule Köln, Deutschland.

## Publikationen und wissenschaftliche Arbeiten

- |            |                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01.04.2015 | <i>Vibration training in Indoor Bouldering: Effects on strength and endurance.</i> E-Poster und Publikation im Book of Abstracts, 20 <sup>th</sup> annual congress des European College of Sport Science, Malmö, Schweden.                             |
| 22.01.2015 | <i>Fingerboard in competitive bouldering: Training effects on grip strength and endurance,</i> angenommener Artikel im <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> (JSCR-08-4659R1).                                                          |
| 03.09.2014 | <i>Was bringt was?</i> , publiziert in der Zeitschrift <i>Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls</i> , Ausgabe Mai 2015.                                                                                                                             |
| 23.10.2014 | <i>Effect of interval bouldering on hanging and climbing time to exhaustion,</i> überarbeitete und eingereicht bei <i>Sports Technology</i> (JST-14-028).                                                                                              |
| 25.02.2012 | <i>Einsatz des Hangboards zur Steigerung der lokalen Kraftausdauer im Klettersport,</i> Fachbuch in der Reihe Humanwissenschaften im AV Akademikerverlag                                                                                               |
| 23.11.2011 | Facharbeit <i>Einführung in das Maximalkraft- und Kraftausdauertraining im Bouldern - exemplarische Darstellung unterschiedlicher Trainingsmethoden</i> (Note: 1.0), Institut für Natursport und Ökologie, Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland. |
| 15.09.2009 | <i>Mentale Wettkampfvorbereitung im Sportklettern</i> (Note: 1.0), Psychologisches Institut, Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.                                                                                                               |

## Ausbildungen und Universitäre Weiterbildungen

15.03.2013 - 17.03.2013	Ausbildung zum Landesroutenbauer im Bouldern, Deutscher Alpenverein, München.
14.09.2011 - 12.02.2012	Universitäre Weiterbildung <i>DSHS Personal Trainer</i> , Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
24.06.2011 - 10.11.2011	Universitäre Weiterbildung <i>DSHS Kraft- und Konditionscoach</i> , Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
08.08.2010 - 15.08.2010	Ausbildung <i>Sportklettern Trainer C Wettkampfsport</i> , Deutscher Alpenverein, München.
13.02.2010	Ausbildung <i>Sportklettern Trainer C Breitensport</i> , Institut für Natursport und Ökologie, Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
13.02.2010	Ausbildung zum <i>Kletterbetreuer an künstlichen Kletteranlagen</i> , Institut für Natursport und Ökologie, Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
17.08.2009 - 22.08.2009	Universitäre Weiterbildung <i>Summer Special: Zentrum Körper</i> , Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
WS 2008 - 2009	Zertifikat <i>Friluftsliv - Validierung präventivmedizinischer Aspekte eines naturnahen Lebensstils</i> (2.0 SWS), Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
WS 2008 - 2009	Zertifikat <i>Lehrer- und Therapeutenverhalten</i> (2.0 SWS), Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
WS 2008 - 2009	Zertifikat <i>Einführung in die Feldenkraismethode - Bewusstheit durch Bewegung</i> (2.0 SWS), Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
WS 2008 - 2009	Zertifikat <i>Diagnostik eingeschränkter Funktionen und Fähigkeiten</i> (1.0 SWS), Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
20.01.2009	Ausbildung <i>Deutsches Rettungsschwimmabzeichen der DLRG - Silber</i> , Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
04.05.2007 - 06.05.2007	Ausbildung <i>Betreuer künstlicher Kletterwände</i> , Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.

## Beruflicher Werdegang

Seit 28.11.2014	Lehrtätigkeit an der <i>École Nationale de l'Éducation Physique et des Sports</i> (E.N.E.P.S.), Luxemburg.
22.05.2013 - 14.09.2013	Lehrtätigkeit ( <i>Enseignant Éducation Physique</i> ) an der Hauptschule <i>Lycée Technique Ettelbrück</i> , Luxemburg.
20.06.2011 - 23.06.2011	Betreuer einer Kindergruppe im Ferienlager Remerschen, Luxemburg.
09.06.2010 . 11.06.2010	Betreuer einer Kindergruppe im Ferienlager Bourglinster, Luxemburg.
04.05.2009 - 08.05.2009	Betreuer einer Kindergruppe im Ferienlager Xonrupt, Frankreich.
04.06.2008 - 06.06.2008	Betreuer einer Kindergruppe im Ferienlager Merscheid, Luxemburg.

## Lehrtätigkeit

Seit 28.11.2014	Lehrtätigkeit an der <i>École Nationale de l'Éducation Physique et des Sports</i> (E.N.E.P.S.), Luxemburg.
22.05.2013 - 14.09.2013	Lehrtätigkeit ( <i>Enseignant Éducation Physique</i> ) an der Hauptschule <i>Lycée Technique Ettelbrück</i> , Luxemburg.
24.04.2013 - 17.07.2013	Tutorentätigkeit (2.0 SWS) an der Deutschen Sporthochschule Köln (HS 7 Bouldern - Lehramt), Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.
WS 2010 - 2011	Leiter eine Kindergruppe auf freiwilliger Basis ohne Honorar an der Deutschen Sporthochschule in Kooperation mit dem Verein Turnteam Toyota Köln e.V., Deutsche Sporthochschule Köln, Deutschland.