

Dozent: Dr. Guido Köstermeyer

Abgabedatum: 01.10.2015

Thema der Zulassungsarbeit:

„Untersuchung des Zusammenhangs der Fingermaximalkraft und der gekletterten Schwierigkeit beim Bouldern“



abgegeben von: Franz Kaiser

Matrikelnummer: 21560183

E-mail: franzi.kaiser@web.de

INHALTSVERZEICHNIS:

1	Einleitung und Fragestellung.....	3
2	Begriffe und Forschungsstand.....	5
	2.1 Bouldern.....	5
	2.2 Maximalkraft.....	7
	2.3 Maximalkraft im Klettern.....	9
	2.4 Bedeutung der Fingerkraft beim Klettern.....	12
	2.5 Forschungsstand zur Fingerkraft beim Sportklettern und Bouldern.....	13
3	Maximalkraftmessung der Fingerbeuger.....	20
	3.1 Hypothesen.....	21
	3.2 Methode.....	22
	3.2.1 Messsystem.....	22
	3.2.2 Griffform und Fingerstellung.....	26
	3.2.3 Testablauf.....	28
	3.2.4 Stichprobe.....	31
4	Ergebnisse.....	33
	4. 1 Durchschnittswerte und Standardabweichung.....	34
	4. 2 Zusammenhang der Fingermaximalkraft mit den Boulder- schwierigkeiten.....	35
	4. 3 Vergleich der Handseiten und der beiden Fingerstellungen.....	42
	4. 3 Weitere Ergebnisse.....	46
	4. 3 Diskussion.....	48

5	Zusammenfassung und Ausblick.....	53
6	Danksagung.....	54
7	Literaturverzeichnis.....	55
8	Abbildungsverzeichnis.....	58
9	Anhang.....	59

1 Einleitung und Fragestellung

Das Klettern liegt uns Menschen schon seit Urzeiten in den Genen. Betrachtet man unsere nächsten Verwandten, die Affen, wird leicht ersichtlich, dass es sich beim Klettern auf Bäumen oder Felsen um natürliche Bewegungen handelt, die tief in unserem Bewegungsapparat verankert sind. Zu einer eigenständigen Sportart hat sich das Klettern im Vergleich zu traditionellen Sportarten wie Leichtathletik oder Fußball allerdings erst recht spät entwickelt. Dies hat natürlich mehrere Gründe, die sich vor allem durch die Entwicklung des Kletterns beschreiben lassen.

Gerade im letzten Jahrhundert hat sich das Klettern vom Abenteuer- und Naturaspekt entfernt und sich zunehmend zu einer Hochleistungssportart entwickelt. Der Leistungsgedanke und das Streben nach höheren Schwierigkeitsgraden ist immer mehr in den Mittelpunkt gerückt (Hörst, 2008). Vom klassischen Bergsteigen, der Entstehung des Freikletterns im Elbsandstein und im Frankenjura, bis hin zu dessen Differenzierung zum modernen Sportklettern in den 1970er Jahren hat sich der Klettersport mit seinen vielfältigen Richtungen kontinuierlich weiterentwickelt. War es zu Beginn des Bergsports und Kletterns noch oberstes Ziel einen Gipfel oder Felsturm zu ersteigen (Eroberungsgedanke), ist es im modernen Sportklettern vorwiegend das Ziel eine schwierige Wand rotzupunkt, das heißt eine Route sturzfrei und ohne Belastung der Sicherungskette in freier Kletterei, zu bewältigen (Albert, 2005). Der Gipfelerfolg tritt hier mehr in den Hintergrund und die sportliche Leistung gewinnt mehr an Bedeutung.

Da das Klettern an der Leistungsgrenze eine große Faszination auf den Kletterer ausübt, wurde es in den letzten Jahrzehnten in der Bevölkerung zunehmend beliebter (Köstermeyer, 2012). Die Einführung des Rotzupunktgedankens Ende der 1970er Jahre ist maßgeblich an dieser Entwicklung beteiligt, denn diese ist auch der Grund, dass ab den 1970er Jahren die Leistungsgrenzen immer weiter nach oben verschoben wurden (Köstermeyer, 2012).

Die zunehmende Beliebtheit am Klettersport spiegelt sich auch in den Zahlen des Deutschen Alpenvereins (DAV) wieder. Die Anzahl der Kletterer in Deutschland wird momentan auf etwa 300.000 geschätzt und europaweit klettern mittlerweile mehr als zwei Millionen Menschen (DAV, 2014).

Durch das wachsende Interesse am Klettern stieg vor allem im Laufe der letzten Jahrzehnte das Angebot an Klettermöglichkeiten beziehungsweise deren Infrastruktur erheblich an. Es existieren allein in Deutschland laut aktuellen Zahlen des DAV 200

künstliche Alpenvereinskletteranlagen und zahlreiche private Anlagen (DAV, 2014), die der breiten Öffentlichkeit zugänglich sind und an denen mehr als eine Million Aktive regelmäßig klettern. Gerade durch diese Hallen wird die Sportart im Gegensatz zum reinen Felsklettern wetterunabhängig und für Stadtbewohner leicht zugänglich.

Durch seine Popularität hat sich das Klettern im Laufe der Jahre stark differenziert. Vom ursprünglichen Abenteuer- und Natursport hat es sich neben der Entwicklung zu einer professionalisierten Hochleistungssportart, zu einer modernen Trend- und Breitensportart entwickelt (Köstermeyer, 2000). Das Klettern ist dabei in seinen verschiedenen Disziplinen so vielseitig und abwechslungsreich, dass jeder seine Spezialdisziplin finden kann. Es reicht vom Eisklettern und Bigwallklettern bis hin zum Deepwatersoloing und Bouldern, um nur ein paar Bereiche dieser faszinierenden Sportart zu nennen. Im Breitensport erfreuen sich in den letzten Jahren besonders die Disziplin Bouldern und Sportklettern großer Beliebtheit (Fanchini et al., 2013).

Egal ob Jung oder Alt, ob Profi oder Anfänger, der Klettersport ist so facettenreich, dass ihn so gut wie jeder ausüben kann. Durch die mittlerweile sehr gute Kletterinfrastruktur ist es dabei für Personen jeden Alters möglich ihre Leistungsfähigkeit durch entsprechendes Training zu verbessern. Besonders bemerkenswert an dieser Sportart ist auch, dass Höchstleistungen nicht nur in jungen Jahren vollbracht werden. So konnte beispielsweise nicht nur ein Adam Ondra mit 13 Jahren eine Route im elften Schwierigkeitsgrad durchsteigen, sondern erst kürzlich kletterte der 48-jährige Ben Moon eine Route im selben Schwierigkeitsgrad (Stöhr, 2015).

Welche Faktoren beeinflussen nun diese außergewöhnlichen Kletterleistungen? Ein regelmäßiges und zielgerichtetes Training spielt hier neben einem gewissen Bewegungstalent sicherlich die größte Rolle. Doch lassen sich im Klettern sehr viele einzelne Aspekte trainieren. Das wirft die interessante Frage auf, welches denn nun die leistungsrelevanten Merkmale sind, die sich durch gezieltes Training verbessern lassen. MacLeod (2012) und Köstermeyer (2012) nennen in konditioneller Hinsicht neben der Kraftfähigkeit der Schulter-, Oberarm-, Unterarm und Rumpfmuskulatur auch die Fingerkraft als leistungsrelevant. Dies veranlasste mich dazu die Fingerkraft von Kletterern verschieden Niveaus zu messen und mit deren Kletterleistung zu vergleichen. Im speziellen befasst sich diese Arbeit mit dem Zusammenhang der Fingermaximalkraft und der gekletterten Schwierigkeit beim Bouldern.

2 Begriffe und Forschungsstand

Für ein sportartspezifisches Verständnis der Arbeit wird im Folgenden nun auf die Begriffe „Bouldern“, „Maximalkraft“ und „Maximalkraft der Fingerbeuger“ genauer eingegangen. Anschließend wird die Bedeutung der Fingerkraft allgemein beim Klettern und der aktuelle Forschungsstand der Fingerkraft im Sportklettern und Bouldern erörtert.

2.1 Bouldern

Das aus dem Englischen beziehungsweise Amerikanischen stammende Wort „Boulder“ bedeutet Felsblock. Unter der Tätigkeit Bouldern bezeichnet man das seilfreie Klettern in Absprunghöhe an diesen Blöcken, das in den meisten Fällen relativ harmlos ist. „Harmlos meint in diesem Zusammenhang, dass die Gefahr einer Verletzung mit Todesfolge oder dramatischen Verletzungen relativ gering und der Ausdruck Absprunghöhe als ein dehnbarer Begriff zu verstehen ist“ (Hofmann, 2007, S.16).

Gebouldert wird an Felswänden oder an künstlichen Kletterwänden. Zum Schutz vor Sturzverletzungen dienen sowohl am Fels als auch in den Hallen sogenannte Boulderermatten.

Der Grundgedanke dieser Kletterdisziplin ist nach Hofmann (2007) die „Überwindung komplexer Probleme mit konzentrierter Schwierigkeit“.

Boulder lassen sich unterteilen in Bloc-Boulder, Traversen-Boulder und Highball-Boulder. Bloc-Boulder gehen in der Regel mit ein paar Zügen kompromisslosen Kletterns vertikal nach oben und werden oben oft ausgestiegen beziehungsweise enden an einem großen Griff in Wandmitte. Bei Traversen-Boulder quert der Kletterer horizontal am Fels oder der Kunstwand entlang. Er steigt zum Beispiel links ein und rechts wieder aus. Im Gegensatz zu den Bloc-Bouldern, die meist nur wenige Kletterzüge haben, können Traversen laut Hofmann (2007) auch 20, 30 oder mehr Züge haben. Ebenso gibt es auch Kombinationen aus Querung und Bloc-Boulder. Bei Highball-Bouldern handelt es sich hingegen eher um Routen, bei denen die Grenzen zum Soloklettern fließend sind. Gestartet wird bei den verschiedenen Bouldern meist im Stehen, es kann allerdings auch im Sitzen oder manchmal sogar im Liegen begonnen

werden. Schon um 1890 bestiegen die sogenannten „Bleausards“ die bei den Felsen um Fontainebleau, Frankreich, im Wald liegenden Sandsteinblöcke. Als etwas wirklich Eigenständiges etablierte sich das Bouldern etwa in den 1930er Jahren an diesen Blöcken von Fontainebleau. In den USA wurde der Bouldersport bereits in den 1950er Jahren maßgeblich durch den Mathematik-Professor John Gill geprägt. In Deutschland war in den 1970er und 80er Jahren einer der großen Pioniere der Nürnberger Wolfgang Fietz, der im Frankenjura das Bouldern prägte (Albert, 2005). Seit den 1970er Jahren ist das Bouldern eine eigene Disziplin des Sportkletterns und hat vor allem seit den 90er Jahren eine rasante Entwicklung erlebt.

Da die Vergleichbarkeit verschiedener Boulder besonders durch die Schwierigkeit interessant wurde, wurden für die Schwierigkeitsbewertung der Boulder in verschiedenen Ländern auch unterschiedliche Bewertungsskalen eingeführt. Besonders bekannt sind hier die UIAA-Skala (in Europa), die amerikanische V-Skala und die französische Fb-Skala (Fontainebleau-Skala). Die weiteste Verbreitung dürfte international die Fb-Skala gefunden haben. Diese differenziert ein Boulderproblem danach, ob es sich um ein reines Boulderproblem (Fb-Bloc) oder um ein Traversenproblem (Fb-Trav) handelt (Hofmann, 2007).

UIAA-Skala	Fb bloc	Fb Trav.	USA	England
3	1	1/2	-	
4	2	3	-	
5	3	3/4	-	
6-	4-	4	-	
6	4	4+	-	
6+	4+	5a	V0	
7-	5a	5b	V1	
7	5b	5c	V2	
7+	5c/6a	6a	V3	5a
8-	6a+	6b	V4	
8	6b	6c	V5	5b
8+	6b+/6c	6c+	V6	5c
9-	6c+	7a	V7	
9	7a	7a+	V8	6a
9+	7a+/7b	7b	V9	6b
10-	7b+	7b+/7c	V10	
10	7c/7c+	7c/7c+	V11	6c
10+	8a	8a/8a+	V12	7a
11-	8a+	8b	V13	
11	8b/8b+	8b+	V14	7b

Tabelle 1: Schwierigkeitsgrade im Vergleich

Wenn man über Schwierigkeitsgrade am oberen Ende der Skalen spricht, ist es wichtig zu wissen, dass die Bewertungssysteme nicht fixiert sind. Da immer schwierigere Routen erstbegangen werden, kommt es regelmäßig zu Abwertungen und Erweiterungen der Bewertungsskalen. Aktuell liegt hier die oberste Grenze bei Fb 8C+ (UIAA 12). Davon unberührt bleibt jedoch der subjektiv empfundene Schwierigkeitsgrad.

2.2 Maximalkraft

Grundsätzlich wird von einer Kraftleistung gesprochen, wenn sich der betroffene Muskel mit über 30% seiner maximalen Kraft kontrahiert (Neumann, 2007). Die Fachliteratur unterteilt den Begriff Kraft in verschiedene Bereiche. So muss sie zunächst unter dem Aspekt der allgemeinen und speziellen Kraft betrachtet werden. Unter der allgemeinen Kraft wird dabei die sportartunabhängige Kraft aller Muskelgruppen verstanden, unter spezieller Kraft die für eine bestimmte Sportart typische Kraft der Muskelgruppen, die bei der sportlichen Bewegung beteiligt ist. Grundsätzlich lassen sich drei Hauptformen ableiten: Die Maximalkraft, die Schnellkraft und die Kraftausdauer. Diese Hauptformen werden neuerdings noch durch die Reaktivkraft, welche eng mit der Schnellkraft verbunden ist, ergänzt (Weineck, 2010). Die verschiedenen Kraftformen treten in der Regel nicht isoliert auf sondern oft in Kombination. Wie diese ineinander übergehen kann, ist an der unten stehenden Abbildung dargestellt.

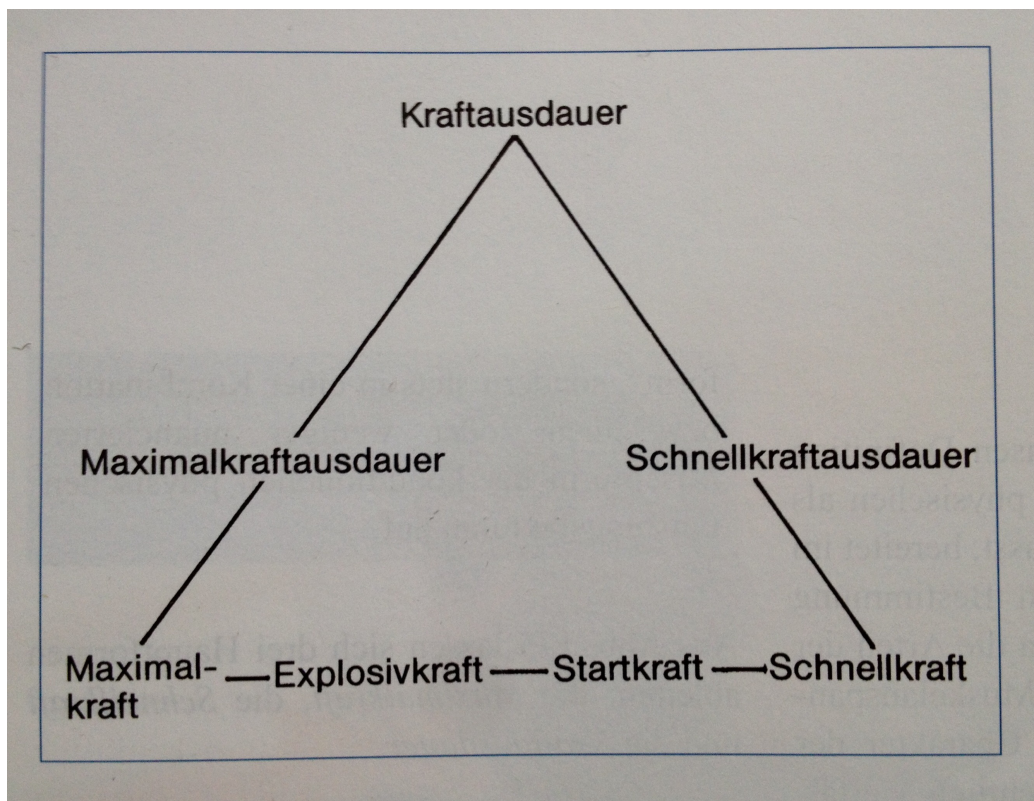


Abb.1: Die Wechselbeziehungen der drei Hauptformen der Kraft

Die Maximalkraft stellt nach Weineck (2010) die höchstmögliche Kraft dar, die das Nerv-Muskel-System bei maximaler willkürlicher Kontraktion auszuüben vermag. Höher als die Maximalkraft ist nur noch die Absolutkraft. Diese ist die Summe aus Maximalkraft und Kraftreserven, die nur unter besonderen Bedingungen wie zum Beispiel Todesangst mobilisiert werden kann.

Die Stärke der Maximalkraft ist von den folgenden drei Komponenten abhängig: Dem physiologischen Muskelquerschnitt, der intermuskulären Koordination (Koordination zwischen den Muskeln, die bei einer Bewegung zusammenarbeiten) und der intramuskulären Koordination (Koordination innerhalb des Muskels bzw. der Muskelfasern). Eine Verbesserung der intramuskulären Koordination ist vor allem beim Klettern wichtig, da man damit eine Kraftzunahme ohne Querschnitts- und Gewichtszunahme realisieren kann.

Des Weiteren wird die Maximalkraft noch in statische und dynamische Maximalkraft unterschieden. Nach Weineck (2010) ist die statische Maximalkraft „die höchste Kraft, die das Nerv-Muskel-System bei willkürlicher Kontraktion gegen einen unüberwindlichen Widerstand auszuüben vermag; die dynamische Maximalkraft hingegen ist die höchste Kraft, die das Nerv-Muskel-System bei willkürlicher Kontraktion innerhalb eines Bewegungsablaufes zu realisieren vermag“ (Weineck, 2010, S.373). Da eine maximale Kraft nur dann auftreten kann, wenn sich die Belastung und die Kontraktionskraft des Muskels das Gleichgewicht halten, ist die statische Maximalkraft auch stets größer als die dynamische.

Die genaue Unterteilung der Kraftformen in ihre jeweiligen Kraftfähigkeiten ist in Abbildung 2 veranschaulicht. Hier werden zudem für die jeweiligen dynamischen und statischen Kraftfähigkeiten Beispiele aus verschiedenen Sportarten genannt:

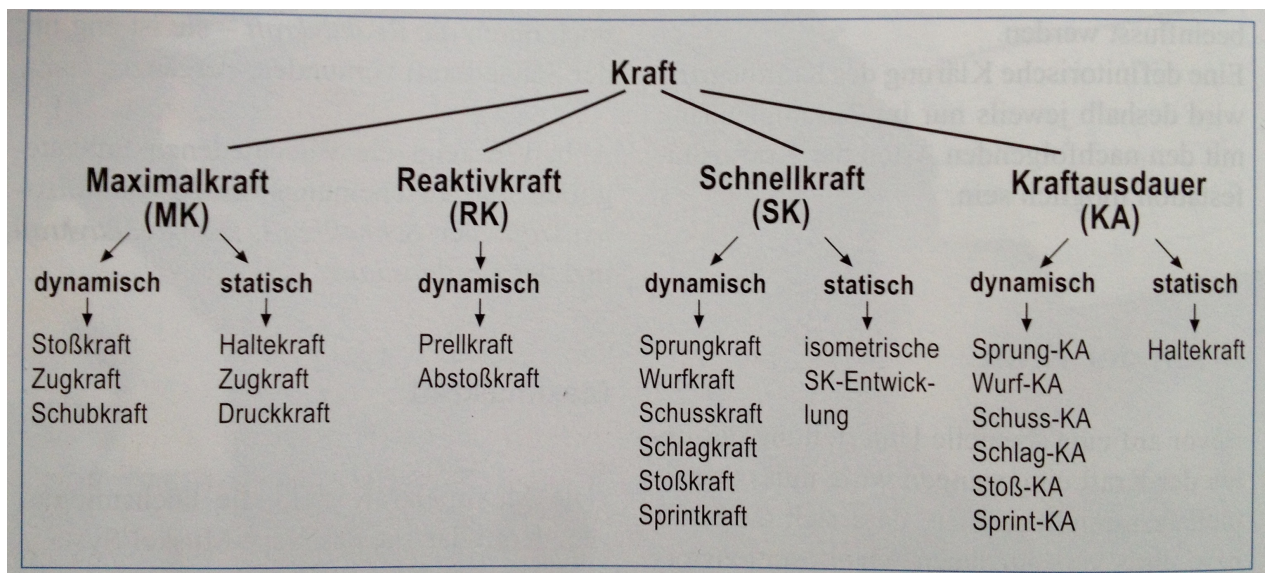


Abb. 2: Die Kraft und ihre verschiedenen Krafftähigkeiten und Erscheinungsformen

Generell ist zu erwähnen, dass die drei Hauptformen Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer in irgendeiner Form fast in jeder Sportart vorkommen und einen mehr oder weniger ausgeprägten leistungsbestimmenden Faktor darstellen (Weineck, 2010). Im Leistungssport spielt deshalb ihre sportartspezifische Entwicklung eine wichtige Rolle.

2.3 Maximalkraft im Klettern

Nach MacLeod (2012) und Köstermeyer (2012) ist für den Kletterer die Schulter-, Arm- und Fingermuskulatur extrem wichtig. So stellt sich allerdings die Frage, welche Kraftform hierbei für Kletterrouten und insbesondere für Boulder am meisten benötigt wird. Betrachtet man verschiedene Routen, so wird man feststellen, dass sich diese nicht nur in Schwierigkeit, Wandneigung, Griffformen, Gesteinsart usw. sondern auch durch ihre Kletterlänge unterscheiden.

Neumann (2007) beschreibt hierzu in einer Tabelle sehr übersichtlich, wie sich verschiedene Routen hinsichtlich ihrer Kraftaspekte voneinander unterscheiden.

In folgender Tabelle werden mehrere Routen nach ihrer Schwierigkeit geordnet und durch ihre Kletterlänge (Züge) und der für die Routen benötigte Kraftform beschrieben.

Grad	Route	Gebiet	Züge ca.	Passagen bis...	Kraftaspekt vorrangig
IX+	Ekel	Frankenjura	10	IX	MK
IX+	Peacemaker	Frankenjura	20	IX-/IX	KA
IX+	Pol-Pot	Verdon	38	IX-	LA
IX	Terminator	Volx	14	IX-	MK
IX	Halloween	Frankenjura	18	IX+	KA
IX	Treblinka	Cimai	50	IX/IX+	LA
XI-/XI	Hubble	Raren Tor	15	XI-	MK
XI-/XI	Broux	Orgon	50	X+	KA
XI-/XI	Just do it!	Smith Rocks	100	X	LA

Tabelle 2: Unterschiedliche Anforderungen in verschiedenen Sportkletterrouten (Die Kraftformen Maximalkraft, Kraftausdauer und lokale Ausdauer werden mit MK, KA und LA abgekürzt)

Besonders markant ist hier, dass sich sehr lange Routen (38 und mehr Züge) der lokalen Ausdauer zuordnen lassen, mittellange Routen (etwa 15 bis 38 Züge) der Kraftausdauer und sehr kurze Routen (15 und weniger Züge) der Maximalkraft.

Ebenso fällt auf, dass je kürzer die Routen werden die Maximalkraft mehr in den Vordergrund rückt. So ist in der sehr kurzen Route Ekel beispielsweise vorrangig die Maximalkraft gefragt. Diese mit etwa 10 Kletterzügen angegebene Route ist aufgrund ihrer Länge sehr gut mit einem Boulderproblem vergleichbar. So lässt sich vermuten, dass die meisten Boulder neben Kraftausdauer vorrangig Maximalkraft erfordern.

Neben der Anzahl der Kletterzüge ist jedoch auch die Belastungsdauer relevant. Guyon & Broussoloux (2004) und Watts (2004) stellten fest, dass die Begehungszeiten im Sportklettern im Durchschnitt zwischen 2 bis 7 Minuten betragen, während im Bouldern eine Belastungsdauer von mehr als 60 Sekunden kaum erreicht wird.

Für die spezifische Kraft im Klettern ist folglich die Maximalkraft und Kraftausdauer der oberen Extremitäten bedeutend (Köstermeyer, 2012). Bei einem schweren Einzelzug ist neben der Kraft in den Schultern und Oberarmen vor allem die Maximalkraft und Kraftausdauer in den Fingerbeugern wichtig.

Kein Kletterer schafft zum Beispiel einen schweren Kletterzug, wenn er die Kraft, die nötig ist um in der Wand zu hängen nicht auf den Fels übertragen kann. Die Finger leisten hier neben den Füßen die Hauptkraftübertragung. Zu beachten ist dabei, dass das Verhältnis der Kraftübertragung von den oberen und unteren Extremitäten unter anderem von der Steilheit einer Route beziehungsweise eines Boulders abhängig ist. Krug (2009) erstellte hierzu eine Abbildung in welcher die unterschiedliche Arm- und Beinbelastung in Relation zur Wandneigung ausgedrückt wird. Gut lässt sich hier erkennen, wie die Belastung der Arme mit dem Steilheitsgrad zunimmt.

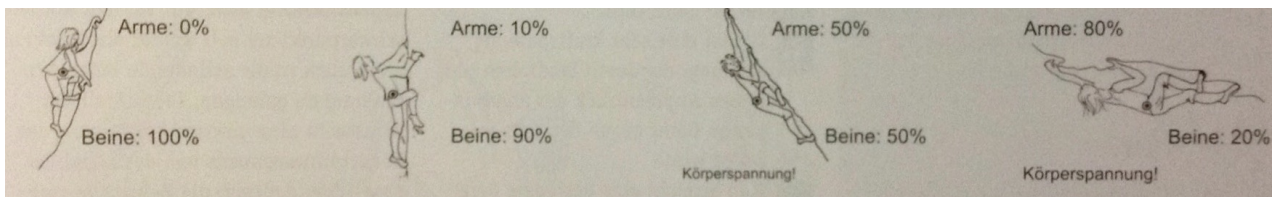


Abb.3: Steigende Armbelastung bei zunehmendem Steilheitsgrad (die Prozentangaben sind hier situationsabhängig variabel)

Generell gilt, dass bei Kletterzeiten bis etwa 30 Sekunden vorrangig die Maximalkraft und die Maximalkraftausdauer gefordert ist, bei Zeiten darüber vorrangig die Kraftausdauer (Köstermeyer, 2012). Da allerdings auch im Bouldern Kletterzeiten von mehr als 30 Sekunden auftreten können, spielt auch hier die Kraftausdauer eine große Bedeutung. Im Hinblick darauf scheint auch die Bewegungsschnelligkeit der Kletterdisziplinen mitzuentcheiden, ob der Kraftausdauer mehr oder weniger Bedeutung zugeschrieben werden muss. Im Bouldern beträgt die Kontaktzeit mit einer Hand durchschnittlich drei bis vier Sekunden, während in Rotpunktversuchen am Fels die Kontaktzeit im Durchschnitt fünf bis sieben Sekunden beträgt (Guyon & Broussoloux, 2004).

Im Hinblick auf die Bewegungsschnelligkeit, die Kontaktzeiten und die Belastungsdauer ergeben sich in den verschiedenen Kletterdisziplinen unterschiedliche Kraftanforderungen: In überhängenden Routen wird beispielsweise mehr Kraft benötigt, in senkrechten Routen mehr Technik, beim Bouldern mehr Maximalkraft und beim Routenklettern mehr Kraftausdauer (Köstermeyer, 2012).

2.4 Bedeutung der Fingerkraft beim Klettern

Die Kraftfähigkeit der Finger ist beim Klettern von entscheidender Bedeutung, da die Finger neben den Füßen das wichtigste Bindeglied zur Kletterwand darstellen (Stöhr, 2011). Bei einfachen Klettereien, welche meist in geneigtem Gelände stattfinden, ruht das Gewicht des Kletterers fast vollständig auf den Füßen. Die Hände haben in diesem Gelände lediglich eine Stabilisierungsfunktion und helfen so das Gleichgewicht beim Hochsteigen nicht zu verlieren. Wird die Kletterroute jedoch steiler und schwieriger, lastet -wie in Abbildung 3 dargestellt- mehr und mehr Körpergewicht auf den Armen bzw. Händen. Da im überhängenden Gelände der Körperschwerpunkt nicht mehr senkrecht über den Füßen lastet, muss ein großer Teil des Körpergewichts oder teilweise sogar das ganze Körpergewicht kontinuierlich mit den Fingern gehalten werden.

Die Bedeutung der Fingerkraft für das Klettern wurde schon anhand einiger Studien nachgewiesen. So beeinflussen nach Mermier (2000) besonders die trainierbaren Faktoren Finger- und Armkraft und Klettertechnik die Kletterleistung. Beim Klettern werden hinsichtlich der Fingermuskulatur überwiegend die Fingerbeuger beansprucht. Hier spielen der *Musculus flexor digitorum superficialis* (Beuger der Fingermittelgelenke) und der *Musculus flexor digitorum profundus* (Beuger der Grund-, Mittel- und Endglieder und des Handgelenks) eine wichtige Rolle (Keller & Schweizer, 2009).

In der Wissenschaft wurden vor allem in den letzten beiden Jahrzehnten verstärkt Untersuchungen zur Fingerkraft im Klettersport durchgeführt. Unterscheiden sollte man hierbei stets die verschiedenen Kraftformen welche in den Tests untersucht wurden. In Bezug auf die unterschiedlichen Erscheinungsformen der Kraft konnte neben der Maximalkraft vor allem die lokale Kraftausdauer der auf die Finger wirkenden Beugemuskulatur als zentraler, leistungslimitierender Faktor herausgearbeitet werden (Köstermeyer, 2000; Schöffl et al., 2006).

Im Bezug auf die Arbeitsweise der Finger- und Armmuskulatur ist das Klettern zudem von einem ständigen Belastungs- und Entlastungswechsel gekennzeichnet (Köstermeyer, 2000). Das heißt, wenn wir einen Kletterzug machen, fixiert die eine Hand einen Griff, während die andere weitergreift. Während des Fixierens ist hier die Fingermuskulatur angespannt (isometrische Kontraktion), bei der weitergreifende Hand hingegen ist die Fingermuskulatur entspannt und kann sich so kurzzeitig erholen. Die Kontakt-

zeit während des Fixieren unterscheidet sich im Bouldern (durchschnittlich drei bis vier Sekunden) und im Sportklettern (im Durchschnitt fünf bis sieben Sekunden) (Guyon & Broussouloux, 2004).

Laut Schöffl (2014) gilt allgemein im Klettersport, dass die Fingerkraft sowie die Kraftausdauer der Unterarme die wichtigsten Faktoren darstellen. Da aber die Kletterleistung sehr komplex ist, lassen sich die große Bedeutung von Technik, Taktik und Bewegungsgefühl nur schwer darstellen. Welche Parameter nun den wichtigsten Einfluss auf die Kletterleistung darstellen ist noch immer nicht eindeutig geklärt (Schöffl, 2014). Nichts desto trotz wird die Kraft der Fingerbeuger zu einer limitierenden Größe und ist vor allem im Leistungsklettern von zentraler Bedeutung.

Gerade in den hohen Schwierigkeitsgraden entstehen hohe Belastungen im Bereich der Finger, deren Bänder, Knorpel und Sehnen, welche bis zum Äußersten belastet werden (Schöffl, 2014).

2.5 Forschungsstand zur Fingerkraft beim Sportklettern und Bouldern

Wie schon oben erwähnt wurden in den letzten beiden Jahrzehnten einige Studien durchgeführt, welche leistungsrelevante Faktoren im Klettersport untersuchten. Im Folgenden werden nun mehrerer Studien dargestellt, die neben anderen Faktoren vor allem den Faktor Fingerkraft betrachteten. Da in den nachfolgenden Studien verschiedene Personengruppen (hinsichtlich ihres Leistungsstandes) mit unterschiedlichen Messgeräten getestet wurden werden diese Unterschiede für eine bessere Vergleichbarkeit ebenfalls genannt. Wichtig in Hinsicht auf die Vergleichbarkeit sind ebenso die teils unterschiedlichen Kontrollgruppen der einzelnen Studien.

Mermier, Janot, Parker & Swan (2001)

Mermier et. al (2001) untersuchten die physiologischen und anthropometrischen Determinanten für die Sportkletterleistung. Diese Studie wurde an 44 Kletterern (24 Männer und 20 Frauen), deren Rotpunktbestleistung zwischen 5a bis 8a+ durchgeführt. Neben anthropometrischen (Größe, Gewicht, Armspannweite usw.) und demographischen Faktoren (Klettererfahrung, wöchentlicher Trainingsumfang usw.) stellten sich in dieser Studie vor allem die physiologischen Merkmale (Beugung der Knie, maximale Zangengriffkraft, maximale Greifkraft, Ausdauer der Fingerbeuger u.a.) als leistungsre-

levant heraus. Die Greif- bzw. Fingerkraft wurde hier mit einem Dynamometer gemessen und in Relation zum Körpergewicht der Probanden gesetzt. Mermier et al. kamen zum Ergebnis, dass die trainierbaren Komponenten (die physiologischen Merkmale) 58,9%, die anthropometrischen Merkmale 0,3% und die Flexibilität 1,8% der Varianz aufklären.

Fanchini & Violette & Impellizzeri & Maffiuletti (2013)

Fanchini et al. (2013) untersuchten die kletterspezifische Fingerkraft im Bouldern und Sportklettern. Sie unterschieden bei ihren Untersuchungen zwischen maximaler Kontraktionskraft der Fingerbeuger und dem Anteil der Kraftentfaltung der Fingerbeuger. Beides testeten Sie an einer kleinen Leiste mit der Griffposition „aufgestellt“ und „halb-offen“. Hauptziel dieser Studie war es die kletterspezifische Muskelkraft und die schnelle Kraftleistung der Fingerbeuger zwischen hochklassigen Boulderern (10 männliche Boulderer, die auf nationalen und internationalen Wettkämpfen teilnahmen), Sportkletterern (10 männliche Sportkletterer, die auf nationalen und internationalen Wettkämpfen teilnahmen) und Nicht-Kletterern (10 Sportstudenten ohne jegliche Klettererfahrung) zu erforschen. Als Unterschied zwischen Sportklettern und Bouldern werden in dieser Studie zum einen die Wandhöhe und die effektive Kletterzeit beschrieben. Sportkletterwettkämpfe werden beispielsweise auf 12 bis 18 Meter hohen Wänden ausgetragen, während Boulderwettkämpfe auf Wänden von 4 bis 5 Metern stattfinden und somit eine deutlich geringere Kletterzeit (ca. 30 Sekunden beim Bouldern vs. 2-7 Minuten beim Sportklettern) benötigen. Ebenso werden bei Boulderwettkämpfen mehrere Versuche im Vergleich zum Lead gemacht und explosivere Bewegungen durchgeführt. Statische Bewegungen sind demnach beim Bouldern wiederum geringer (25% Bouldern vs. 38% Lead).

Die Fingerkraftmessungen wurden in dieser Studie an einer speziellen Vorrichtung mit einem Klettergriff durchgeführt. An diesem Griff wurden die Testpersonen instruiert ihre Fingerkraft so schnell und stark wie nur möglich für etwa drei Sekunden zu übertragen.

Generell waren die Kletterer bei diesen Tests stärker als Nichtkletterer. Aber interessanter war das Ergebnis, dass die MVC- (maximale Kontraktionskraft der Fingerbeuger) und die RFD-Werte (Anteil der Kraftentfaltung der Fingerbeuger) der Boulderer signifikant höher waren als die der Sportkletterer, sowohl in aufgestellter als auch halb-offener Griffposition.

Ebenso wurde festgestellt, dass RFD-Werte die spezifischen Anforderungen des Boulderns am besten widerspiegeln und dass diese Werte zutreffender sind als die der reinen maximalen Kraft.

Auch Watts (1993) fand ähnliches bei Weltcupkletterern heraus. Er konnte belegen, dass diese neben einem geringen Körperfettanteil eine sehr hohe absolute und relative Greifkraft hatten.

Schweizer & Furrer (2007)

Schweizer & Furrer (2007) machten eine Studie zur Korrelation der Unterarmkraft und der Sportkletter-Performance (Leistungsfähigkeit). Sie untersuchten dabei 25 Freizeitkletterer, die sich auf einem Rotpunktniveau von 7a bis 8b+ bewegten. Gemessen wurden an einer speziellen isokinetischen Gerätschaft die „eccentric and concentric isokinetic maximum strenght of wrist (wr) flexion, proximal interphalangeal joint (pi) flexion of the middle- and ringfinger and a ‚rolling in a bar‘ movement involving both interphalangeal joints and the metacarpophalangeal joint (ro) of all fingers“.

Als Ergebnis zeigte sich in dieser Studie keine Korrelation zwischen absoluter Maximalkraft und Kletterleistung. Die relative Kraft bei allen drei Übungen hingegen ergab eine signifikante Korrelation mit der Kletterleistung (Rotpunkt). Der größte Zusammenhang wurde zwischen der Rotpunktleistung und der konzentrischen Handgelenksbeugung festgestellt. Somit war für die Unterarmmuskulatur die konzentrische Handgelenksbeugung der beste Prädiktor für die Kletterleistung.

Philippe & Wegst & Müller & Raschner & Burtscher (2012)

Philippe et al. (2012) untersuchten die kletterspezifische Fingerkraft und die Unterarmmuskulatur-Oxygenation von männlichen und weiblichen Elite-Sportkletterern. Getestet wurden neben den 12 männlichen und 12 weibliche Elite-Kletterern auch 12 Nicht-Kletterer (Sportstudenten ohne Klettererfahrung). Durchgeführt wurden in dieser Studie ein MVC-Test (maximum voluntary finger flexor contraction), sowie zwei isometrische Fingerbeuger Ausdauerests (mit 40 % der MVC bis zur Erschöpfung). Bei den MVC-Werten und dem Kraft-zum-Körpergewicht-Verhältnis kam heraus, dass Kletterer im Gegensatz zu Nichtkletterern deutlich stärker waren. Ebenso hatte die männliche Elite-Klettergruppe höhere Werte als die weiblichen Elitekletterer. Des Weiteren schnitten die beiden Kletterergruppen besser in den Ausdauerests (TTF) ab als die Nichtkletterer. Die Erholung der beanspruchten Muskulatur war bei den Kletterern

ebenso schneller. Schließlich könnte auch noch ein positiver Zusammenhang zwischen der besten Kletterleistung (onsight und rotpunkt) und dem Kraft-Gewicht-Verhältnis der weiblichen Eliteskletterer festgestellt werden.

Michailov (2014)

Michailov (2014) konnte ebenso die Leistungsrelevanz der Fingerkraft bestätigen. Dieser stellte fest, dass bei Sportkletterern verschiedenen Leistungsstands (4-11 UIAA) die „handgrip dynamometrie and bent-arm hang scores“ stark mit der Rotpunktleistung korrelieren. Ebenso stellt er die Kraftausdauer als einen Leistungsfaktor von höchster Wichtigkeit dar. Neben der Kraftausdauer nennt er als Hauptleistungsfaktoren unter anderem auch die sportartspezifische Maximalkraft der Unterarmmuskulatur im Verhältnis zum Körpergewicht sowie die „rate of Force development“ der Fingerbeuger.

Macdonald & Callender (2011)

Macdonald & Callender (2011) untersuchten das athletische Profil von 12 hochklassigen Boulderern. Dieses wurde mit dem Profil von nichtkletternden Sportlern verglichen. Im Hinblick auf die Fingerkraft erzielte die Kletterergruppe höhere Werte bei der maximalen Greifkraft (Greif-Dynamometer) und der kletterspezifischen Fingerkraft (Finger flexor dynamometer). Die Fingerkraftwerte und die auf das Körpergewicht bezogene Fingerkraft (relative Fingerkraft) waren mit 22% und 25% sogar signifikant höher als bei der Kontrollgruppe.

Magiera, Rocznik, Maszczyk, Czuba, Kantyka & Kurek (2013)

Magiera et al. (2013) untersuchten bei 30 erfahrenen Sportkletterern (Mittel onsight: 7b+; Mittel rotpunkt: 8a) leistungsrelevante Faktoren. Für die Kletterleistung entscheidend stellte sich 7 Faktoren (maximal strengt of the fingers, mental endurance and technique, isometric endurance of the fingers, the number of errors in the complex reaction time test, ape index and oxygen uptake during arm work at the anaerobic threshold) heraus. In puncto Fingerkraft war in dieser Studie neben der isometrischen Kraftausdauer der Fingerbeuger vor allem die maximale relative Fingerkraft entscheidend. Der bedeutendste Faktor in dieser Studie war die Maximalkraft der vier Fingerbeuger (ohne Daumen) in Abhängigkeit zum Körpergewicht.

Michailov & Mladenov & Schöffl (2009)

Michailov et al. (2009) untersuchten die anthropometrischen Einflussgrößen auf die Kletterleistung im Bouldern. Dabei wurden verschiedene Tests bei 18 männlichen und 7 weiblichen Athleten, die am Boulderweltcup teilnahmen durchgeführt. Das Durchschnittsalter betrug bei diesen Spitzenathleten 25,8 Jahren bei den Männern und 25,1 Jahren bei den Frauen. Nach der Auswertung wurden die leistungsrelevanten Merkmale im Boulderweltcup mit denen von Leadweltcupkletterern verglichen, um Unterschiede bezüglich der verschiedenen Belastungsformen der Disziplin Bouldern und Lead (Sportklettern) darzustellen.

Bei dieser Studie wurden neben körperlichen Voraussetzungen wie Körpergröße, Gewicht, BMI, Körperfettanteil und Muskelmasse auch Greifkraft und spezifische Fingerkraft sowohl allgemein als auch auf das Körpergewicht bezogen (relative Kraft) untersucht. Die unspezifische Greifkraft wurde mit einem Dynamometer gemessen während die spezifische Fingerkraft mittels Waage an einer kleinen Leiste ermittelt wurde. An einer 10mm tiefen Leiste der Firma HRT wurde die maximale Fingerkraft (absolute und relative) gemessen. Die Probanden durften hier aufgrund des Messsystems allerdings nur Mittel- und Ringfinger zum Festhalten benutzen. Durch eine Personenwaage wurde die spezifische Fingerkraft mittels des Entlastungswertes ermittelt. Ein genauer Testaufbau der kletterspezifischen Fingerkraftmessung ist in der Abbildung 4 dargestellt.



Abb.4: Testaufbau Michailov & Mladenov & Schöffl (2009)

Die wissenschaftliche Analyse der anthropometrischen Einflussgrößen auf die Kletterleistung im Boulder-Weltcup zeigte die Fingerkraftausdauer und die Relativkraft als wichtigste Einflussgrößen. Der Körperfettanteil, der BMI sowie das Körpergewicht hat für die Boulderer im Weltcup eine relativ untergeordnete Bedeutung (Schöffl, 2014). Allerdings muss hierzu berücksichtigt werden, dass sich diese Aussagen auch auf den Vergleich von Weltcup-Boulderer und Weltcup-Leadkletterern beziehen. Der Körperfettanteil ist beispielsweise bei den Eliteboulderern immer noch geringer als bei Kletterern mit einem niedrigerem Leistungsniveau.

Des weiteren hatten früher getestete Weltcup-Leadkletterern (Watts et al., 1993) im Vergleich zu den Testpersonen sehr ähnliche anthropometrische Werte. Dennoch gab es Unterschiede. So hatten die Gruppe der Boulderer zwar im Mittel einen höheren Anteil an Körperfett, allerdings hatten die männlichen Weltcup-Boulderer auch eine im

Durchschnitt 20% höhere Greifkraft als die Sportklettergruppe. Diese Tatsachen lassen sich durch den unterschiedlichen Charakter der beiden Disziplinen und der damit verbundenen Anpassungen der Athleten erklären. Während in Sportkletterwettkämpfen Belastungszeiten etwa 3 bis 10 Minuten dauern, treten in Boulderwettkämpfen intensivere Belastungen von nur wenigen Sekunden auf. Das jahrelange spezifische Training dieser Disziplinen führt somit zu körperlichen Anpassungen und erklärt weshalb sich reine Boulderer und Sportkletterer in verschiedenen konditionellen Faktoren unterscheiden. Gerade die Maximalkraft spielt im Bouldern somit eine wichtigere Rolle als bei längeren Routen, die meist mehr Kraftausdauer verlangen. Auch die kraftbetontere Art des Boulderns führt in der Regel dazu, dass Boulderer im Kontrast zu anderen Kletterern muskulöser sind.

Für die Kletterleistung im Bouldern ist laut dieser Studie somit neben der Kraftausdauer der Fingerbeuger vor allem die relative Kraft der Finger und die Maximalkraft relevant. Gut zu erkennen sind die leistungsentscheidenden Faktoren in folgender Grafik:

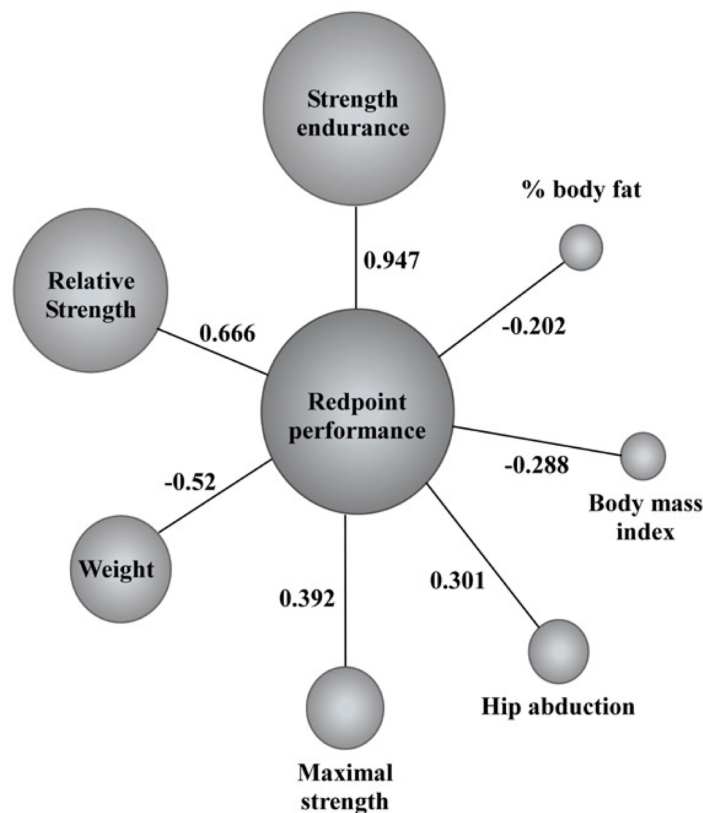


Abb. 5: Correlations between the redpoint achievements and some of the factors of performance (Michailov, 2009)

Zu berücksichtigen gilt bei dieser Studie natürlich, dass alle Probanden Hochleistungsathleten waren. Wie sich die verschiedenen leistungsrelevanten Faktoren bei Kletteranfängern bis hin zu Profis unterscheiden, wurde in dieser Untersuchung nicht direkt geklärt werden. An diesem Punkt setzt nun meine Forschung an. Durch weitere Messungen versuche ich, den Faktor Fingermaximalkraft von nicht-professionellen Kletterern verschiedenen Könnensstands genauer zu untersuchen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in trainingswissenschaftlichen Studien meist überwiegend das Leistungsprofil des Klettersports untersucht wurde. In diesem Zusammenhang wurden in Bezug auf die unterschiedlichen Erscheinungsformen der Kraft überwiegend für die Maximalkraft und die Kraftausdauer der Fingerbeugemuskulatur als leistungsbestimmende Faktoren ausgemacht (Köstermeyer, 2000; Watts, 2004).

In den oben genannten Studien wurden die Fingerkraftmessungen mit unterschiedlichen Geräten durchgeführt. Diese reichen von kletterunspezifischen Dynamometern bis hin zu Entlastungstests an kleinen Leisten. Bemerkenswert ist, dass trotz der unterschiedlichen Messgerätschaften in allen Studien der Fingerkraft eine gewisse Leistungsrelevanz zugeschrieben wird. Auch weitere Studien (Espana-Romero et al., 2009; Giles et al., 2006; MacLeod et al., 2006; Quaine & Vigouroux, 2004; Watts, 2004; Köstermeyer, 2000) bestätigten, dass die Fingerkraft eine Voraussetzung für das Klettern in einem hohen Schwierigkeitsgrad ist. Vor allem die relative Fingerkraft gilt in den Untersuchungen durchweg als leistungsentscheidend. Des Weiteren gilt in den meisten Studien für die Disziplin Bouldern die Maximalkraft der Fingerbeuger als besonders relevant.

3 Maximalkraftmessungen der Fingerbeuger

Wie aus dem aktuellen Forschungsstand hervorgeht ist die Fingerkraft im Klettern ein zentraler leistungsbestimmender Faktor. Da beim Bouldern aufgrund der kurzen Belastungszeiten die Maximalkraft eine bedeutende Rolle spielt, beschränken sich meine Messungen auf die relative Maximalkraft der Fingerbeuger von Boulderern verschiedener Leistungsstufen. Im dritten Gliederungspunkt werden nun die Hypothesen mei-

ner Tests genannt, danach die Messmethode im Hinblick auf das Messsystem, die Griffformen und Greifarten, der Testablauf und die Stichprobe genauer beschrieben.

3.1 Hypothesen

Da sich in mehreren Studien bestätigte, dass Hochleistungskletterer eine sehr hohe Maximalkraft und Kraftausdauer der Fingerbeuger im Vergleich zu Nicht-Kletterern vorwiesen ergibt sich die Frage wie stark sich die Fingerkraft verschiedener Kletterer (unterschiedlichen Könnenstands) voneinander unterscheiden. Es werden in dieser Studie also nicht zwei Gruppen miteinander verglichen, sondern der Zusammenhang von Kletterleistung im Bouldern und der maximalen Fingerkraft untersucht. Um hier präzise Aussagen zu treffen, wurde diese Studie auf die Maximalkraft der Fingerbeuger in der Disziplin Bouldern beschränkt. Die nachfolgenden Hypothesen wurden in diesem Zusammenhang aufgestellt.

Hypothesen 3-Finger-hängend:

Nullhypothese H0: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen der relativen Fingermaximalkraft (Fingerstellung: 3-Finger-hängend) und der Kletterleistung im Bouldern (Kletterschwierigkeit in der Halle).

Alternativhypothese H1: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der relativen Fingermaximalkraft (Fingerstellung: 3-Finger-hängend) und der Kletterleistung im Bouldern (Kletterschwierigkeit in der Halle).

Hypothesen 4-Finger-halboffen:

Nullhypothese H0: Es besteht kein positiver Zusammenhang zwischen der relativen Fingermaximalkraft (Fingerstellung: 4-Finger-halboffen) und der Kletterleistung im Bouldern (Kletterschwierigkeit in der Halle).

Alternativhypothese H1: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der relativen Fingermaximalkraft (Fingerstellung: 4-Finger-halboffen) und der Kletterleistung im Bouldern (Kletterschwierigkeit in der Halle).

3.2 Methode

Die Messmethode, die in dieser Studie angewandt wurde, ist vom Funktionsprinzip der klassischen Fingermaximalkraftmessung mithilfe einer Personenwaage sehr ähnlich. Die Testperson steht hierbei auf einer Waage und zieht mit einem Arm maximal an einer Leiste für das erste Fingerglied. „Gemessen wird dann die maximale Entlastung, die über einen Zeitraum von ein bis zwei Sekunden gehalten werden kann“ (Köstler, 2012, S. 196). Der Wert der maximalen Entlastung wird allerdings nicht direkt angezeigt, sondern muss errechnet werden indem man den minimalen Wert der Anzeige vom Körpergewicht subtrahiert. Das Berechnen und die direkte grafische Rückmeldung über die Entlastungswerte stellten einen der größten Unterschiede zu dem von mir verwendeten System dar. Im Folgenden werden die Einzelheiten des verwendeten Systems genauer erklärt.

3.2.1 Messsystem

Beim verwendeten System handelt es sich um drei Komponenten, ein Gestell auf dem ein „Beastmaker 2000 Series“-Hangboard montiert ist, ein „Nintendo Wii Balance Board“ und einen PC auf Linux Basis. Das Beastmaker 2000 Series wurde verwendet, da es sich dabei um ein sehr verbreitetes Hangboard für das Klettertraining handelt und in den meisten Kletterhallen vorzufinden ist. Das Hangboard wurde für den gesamten Messzeitraum bei 0 Grad Neigung und auf einer Höhe von etwa 2 Metern an einem Holzgestell befestigt.

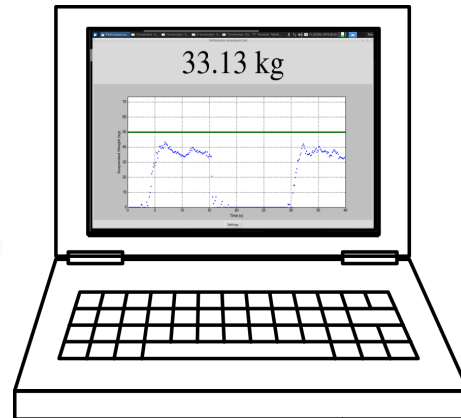
Das Balance Board, ist ein Bestandteil der Nintendo Wii Spielekonsole. Mit seinen Drucksensoren lässt es sich allerdings nicht nur für die Spielekonsole verwenden, sondern fungiert mit entsprechender Software auch als Waage. Der Vorteil gegenüber einer gewöhnlichen Waage ist jedoch, dass die Messwerte mittels Bluetooth-Funkverbindung und spezieller PC-Software direkt an den Computer gesendet werden.



(a) Hanging board (Beastmaker ©)



(b) Force platform (Wii Balance Board ©)



(c) Portable computer

Abb.6: Komponenten des Messsystems

Die Software ist dabei so eingestellt, dass zuerst das Balance Board unbelastet kalibriert wird, danach wird das Gewicht der Testperson gemessen und mit diesem Gewicht nochmals kalibriert. Die Software speichert das Gewicht und zeigt in einer Grafik in Echtzeit die Entlastung an, welche die Testperson auf das Hangboard ausübt. Die Entlastung wird errechnet indem das System das Gewicht, welches während des Tests auf die Waage einwirkt, von dem Körpergewicht der Testperson subtrahiert wird. Hat der Proband zum Beispiel ein Körpergewicht von 70kg und wird während der Messung das Balance Board mit 20kg belasten, so wird auf dem PC eine Entlastung von 50kg angezeigt.

Während der Messung sieht die Testperson sowohl den aktuell gemessenen Entlastungswert (Anzeige oben in der Mitte) als auch den graphischen Verlauf der Entlastung auf dem PC-Bildschirm. Durch die grafische Rückmeldung wird auch eine motivationssteigernde Wirkung vermutet. Der folgende Screenshot zeigt, wie die Software die Daten am PC darstellt.

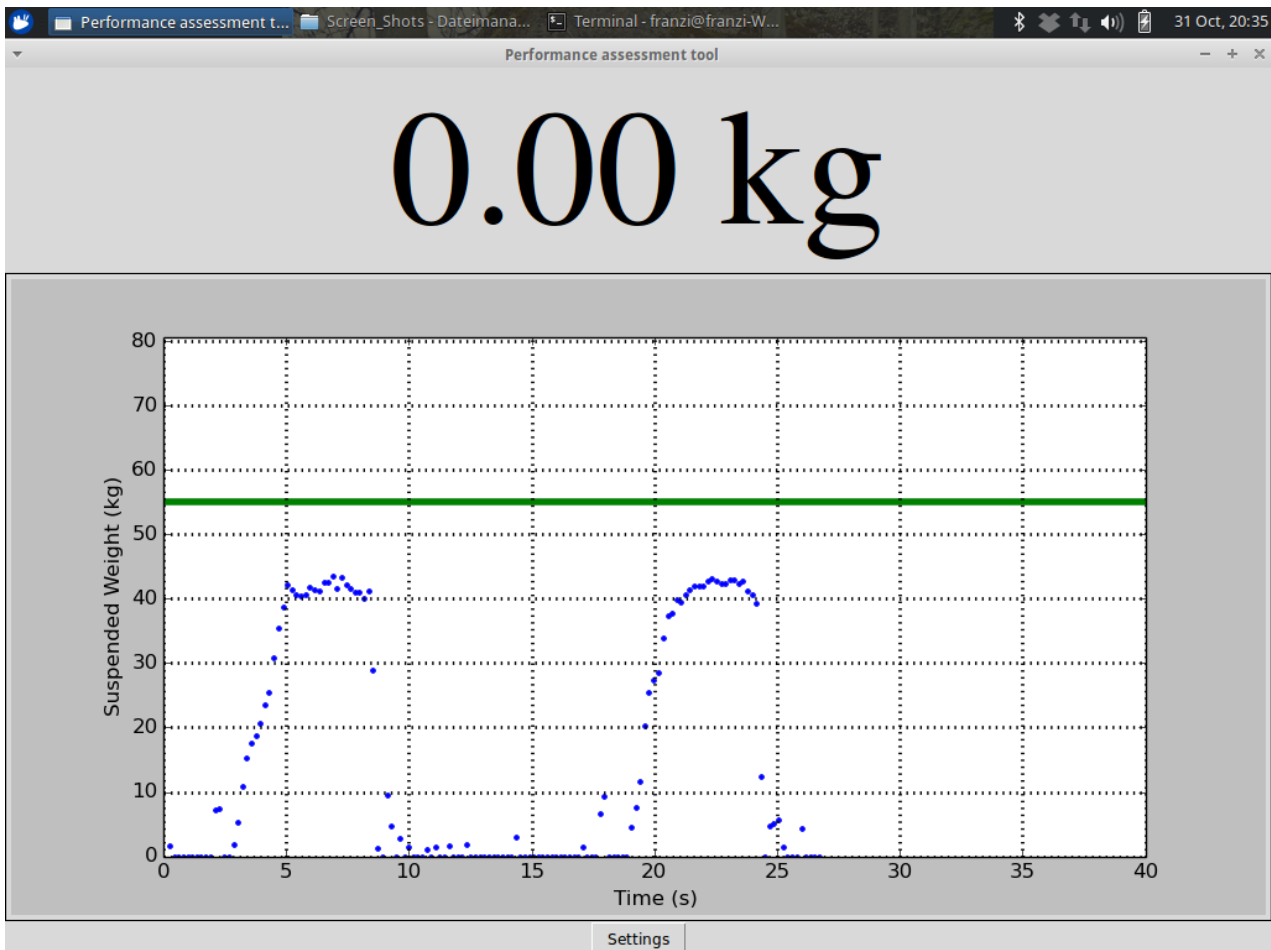


Abb.7: PC-Screenshot

Die graphische Darstellung am Bildschirm hat den Vorteil, dass Entlastungsschwankungen direkt zu erkennen sind und die Testperson sozusagen live Rückmeldung über ihre Messwerte bekommt. In technischer Hinsicht wären auch Entlastungsschwankungen im Millisekundenbereich möglich. Allerdings hat sich bei Vortests für die Maximalkraftmessungen herausgestellt, dass es sich im Hinblick auf eine Echtzeitrückmeldung und eine einfache graphische Darstellung am besten eignet die Software auf fünf Messungen pro Sekunde einzustellen.

Im Spezialfall, falls ein Proband mehr als sein eigenes Körpergewicht einarmig an der Griffleiste halten kann, würde das System nicht korrekt arbeiten. Es würde als maximalen Entlastungswert lediglich das Körpergewicht der Testperson anzeigen. Hier schafft eine Gewichtsweste Abhilfe, die mindestens so schwer ist, dass der Proband während der Messung Fußkontakt zum Balance Board hat, also nicht abhebt. Für die

Kalibrierung gilt dabei, dass nach dem Ermitteln des Körpergewichts die Kalibrierung des Kletterers inklusive Gewichtsweste vorgenommen wird.

Der gesamte Aufbau des Systems während einer Maximalkraftmessung ist in der nächsten Abbildung zu sehen:



Abb.8: Aufbau des Messsystems

Um eine zuverlässige Aussage und möglichst genaue Messergebnisse zu gewährleisten, zählen die Objektivität, die Validität und die Reliabilität zu den Gütekriterien wissenschaftlicher Untersuchungsverfahren (Hoffmann & Orthmann, 2009). Um diesen zu genügen, wurden sämtliche Messungen unter standardisierte Rahmenbedingungen durchgeführt, damit eine aussagekräftige Datenanalyse ohne fehlerbehaftete Ergebnisse gewährleistet werden kann (Keller & Schweizer, 2009).

MacLeod (2012) weist darauf hin, dass die Außentemperatur und die Luftfeuchtigkeit Einfluss auf die Haltezeiten am Hangboard haben. Da diese beiden Faktoren die Rei-

bungswerte am Hangbord beeinflussen, sind sie besonders relevant bei den Maximalkraftmessungen. Im Hinblick auf standardisierte Rahmenbedingungen wurden deshalb große Temperaturschwankungen und Veränderungen der Luftfeuchtigkeit während der verschiedenen Untersuchungszeitpunkte vermieden.

Da die verwendete Waage keine High-End-Präzisionswaage für mehrere tausend Euro ist, muss somit die Genauigkeit angesprochen werden. Bei der Messgenauigkeit des Wii Balance Boards kamen Bartlett, Bingham und Ting (2014) zu folgendem Ergebnis:

„Using regression-generated calibration values, the RSS combined values of the four force sensors had a max absolute error of 9.9N, discretization error of 2 mN, linearity error of 4.0 N, and repeatability error of 3.5 N across tested operating points“ (Bartlett & Bingham & Ting, 2014, S.226)

Mit gewöhnlichen Personenwaagen lässt sich das Balance Board im puncto Messgenauigkeit somit zwar vergleichen, mit modernen Hochpräzisionswaagen hält es jedoch keinen Vergleich stand.

Die verwendete Software für das beschriebene System wurde von Felix Bourassa-Moreau als Prototyp entwickelt.

3.2.2 Griffform und Fingerstellung

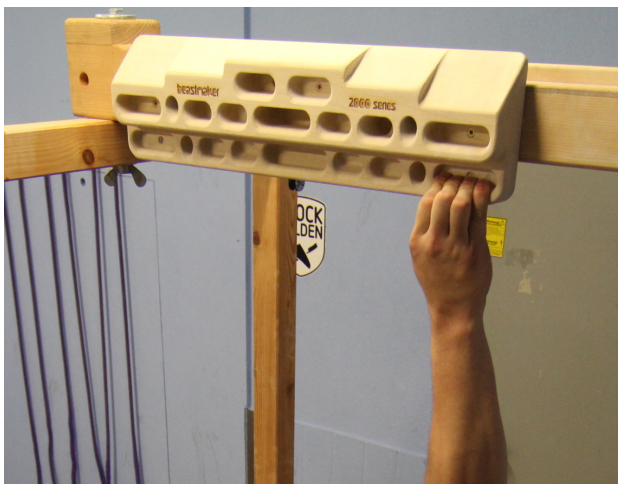
Beim Klettern gibt es eine Vielzahl von Griffformen. Leisten, Sloper, Fingerlöcher oder Handklemmer in Rissen stellen die häufigsten Formen dar (Krug, 2009). Diese lassen sich weiter noch in Größe und speziellen Formen (am Fels witterungsbedingt) unterteilen. Leisten und Fingerlöcher, bei denen je nach Größe ein bis vier Finger in das Loch passen, können beide entweder hängend oder aufgestellt belastet werden. Gerade bei Leisten mit kleiner Auflagefläche (oft weniger als das erste Fingerglied) ist es häufig der Fall, dass zur aufgestellten Griffposition gewechselt wird. Das Aufstellen der Finger mit Überstreckung im Endglied ermöglicht es, genügend Druck auf den Griff auszuüben. Dies ist allerdings sehr belastend für die Gelenke und Ringbänder und birgt

einige Verletzungsrisiken. Nach Schöffl (2014) ist es neben dem Einfingerloch die schädlichste Griffstellung. Da sich allerdings in den höheren Schwierigkeitsgraden die Auflagefläche der Griffe immer mehr reduziert, wird in diesem Bereich sehr oft die gestellte Griffposition verwendet. Aus medizinischer Sicht tendiert man verstärkt dazu, dass für das Fingerkrafttraining am besten die sogenannte halboffene Greifstellung angewandt wird (Schöffl, 2014). Bei der halb offenen Position ist der Daumen unbelastet und wird nicht auf den Zeigefinger gesetzt.

Sämtliche Untersuchungen zur Datenerhebung wurden im Hinblick auf standardisierte Rahmenbedingungen am Hangboard Beastmaker 2000 Series durchgeführt. Das besagte Board ist ein weit verbreitetes Griffbrett zum Fingerkrafttraining, das häufig in Kletterhallen zu finden ist und von vielen Kletterern zuhause verwendet wird. Gegenüber Hangboards aus Kunstharz hat es den Vorteil, dass es aus Holz gefertigt ist und somit sehr hautschonend für die Testkandidaten war.

Als standardisierte Griffform wurde die kleinste Leiste am Hangbord gewählt. Diese stellt einen hohen Schwierigkeitsgrad dar und ermöglicht somit eine gute Differenzierung zwischen den Testpersonen. Es handelt sich hier um eine leicht abgerundet 12mm Leiste für das erste Fingerglied. An diesem Griff wurden die beiden Griffstellungen 4-Finger-halboffen und 3-Finger-hängend getestet.

4-Finger-halboffen:



3-Finger-hängend:

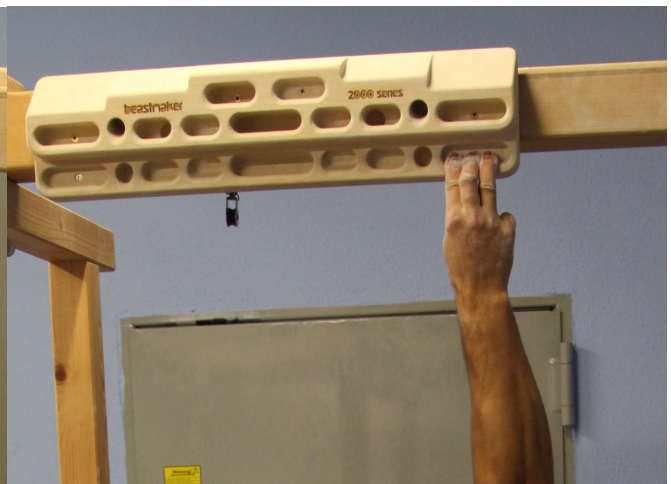


Abb.9: Getestete Griffform und Fingerstellung

3.2.3 Testablauf

Im Vorfeld der eigentlichen Messungen wurde mit 10 Kletterern ein Vortest durchgeführt, um das Testverfahren weitestgehend zu optimieren. Die Probanden sollten alle unter denselben Testbedingungen an den Messungen teilnehmen. Gleiche Bedingungen wurden beispielsweise durch eine Festlegung einer bestimmten Erholungszeit (40 Sekunden Pause) während der Einzelmessungen, durch einen kontinuierlichen Chalk-einsatz oder durch das Griffputzen nach jeder Einzelmessung gewährleistet.

Der Testablauf des Haupttest, bei welchem die Probanden zwischen Oktober und November 2014 getestet wurden, sah wie folgt aus:

Zu Beginn der Messungen wurde von den Teilnehmern ein Datenblatt ausgefüllt, in welchem diese Angaben zu ihrem Alter, Geschlecht, Körpergröße, Klettererfahrung und Kletterleistung in den letzten sechs Monaten machen (Datenblatt siehe Anhang). Danach erfolgte ein selbstständiges Aufwärmen der Probanden.

Ziel des Aufwärmens ist, verbesserte Ausgangsbedingungen für die muskuläre, organische und geistige Leistungsfähigkeit zu schaffen und das Verletzungsrisiko zu mindern (Weineck, 2010). Die Teilnehmer wurden hierbei gebeten selbständig ein allgemeines Aufwärmen für den gesamten Organismus und ein spezielles Aufwärmen für Finger und Hände durchzuführen. Für das allgemeine Aufwärmen wurden Einlaufen und Ganzkörpergymnastikübungen wie Seilspringen empfohlen. Intensives Stretching hingegen sollte nicht durchgeführt werden. Beim speziellen Aufwärmen wurde zum Kneten von Gummiringen und zu einem mindestens 10-minütigen lockeren Einklettern geraten. Ein allgemeines und spezielles Aufwärmen sollte immer vor einer Klettereinheit stattfinden, da diese auf die hohen Anforderungen beim Klettern vorbereiten (Schöffl, 2014). Im Hinblick auf die Fingerkrafttests ist das Aufwärmen ebenso wichtig, da während der Tests extreme Belastungsspitzen auf die Finger einwirken. Generell wird auch für das Hangboardtraining, bei dem ähnlich hohe Belastungen wie bei den Fingerkraftmessungen auftreten, empfohlen, das Training am Hangboard weder bei Trainingsanfängern noch bei akuten sowie chronischen Verletzungen im Bereich der Finger, Ellenbogen oder Schultern durchzuführen (Hörst, 2008a).

Nach dem Aufwärmen wurde mithilfe des Systems das Körpergewicht der Teilnehmer ermittelt und im Datenblatt festgehalten. Anschließend wurde der Ablauf des Tests erklärt und eine Probemessung durchgeführt. Diese diente zum einen zur Ermittlung, ob Zusatzgewicht nötig ist und zum anderen machten sich die Probanden so mit der Aufgabe vertraut.

Generell war es wichtig die Kletterer auf folgende Punkte hinzuweisen: Der Schwerpunkt des Kletterers sollte direkt unter der Leiste (in Falllinie) sein, damit die Kräfte auch senkrecht wirken und die Leiste nicht nach hinten oder vorne gezogen/belastet wird. Ebenso sollte der belastete Arm während der Messung annähernd gestreckt sein. Ein Hineinfallen in die Schulter sollte im Hinblick auf die Verletzungsgefahr unbedingt vermieden werden. Während der Messungen sollten auch keine ruckartigen Bewegungen mit den Füßen ausgeführt werden, da diese einzelne Messwerte verfälschen würden.

Der Haupttest lief immer in sechs Phasen ab: In den ersten drei wurde mit der Griffstellung „4-Finger-halboffen“ und in den letzten drei mit der Fingerstellung „3-Finger-hängend“ gemessen. In jeder dieser Phasen galt die Vorgabe in einem Zeitraum von 40 Sekunden zuerst die linke Hand fünf Sekunden maximal zu belasten und danach die rechte Hand ebenso fünf Sekunden maximal zu belasten. Nach jeder dieser einzelnen Phasen erfolgte eine Pause von 40 Sekunden. Während der Pausen wurde meist kurz Rücksprache mit den Probanden gehalten und die Holzleiste geputzt.

Die einzelnen Griffstellungen wurden je dreimal getestet um Messfehler zu vermeiden und um wirklich die absoluten Maximalwerte zu erhalten. Während der Messungen hatten die Kletterer immer die Möglichkeit ihre Werte live am PC-Bildschirm mitzufolgen. Ebenso wurde nach jeder der Testphasen ein Screenshot mit den Messwerten am PC gespeichert.

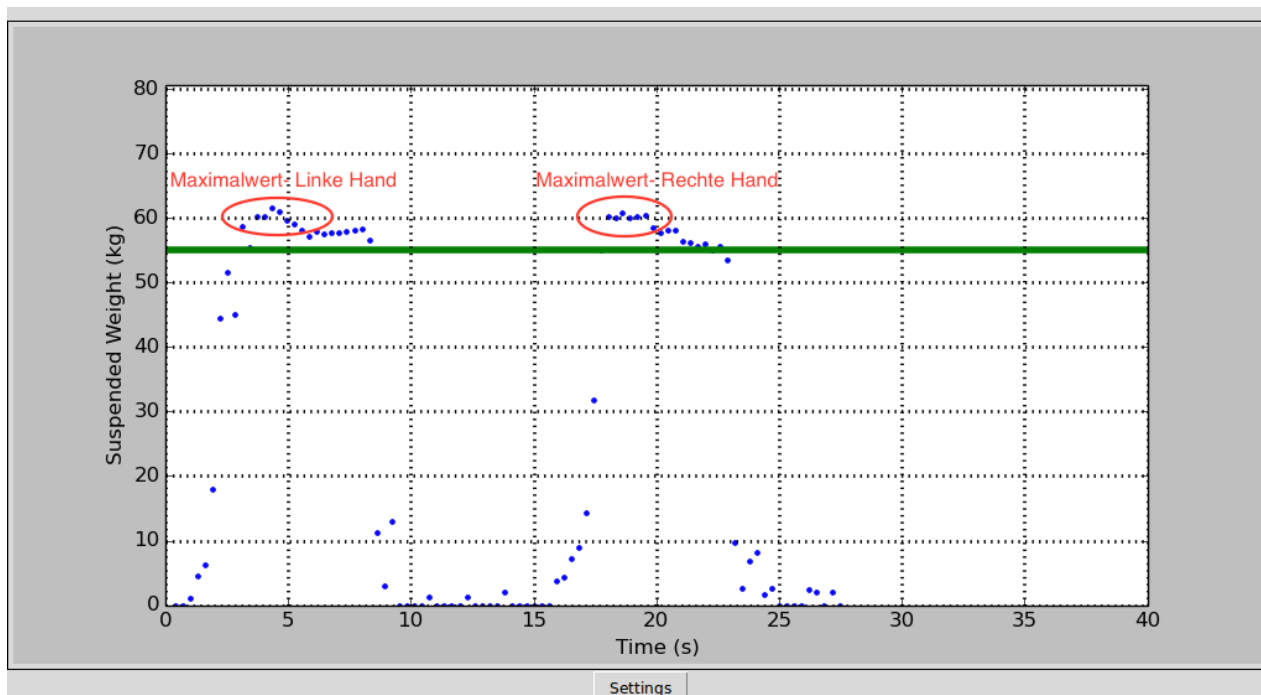


Abb.10: Screenshot nach erfolgter Messung

Im Screenshot sind im Graph die absoluten Werte der Entlastung in der Einheit kg abzulesen. Als absolute Maximalwerte gelten die höchsten Werte, welche über ein bis zwei Sekunden gehalten werden. Diese werden anschließend in Relation mit dem Körpergewicht des Probanden gesetzt und als relative Maximalwerte angegeben. Die relativen Werte wurden auf ganze Zahlen gerundet. Am Beispiel der Tabelle 3 wird dies nun etwas anschaulicher:

	Linke Hand:			Rechte Hand:		
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3
4-Finger gestellt	61 kg	kg	kg	60 kg	kg	kg
	73 %	%	%	72 %	%	%
3-Finger hängend	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	%	%	%	%	%	%

Tabelle 3: Auswertung der ersten Messung mit der Griffposition „4-Finger-gestellt“

Als absolute Maximalwerte ergeben sich hier für die linke Hand 61kg und für die rechte Hand 60kg. Der Kletterer hatte ein Körpergewicht von 83kg. Zusatzgewicht war nicht erforderlich. Der Quotient aus absolutem Maximalwert zu Körpergewicht ergibt somit für die linke Hand 73% und für die rechte Hand 72%.

Wie im Beispiel oben wurden die absoluten Werte immer am Ende eines Testtages anhand der Screenshots ermittelt und in relative Werte umgerechnet. Anschließend wurden beide Werte in das Datenblatt eingetragen. Da somit pro Hand mit jeder Griff-form drei gleiche Tests durchgeführt wurden, mussten für einen weiteren Vergleich von den 3 identischen Tests noch der ausgewählt werden, welcher den höchsten Wert hatte. In der folgenden Tabelle wurde dies bei dem zuvor angeführten Probanden gemacht:

	Linke Hand:			Rechte Hand:		
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3
4-Finger gestellt	61 kg	62 kg	63 kg	60 kg	59 kg	59 kg
	73 %	75 %	76 %	72 %	71 %	71 %
3-Finger hängend	47 kg	46 kg	44 kg	47 kg	46 kg	45 kg
	57 %	55 %	53 %	57 %	55 %	54 %

Tabelle 4: Getestete Griffform und Fingerstellung

*Unter den „%-Werten“ sind die relativen Werte zu verstehen, das heißt wie viel % seines Körpergewichts ein Kletterer maximal mit einer Hand über einen Zeitraum von 1-2 Sekunden halten kann.

Die rot gekennzeichneten relativen Maximalwerte wurden anschließend in eine Übersichtstabelle (siehe Anhang) eingetragen und für die weitere Auswertung genutzt.

Aus diesen Daten wurden danach die Durchschnittswerte (Arithmetische Mittel) berechnet und daraus die Standardabweichung gebildet. Sämtliche Tabellen und Grafiken im Ergebniskapitel wurden mit der Apple-Software Numbers und der Windows-Software Excel aus den erhobenen Daten erstellt.

3.2.4 Stichprobe

Die Untersuchungsgruppe bei meinen Messungen bestand insgesamt aus 100 zufällig ausgewählten Kletterern in der Boulderhalle „Blockhelden“ bei Dechsendorf. Da es sich hier nicht um Hochleistungssportler handelte, war das Leistungsniveau sehr unterschiedlich. Das Level der Probanden reichte von ganz leichten Bouldern (orange Farbe) bis hin zu sehr schweren Bouldern (gelbe Farbe). Rechnet man dies mit nebenstehender Tabelle der Boulderhalle um, so könnte man etwa sagen, dass die Klet-

terer Boulder der Schwierigkeit Fb 4 (III der UIAA Schwierigkeitsskala) bis Fb 8B (XI- der UIAA Schwierigkeitsskala) klettern konnten.

bouldering

Blockhelden

sausschwer

leicht

usa	fontainebleau	brasil	usa	british tech	adj	french	uiaa	saxon	australia	newzealand	south africa	finnish	sweden	norway	brasil
V16	8C+	11b	5.15c			9b+	XII-		38		40				12c
V15	8C	11a	5.15b			9b	XI+/XII-		37		39				12b
V14	8B+	10c	5.15a			9a+	XI+		36		38				12a
V13	8B	10b	5.14d			9a	XI		35		37				11c
V12	8A+	10a	5.14c	7b	E11	8c+	XI-		34		36				11b
V11	8A	9c	5.14b			8c			33		35				11a
V10	7C+	9b	5.14a	7a	E10	8b+	X+	XIc	32		34				10c
V9	7C	9a	5.13d		E9	8b	X	XIb	31		33			9	10b
			5.13c		E8	8a+	X-	XIa	30		32				10a
			5.13b	6c		8a			31		31			9-	9c
			5.13a		E7	7c+	IX+	Xc	29		30			8+	9b
			5.12d			7c	IX	Xb	28		29			8+	9a
			5.12c	6b	E6	7b+	IX-	Xa	27		28			8	8c
			5.12b			7b			26		27			8-	8b
			5.12a		E5	7a+	VIII+	IXc	25		26			8-	8a
			5.11d			7a	VIII	IXb	24		25			7	
			5.11c	6a	E4			IXa	23		24			7-	7c
			5.11b						23		23			7	7b
			6c+				VIII-		22		23			6+	
			5.11a		E3	6c		VIIIc	21						7a
			5.10d	5c		6b+	VII+	VIIIb			22			7-	VI sup
			5.10c		E2	6b	VII	VIIIa	20		21			6	
			5.10b	5b		6a+	VII-		19		20				6
			5.10a		E1	6a	VI+	VIIc	18		19			6-	VI
			5.9	5a		5c	VI	VIIb	17		17-18				V
			5.8		HVS	5b	VI-	VIIa	15-16		16			5+	IV sup
			5.7	4c	VS	5a	V+		14-15		14-15				
			5.6	4b	HS	4c	V	VI	13		13			5	5
			5.5	4a	S	4b	IV+	V	11-12		11-12			5-	5-
			5.4		VD	4a	IV	IV	10-11		10-11			4	4
			5.3	3		3	III	III	8-9		8-9			3	3
			5.2		D				7-8		7-8				II sup
			5.1	2		2	II	II	5-6		5-6			2	2
			5.0						3-4		3-4				I sup
			3-4	1	M	1	I	I	1-2		1-2			1	I

Tabelle 5: Schwierigkeitsskala der Blockhelden-Boulderhalle

Die genaueren Angaben der Stichprobe auf dem Datenblatt bestätigten dies besonders in den obersten Schwierigkeitsgraden. So lag die höchste geboulderte Schwierigkeit am Fels in den letzten sechs Monaten bei einem der Testpersonen tatsächlich im Fb-Grad 8B. Neben einem allgemein guten Gesundheitszustand durften die Probanden keine akuten oder chronischen Beschwerden im Finger-, Ellenbogen- oder Schulterbereich aufzeigen, da hier die Gefahr von weiteren ernsthaften Verletzungen zu groß ist (MacLeod, 2012). Des Weiteren wurden sämtliche Testpersonen über die Ziele und Inhalte der Untersuchung informiert. Außerdem wurden die Probanden über das Testverfahren, über den Versuchsablauf und den zeitlichen Rahmen genau informiert. Ebenso wurden Hinweise zur Pausengestaltung gegeben und sonstige, für die Untersuchung relevanten Dinge genannt.

Das Alter der Probanden betrug im Mittel 26,8 Jahre mit einer Standardabweichung von 7,8 Jahren. Zu berücksichtigen gilt bei den kompletten Messungen, dass neben Erwachsenen auch sechs Jugendliche getestet wurden. Die Körpergröße der Kletterer war im Mittel 1,77m mit einer Standardabweichung von 9,9cm. Die Klettererfahrung gaben die Testpersonen durchschnittlich mit 4 Jahren an und der BMI betrug im Mittel $22,1\text{kg/m}^2$ mit einer Standardabweichung von $2,3\text{kg/m}^2$ (vergleiche Tabelle im Anhang). Des Weiteren bestand die Stichprobe aus 100 Kletterern, darunter waren 17 weiblich und 83 männlich.

n	Alter	Körpergröße (m)	Gewicht (kg)	BMI	Jahre der Klettererfahrung	Kletterniveau im Bouldern
100	$26,8 \pm 7,8$	$1,77 \pm 0,1$	$69,7 \pm 11,7$	$22,1 \pm 2,3$	4 ± 4	Min: 4 / III UIAA Max: 8B / XI- UIAA

Tabelle 6: Profilanalyse der Probanden

Generell war die Teilnahme an der Untersuchung für die Probanden freiwillig und ohne Entgelt. Es bestand zu jedem beliebigen Zeitpunkt die Möglichkeit, die Untersuchung vorzeitig abubrechen.

4 Ergebnisse

Mithilfe der erhobenen Messdaten soll der Zusammenhang von Kletterleistung und Fingermaximalkraft verdeutlicht werden. Darüber hinaus werden die Werte von linker und rechter Hand sowie die beiden getesteten Greifpositionen verglichen. Ebenso werden die Schwierigkeitsgradhäufigkeit und die Klettererfahrung der Stichprobe ausgewertet.

Die Kategorisierung in die verschiedenen Schwierigkeitsklassen (Orange, Grün, Grau, Braun, Rot, Gelb) wurde folgendermaßen vorgenommen. Die Kletterer wurden der schwersten Schwierigkeitsklasse (Farbe), von der sie mindestens zwei Boulder in einer Trainingseinheit geklettern hatten, zugeteilt.

Im Vorfeld der nachfolgenden Datenanalyse sollte ebenso vermerkt werden, dass im Verlauf der Testdurchführung keiner der 100 Probanden die Untersuchung abbrechen musste und dass sich keiner der Probanden eine Verletzung aufgrund der extremen Belastungsspitzen zuzog.

4.1 Durchschnittswerte und Standardabweichung

In Tabelle 7 sind die empirisch erhobenen Daten (Mittelwerte und Standardabweichung) für die maximale Fingerkraft der Stichprobe dargestellt. Unterteilt werden diese in die sechs Schwierigkeitsklassen (Farben) und in die zwei verschiedenen Greifförmen, die sowohl mit der linken als auch mit der rechten Hand durchgeführt wurden.

Griff	Seite	Orange	STD.	Grün	STD.	Grau	STD.	Braun	STD.	Rot	STD.	Gelb	STD.
4-Finger - halboffen	links	36,56 %	6,46	44,95 %	8,24	52,93 %	11,3	62,06 %	7,87	65,40 %	9,3	79,5 %	8,02
	rechts	40,78 %	8,48	46,16 %	8,38	55,72 %	10,34	63,88 %	10,19	67,35 %	9,22	81,17 %	9,37
3-Finger - hängend	links	31,78 %	4,94	43,26 %	7,67	48,66 %	8,05	55,59 %	6,84	63,25 %	9,54	67,33 %	7,53
	rechts	36,00 %	6,22	45,63 %	9,84	50,86 %	7,32	56,47 %	7,92	62,90 %	7,64	66,83 %	8,84

Tabelle 7: Ergebnisse der Mittelwerte und Standardabweichung

Wie bereits zuvor erwähnt, stehen die Farben laut Umrechnungstabelle 5 für die folgenden Fb-Schwierigkeitsgrade im Bouldern:

- Orange: ca. Fb 4 bis 5
- Grün: ca. Fb 5+ bis 6A
- Grau: ca. Fb 6A+ bis 6B+
- Braun: ca. Fb 6C bis 7A
- Rot: ca. Fb 7A+ bis 7B+
- Gelb: ca. Fb 7C bis 8B (laut Routenschraubern)

Die Mittelwerte für die Greifposition 4-Finger-halboffen reichen von minimal 36,56% (linke Hand) bzw. 40,78% (rechte Hand) bei den Kletterern der Farbe Orange bis hin zu maximal 79,50% (linke Hand) bzw. 81,17% (rechte Hand) bei den Kletterern der Farbe Gelb. Es lässt sich also im Hinblick auf die Fingerkraft eine durchschnittliche Differenz von 42,94% (linke Hand) bzw. 40,39% (rechte Hand) zwischen den Probanden der leichtesten und der schwersten Boulder feststellen.

Bei der Greifposition 3-Finger-hängend sind ähnliche Unterschiede zwischen der leichtesten und der schwersten Farbe festzustellen. Die relativen Werte reichen hier von 31,78% (linke Hand) bzw. 36,00% bis hin zu 67,33% (linke Hand) bzw. 66,83% (rechte Hand). Es ergibt sich somit ein durchschnittlicher Unterschied von 35,55% (linke Hand) bzw. 30,83% (rechte Hand) zwischen den Kletterern der orangen Boulder und denen der gelben Boulder.

4. 2 Zusammenhang der Fingermaximalkraft mit den Boulderschwierigkeiten

Um Rückschlüsse auf den Zusammenhang von Fingerkraft und Kletterleistung ziehen zu können, werden im Folgenden die sechs verschiedenen Farben (Schwierigkeitsstufen) unter Berücksichtigung der Handseite und den Greifpositionen (4-Finger-halboffen und 3-Finger-hängend) genauer betrachtet. Zur grafischen Veranschaulichung werden die relativen Mittelwerte der einzelnen Schwierigkeitsklassen (Farben) grafisch dargestellt.

In Abbildung 11 lässt sich für die Greifposition 4-Finger-halboffen (Linke Hand) eine stetige Steigerung der relativen Fingerkraft bezogen auf die Kletterleistung erkennen. Schrittweise steigert sich die Fingerkraft von Farbe zu Farbe (Schwierigkeit), die durchschnittlichen Steigerungen betragen 8,39% von Orange auf Grün, 7,98% von Grün auf Grau, 9,13% von Grau auf Braun, 3,34% von Braun auf Rot und 14,10% von Rot auf Gelb.

4-Finger-halboffen-links

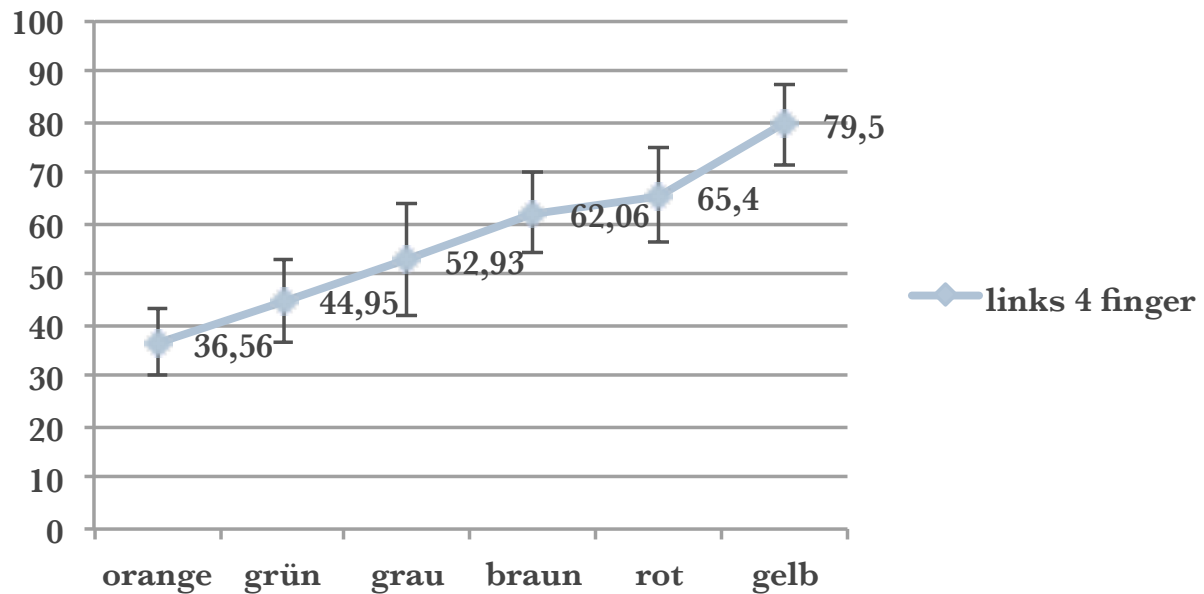


Abb.11: Graph zur Fingerstellung 4-Finger-halboffen-links

4-Finger-halboffen-rechts

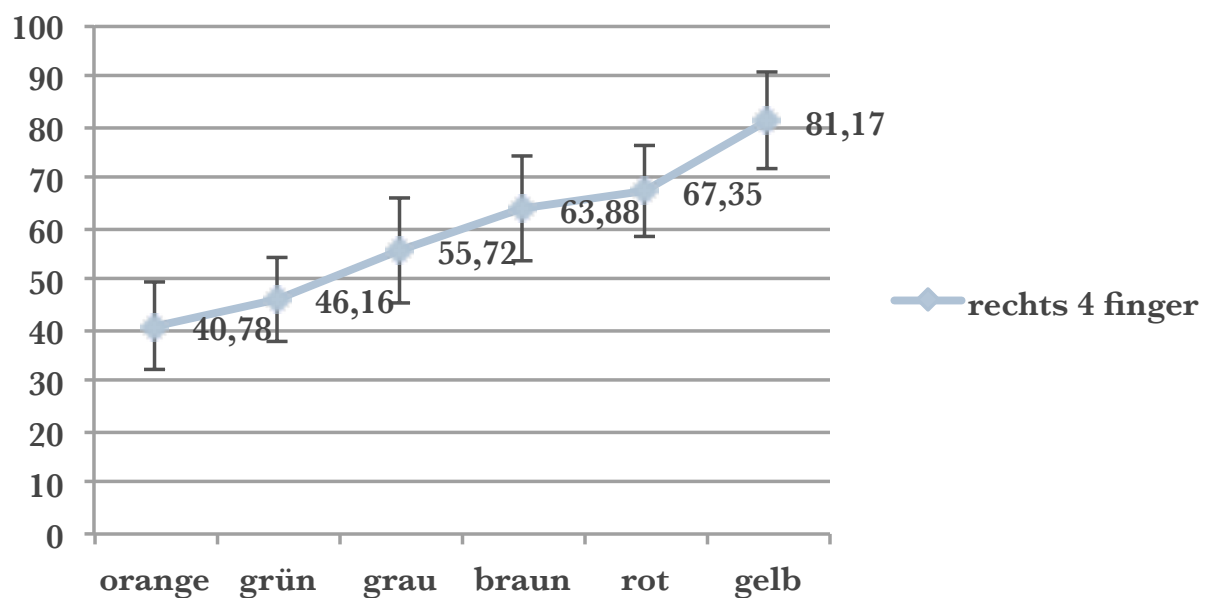


Abb.12: Graph zur Fingerstellung 4-Finger-halboffen-rechts

Auch für die rechte Hand (4-Finger-halboffen) ist eine stetige Steigerung der relativen Fingerkraft bezogen auf die Kletterleistung erkennbar. Die schrittweise Steigerung von Farbe zu Farbe beträgt hier 5,38% von Orange auf Grün, 9,56% von Grün auf Grau, 8,16% von Grau auf Braun, 3,47% von Braun auf Rot und 13,82% von Rot auf Gelb.

Ebenso lässt sich in Abbildung 13 für die Greifposition 3-Finger-hängend (Linke Hand) eine stetige Steigerung der relativen Fingerkraft bezogen auf die Kletterleistung erkennen.

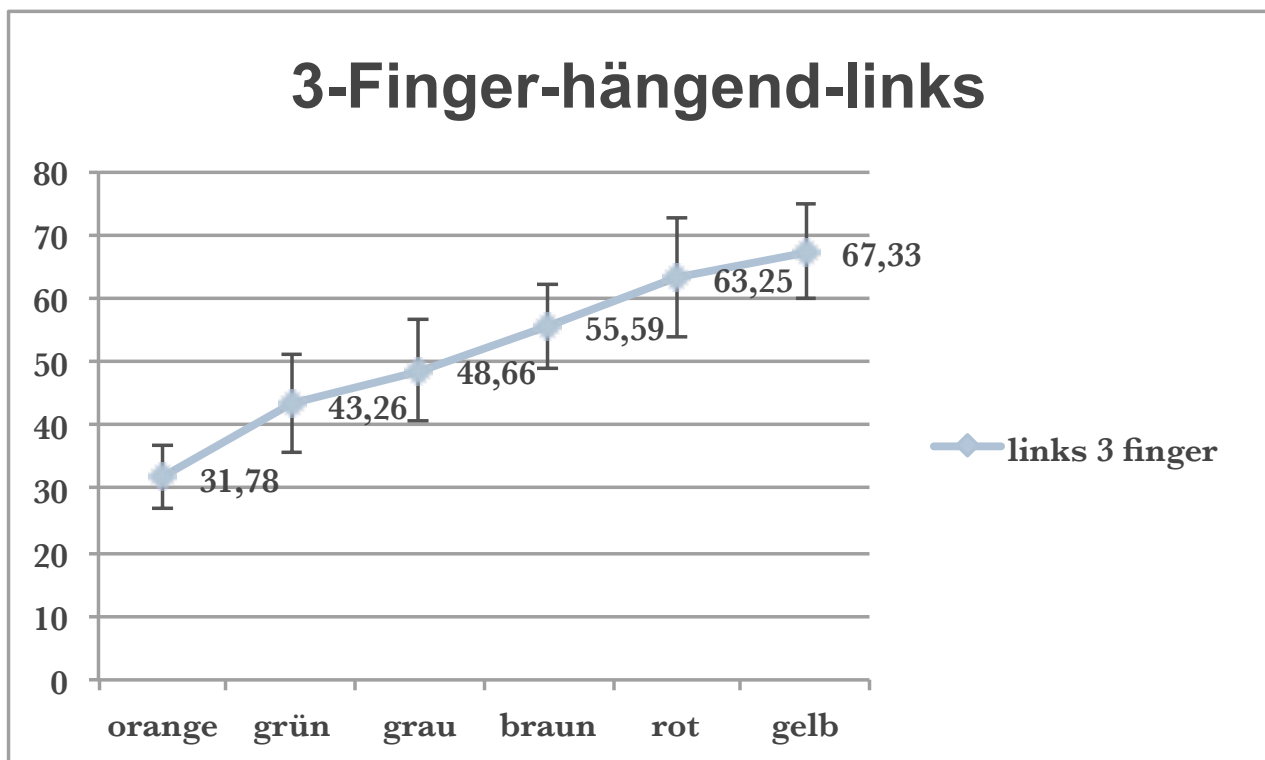


Abb.13: Graph zur Fingerstellung 3-Finger-hängend-links

Hier steigert sich die Fingerkraft wiederum schrittweise von Farbe zu Farbe (Schwierigkeit). Die durchschnittlichen Steigerungen betragen 11,48% von Orange auf Grün, 5,40% von Grün auf Grau, 6,93% von Grau auf Braun, 7,66% von Braun auf Rot und 4,08% von Rot auf Gelb.

Auch für die rechte Hand (3-Finger-hängend) ist eine stetige Steigerung der relativen Fingerkraft bezogen auf die Kletterleistung erkennbar.

3-Finger-hängend-rechts

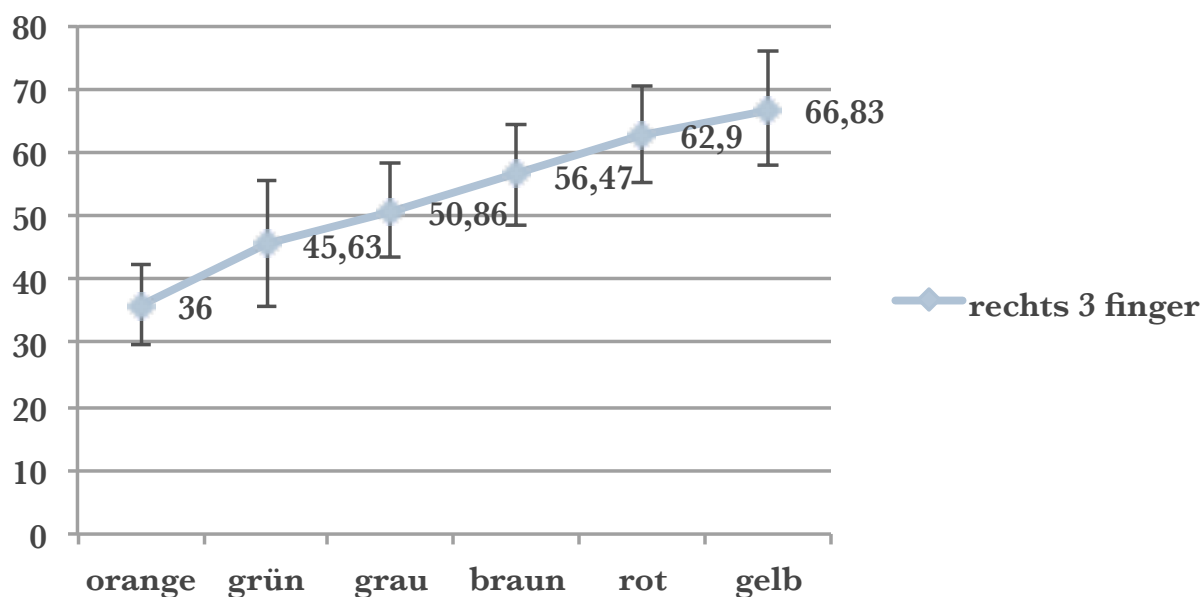


Abb.14: Graph zur Fingerstellung 3-Finger-hängend-rechts

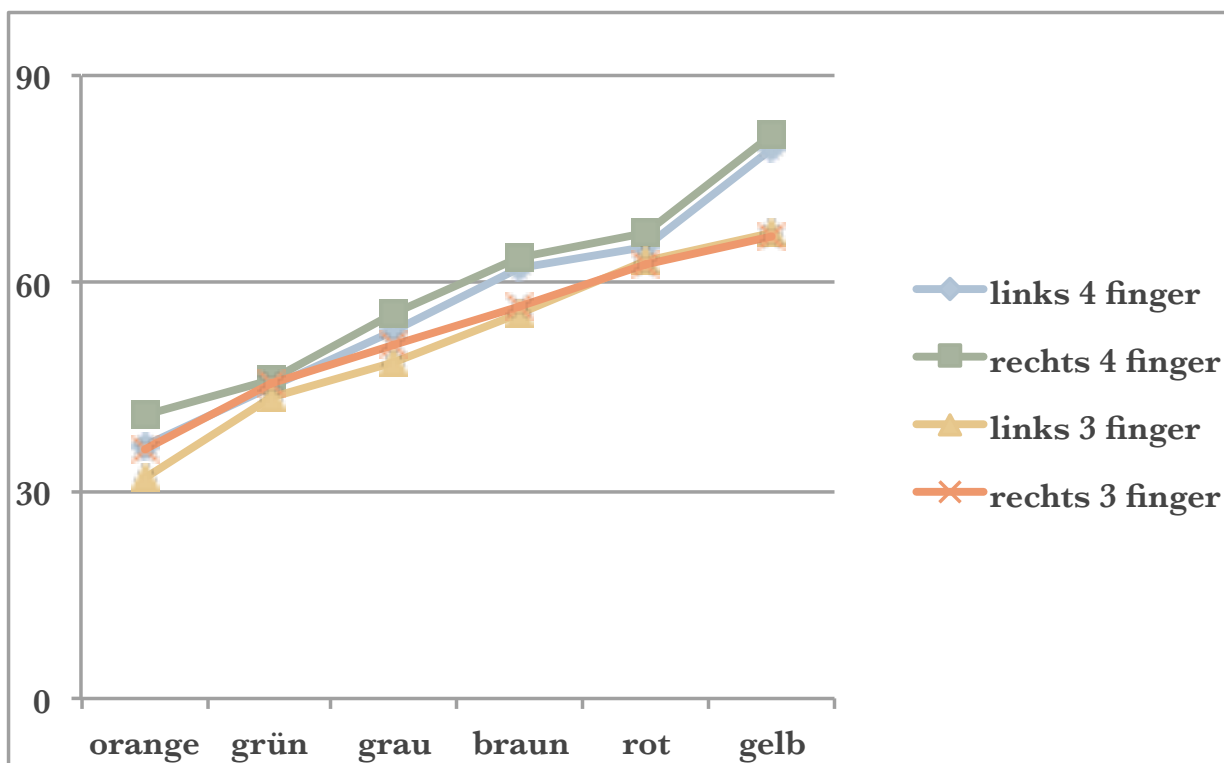


Abb.15: Gegenüberstellung der beiden Griffpositionen und der Handseiten

Die schrittweise Steigerung von Farbe zu Farbe beträgt hier 9,63% von Orange auf Grün, 5,23% von Grün auf Grau, 5,61% von Grau auf Braun, 6,43% von Braun auf Rot und 3,93% von Rot auf Gelb.

Wie in den Abbildungen 11 bis 15 zu erkennen ist, gibt es einen gewissen Zusammenhang zwischen maximaler Fingerkraft und Kletterleistung. Um allerdings genauere Aussagen über diesen Zusammenhang treffen zu können, wurden Korrelationswerte berechnet. Dabei wurden die Daten in Ränge umgewandelt und dann die Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten berechnet. Die Umrechnung war aufgrund des Skalenniveaus notwendig, da die Stufen der Kletterschwierigkeit nur ein ordinales Skalenniveau darstellen. Die Korrelationskoeffizienten wurden auf die zweite Kommastelle gerundet. Der Zusammenhang der relativen Maximalkraft der Fingerbeuger und des Kletterniveaus ist für die jeweilige Handseite und Greifposition wie folgt:

- **4-Finger-halboffen-links: $r = 0,76$; $r^2 = 0,57$**
- **4-Finger-halboffen-rechts: $r = 0,74$; $r^2 = 0,54$**
- **3-Finger-hängend-links: $r = 0,78$; $r^2 = 0,60$**
- **3-Finger-hängend-rechts: $r = 0,72$; $r^2 = 0,52$**

In allen vier Greifpositionen wurde somit ein sehr starker Zusammenhang ($r > 0,7$) zwischen der Fingermaximalkraft und dem Kletterniveau nachgewiesen. Das Bestimmtheitsmaß r^2 ist in allen Greifpositionen über 0.5, das heißt über 50% der Streuung der Maximalkraft werden durch den erreichten Schwierigkeitsgrad der Kletterer erklärt. Zwischen der maximalen Fingerkraft bei der Greifposition 4-Finger-halboffen (links) und dem Kletterniveau besteht somit ein sehr starker Zusammenhang ($> 0,7$), bei dem 57,22% der Varianz aufgeklärt wurden. Ebenso besteht zwischen der maximalen Fingerkraft bei der Greifposition 4-Finger-halboffen (rechts) und dem Kletterniveau ein sehr starker Zusammenhang ($> 0,7$), bei diesem wurden 54,45% der Varianz aufgeklärt. Auch zwischen der maximalen Fingerkraft bei der Greifposition 3-Finger-hängend (links) und dem Kletterniveau besteht ein sehr starker Zusammenhang ($> 0,7$), bei dem 60,34% der Varianz aufgeklärt wurden. Schließlich besteht auch zwischen der maximalen Fingerkraft bei der Greifposition 3-Finger-hängend (rechts) und dem Kletterniveau ein sehr starker Zusammenhang ($> 0,7$), bei dem 51,78% der Varianz aufgeklärt wurden. In den folgenden Punkt-Diagrammen wird zudem noch die Rangverteilung der einzelnen Rang Schwierigkeitsstufen (Farben) dargestellt:

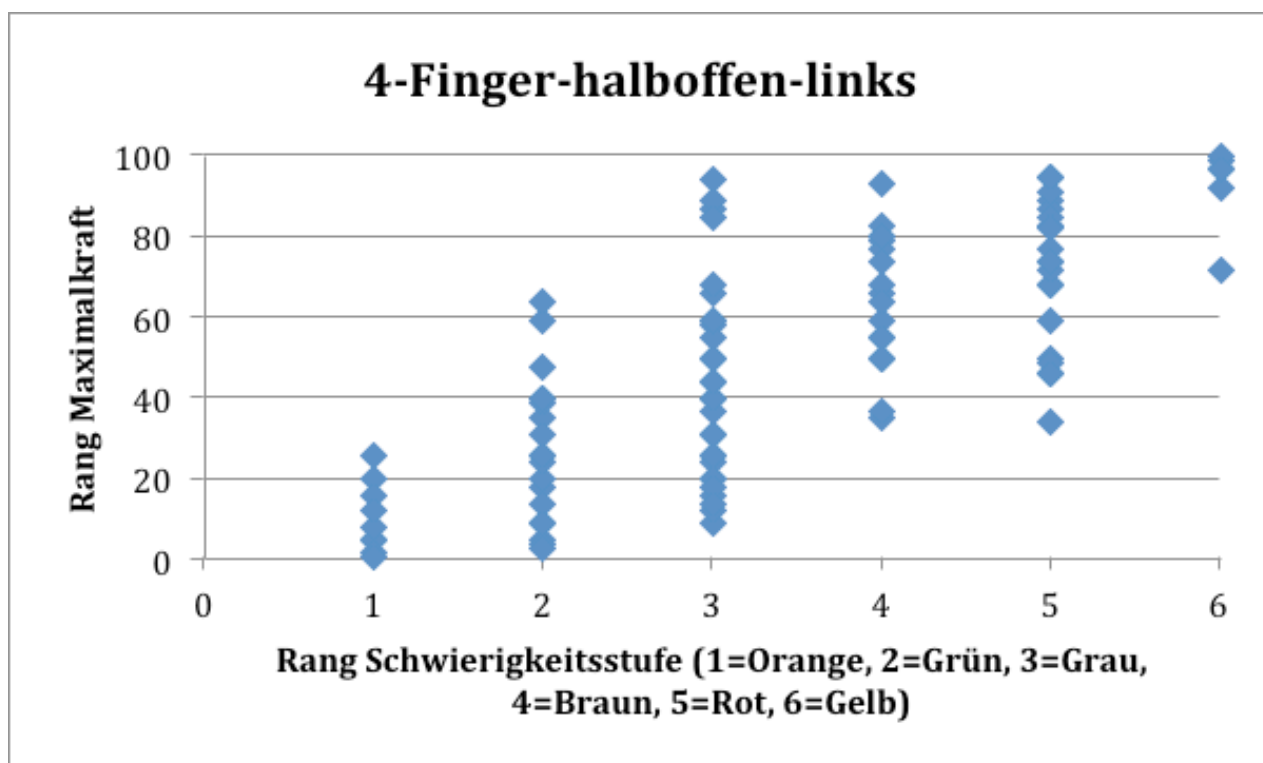


Abb.16: Punktdiagramm zur Greifstellung 4-Finger-halboffen-links

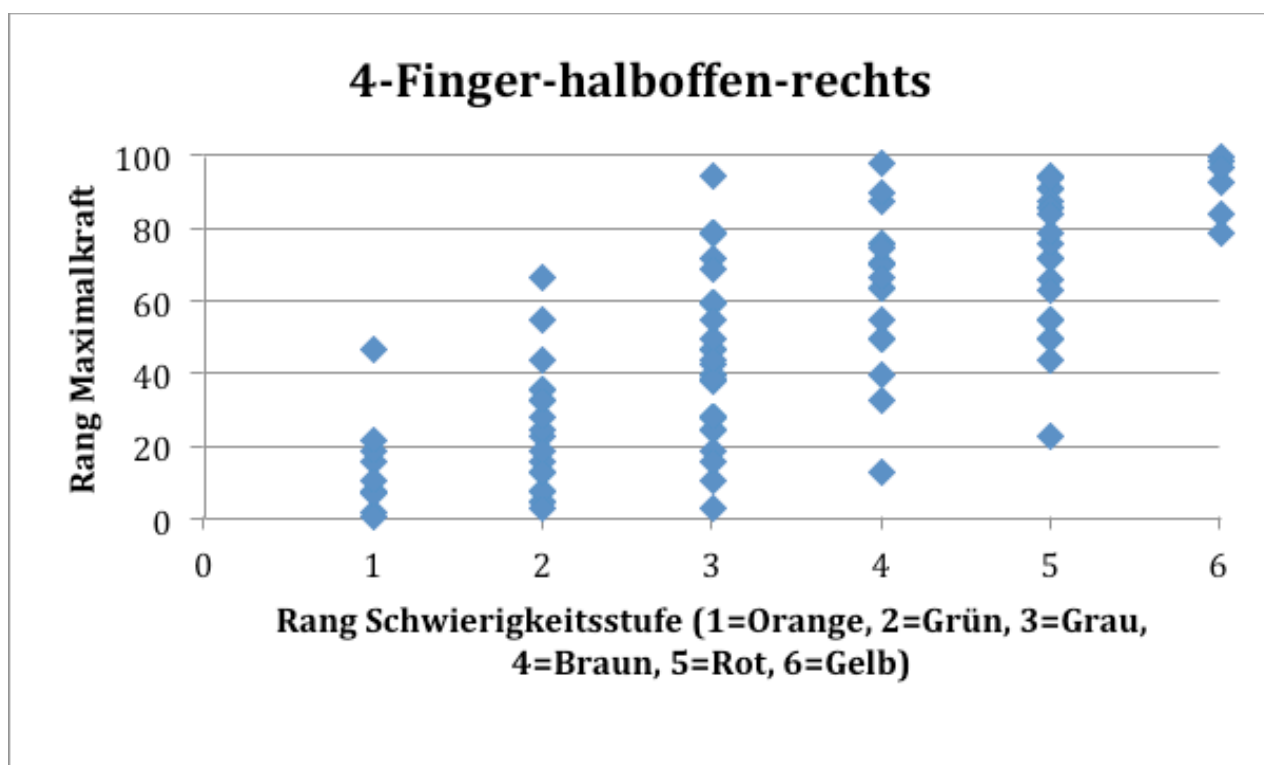


Abb.17: Punktdiagramm zur Greifstellung 4-Finger-halboffen-rechts

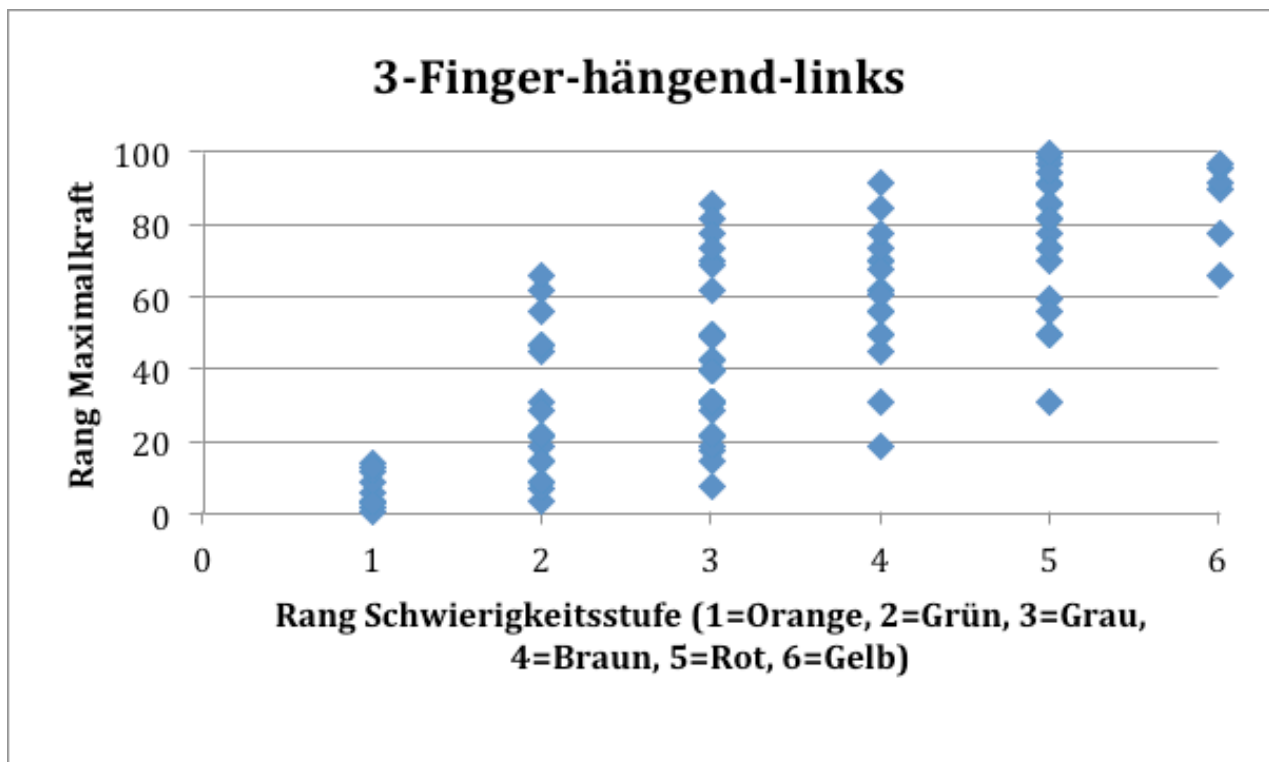


Abb.18: Punktdiagramm zur Greifstellung 3-Finger-hängend-links

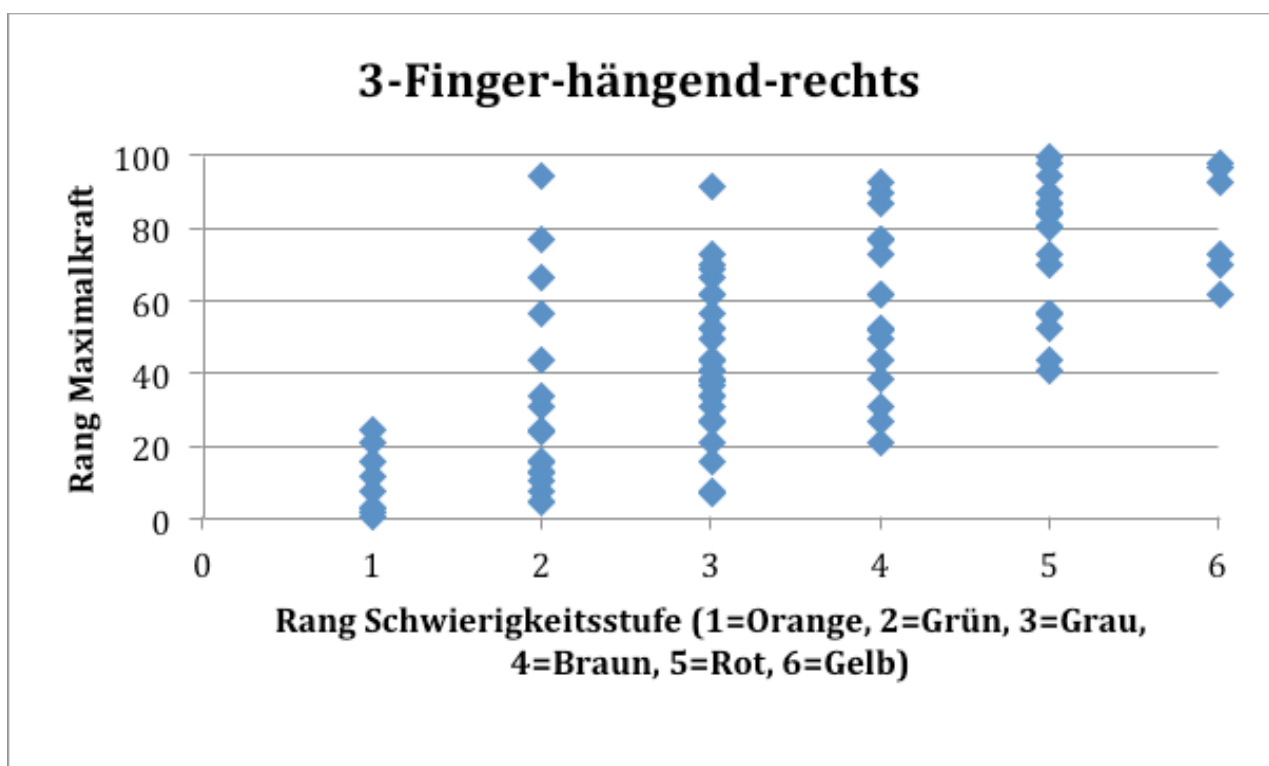


Abb.19: Punktdiagramm zur Greifstellung 3-Finger-hängend-rechts

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass für die linke und rechte Hand sowohl bei der Griffstellung 3-Finger-halboffen als auch 3-Finger-hängend ein positiver und sehr starker Zusammenhang zwischen maximaler Fingerkraft und Kletterniveau besteht. Beide Hypothesen wurden somit bestätigt.

Für die Fingerstellung 4-Finger-halboffen sowie 3-Finger-hängend wird damit für beide Seiten die **Alternativhypothese H1** angenommen: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der relativen Fingermaximalkraft und der Kletterleistung im Bouldern (Kletterschwierigkeit in der Halle).

4.3 Vergleich der Handseiten und der beiden Fingerstellungen

Da sich für dieselbe Griffstellung für die linke und rechte Hand sowie für beide Fingerstellung (bei einseitiger Betrachtung) unterschiedliche Mittelwerte ergaben, werden diese Unterschiede nun genauer betrachtet.

Zunächst werden die Werte der beiden Handseiten bei der Griffposition 4-Finger-halboffen und bei der Stellung 3-Finger-hängend betrachtet. Danach werden die Unterschiede der beiden Stellungen auf der jeweiligen Handseite verglichen.

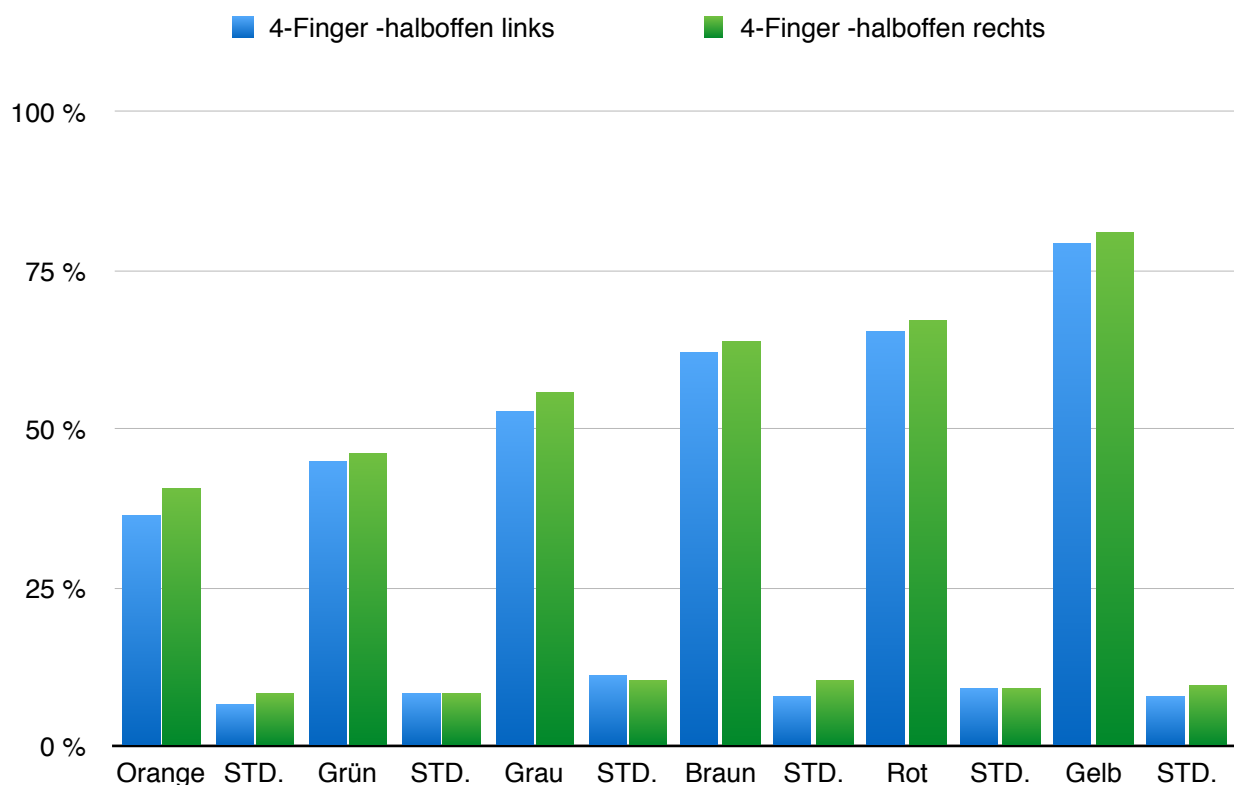


Abb.20: Säulendiagramm zur Fingerstellung 4-Finger-halboffen-links/rechts

Bei der Greifposition 4-Finger-halboffen ist hinsichtlich der Mittelwerte bei allen Schwierigkeitsklassen zu erkennen, dass die rechte Hand durchschnittlich etwas stärker ist als die linke. Für die einzelnen Farben ergaben sich folgende Links-Rechtsunterschiede: Die Werte der rechten Hand sind für die Farbe Orange um 4,22%, für Grün um 1,21%, für Grau um 2,79%, für Braun um 1,82%, für Rot um 1,95% und für Gelb um 1,67% höher als die der linken.

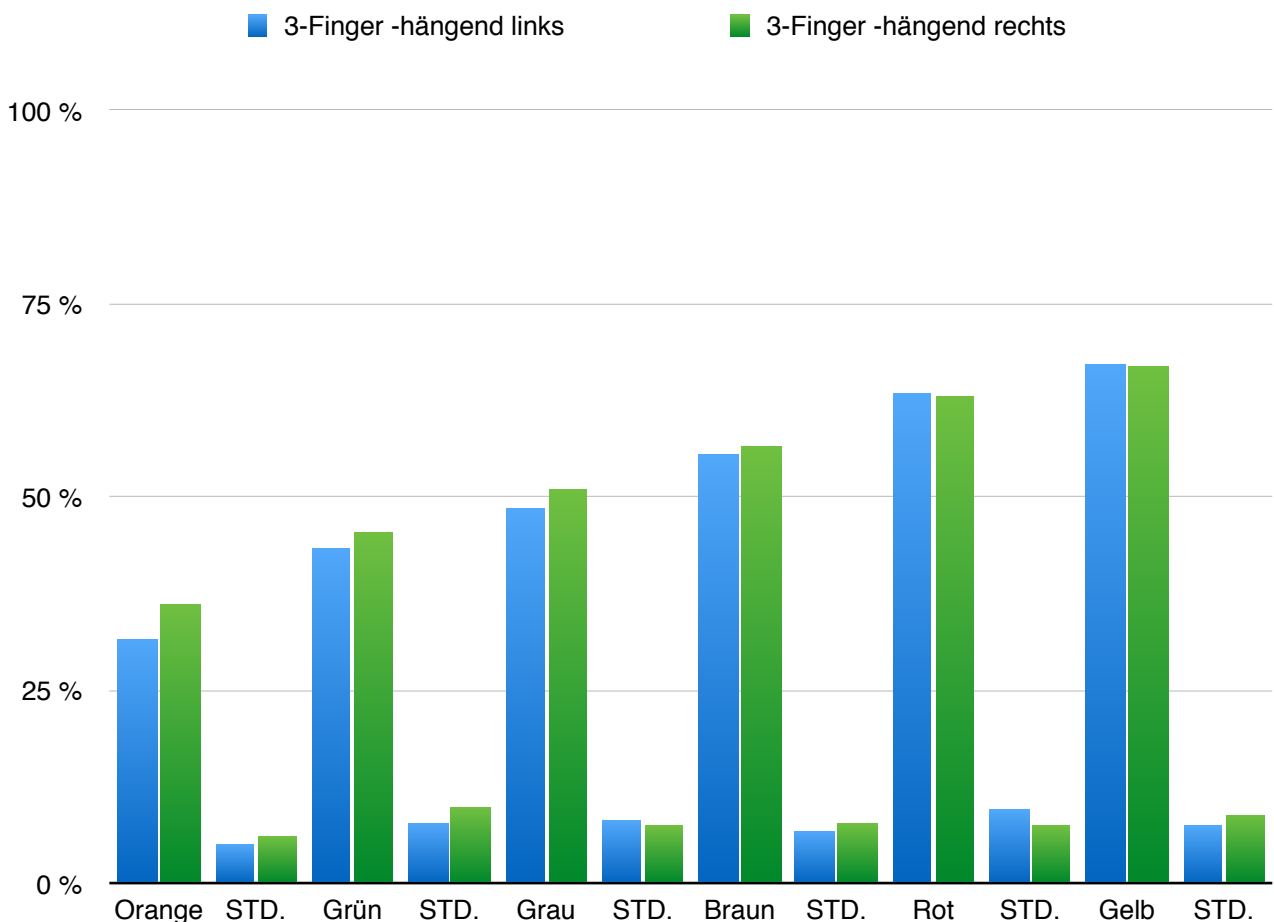


Abb.21: Säulendiagramm zur Fingerstellung 3-Finger-hängend-links/rechts

Auch bei der Greifposition 3-Finger-hängend sind leichte Unterschiede zwischen der rechten und linken Hand erkennbar. Für die einzelnen Farben ergaben sich folgende Links-Rechtsunterschiede: Die Werte der rechten Hand sind für die Farbe Orange um 4,22%, für Grün um 2,37%, für Grau um 2,20% und für Braun um 0,88% höher als die der Linken. Für die Farben Rot und Gelb verhält es sich hier jedoch andersherum, so ist hier die linke Hand durchschnittlich um 0,35% bzw. 0,50% stärker.

In den Abbildung 22 und 23 wird nun die Greifposition 4-Finger-halboffen und 3-Finger-hängend unter Berücksichtigung der Handseite dargestellt:

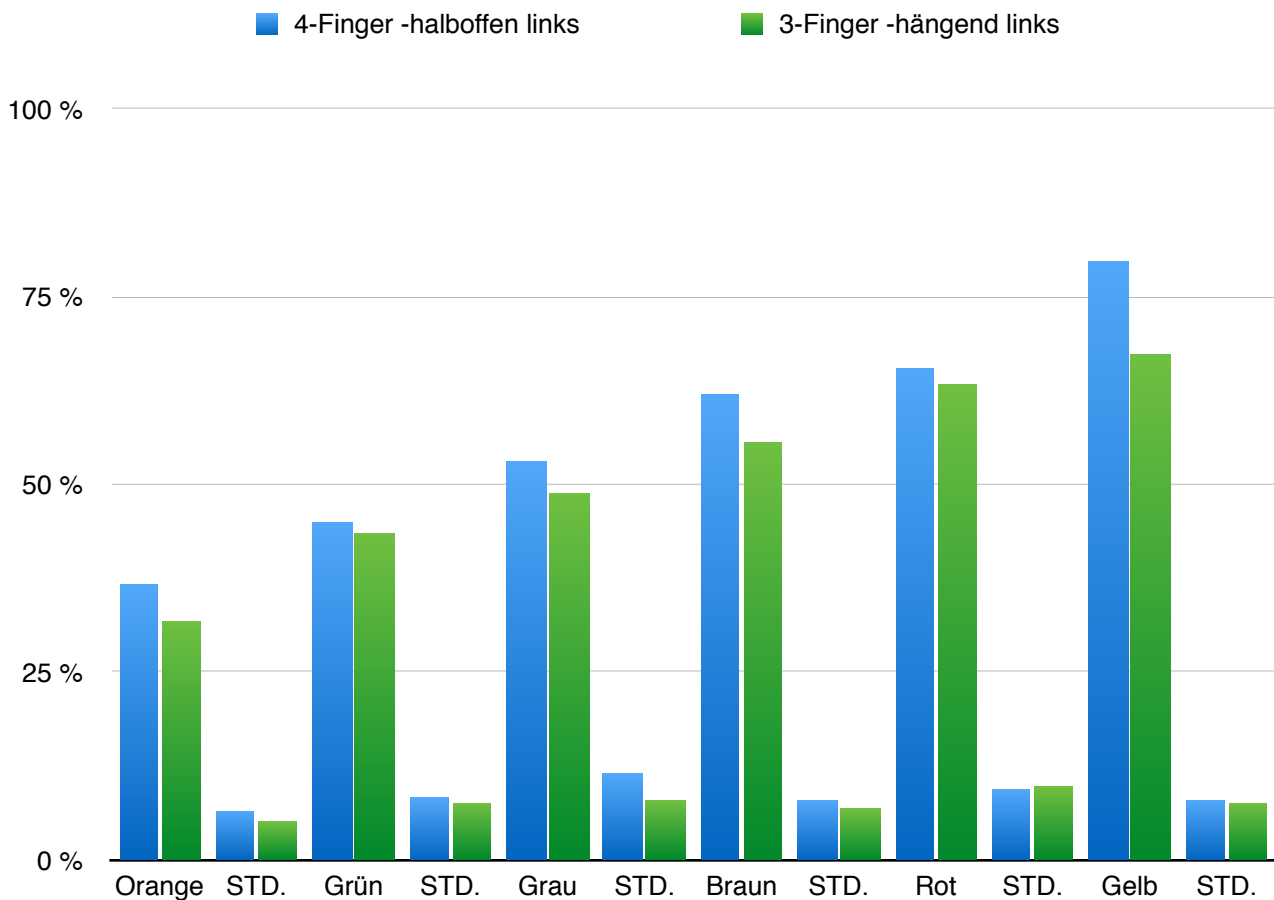


Abb.22: Säulendiagramm der linken Hand mit der Fingerstellung 4-Finger-halboffen und 3-Finger-hängend

Zu erkennen ist bei den Tests der Linken Hand, dass die Messwerte für die Greifposition 4-Finger-halboffen in allen Schwierigkeitsklassen im Durchschnitt höher waren als die der hängenden Position. Die relativen Werte für die halboffene Position sind für die Farbe Orange um 4,78%, für Grün um 1,69%, für Grau um 4,27%, für Braun um 6,47%, für Rot um 2,15% und für Gelb um 12,17% höher als die der hängenden Position.

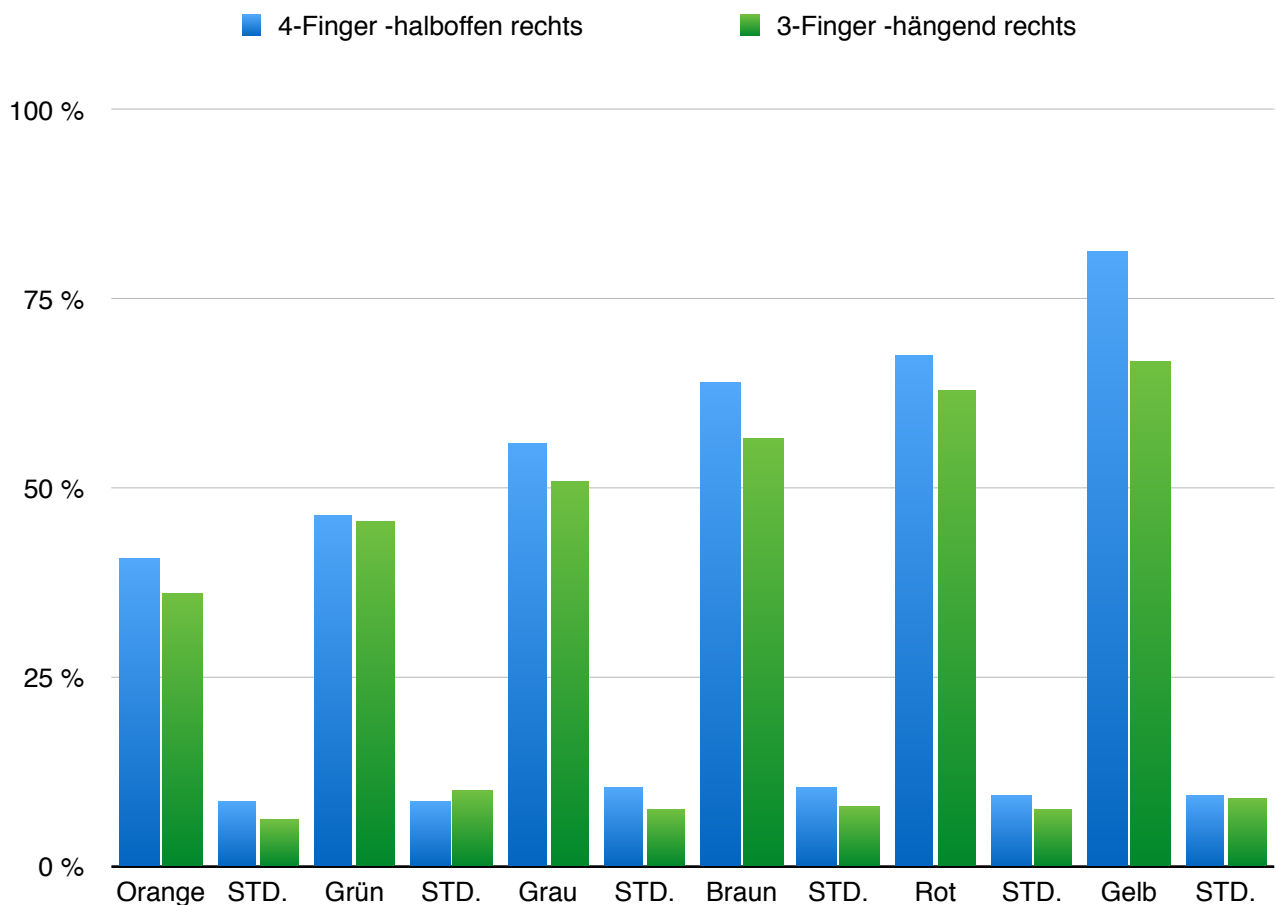


Abb.23: Säulendiagramm der rechten Hand mit der Fingerstellung 4-Finger-halboffen und 3-Finger-hängend

Auch bei der rechten Hand sind Unterschiede zwischen der halboffenen und der gestellten Greifposition erkennbar. Für die einzelnen Farben ergaben sich folgende Unterschiede: Die Werte der Greifposition 4-Finger-halboffen sind für die Farbe Orange um 4,78%, für Grün um 0,53%, für Grau um 4,86%, für Braun um 7,41%, für die Rot um 4,45% und für Gelb um 14,34% höher als die der hängenden Position.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass die Probanden in allen Schwierigkeitsklassen sowohl links als auch rechthändig bei der Greifposition 4-Finger-halboffen etwas höhere Werte erzielten als bei der Greifposition 3-Finger-hängend. Besonders stark fallen diese Unterschiede bei der höchsten Schwierigkeitsklasse (Gelb) ins Gewicht.

4. 4 Weitere Ergebnisse

Neben der Korrelation von Fingermaxialkraft und Kletterniveau, den Handseiten- und Griffformunterschieden wurden in dieser Studie auch die zufällige Verteilung der Schwierigkeitshäufigkeit und der Zusammenhang von Klettererfahrung und Kletterniveau betrachtet.

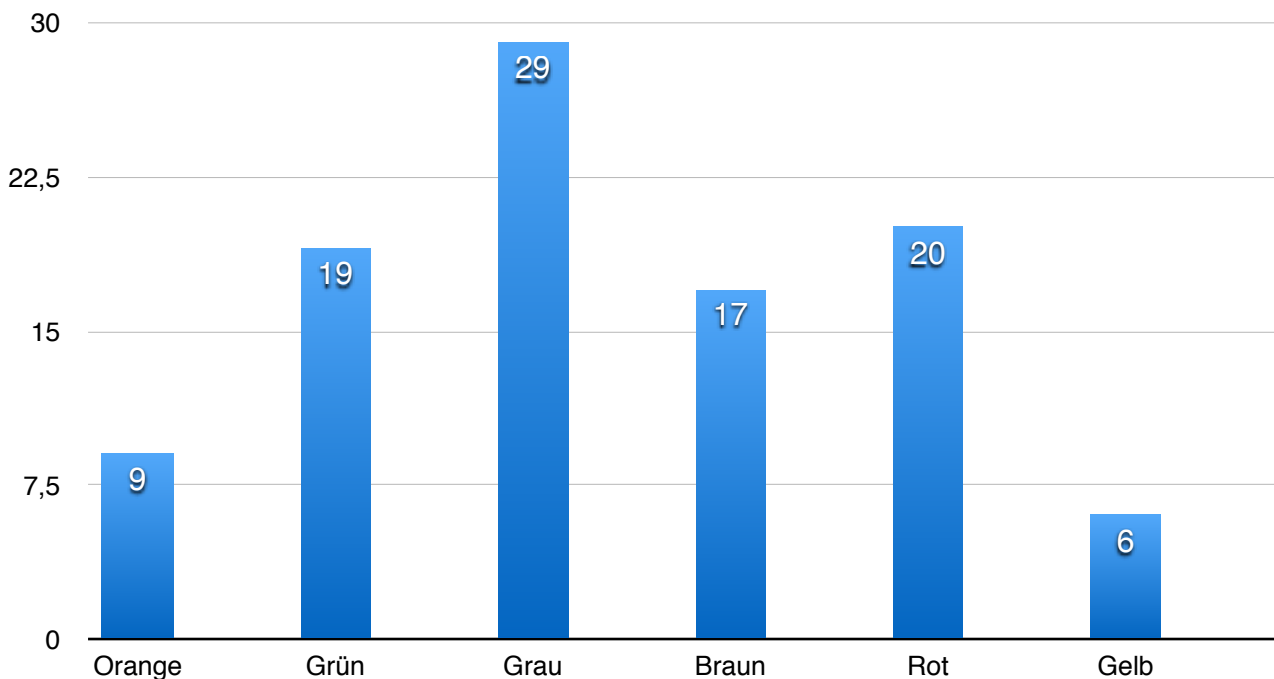


Abb.24: Säulendiagramm zur Verteilung der Schwierigkeitsstufen (von n=100)

Wie in der Grafik 24 zu sehen ist, klettert die große Masse der Probanden in den mittleren Schwierigkeitsgraden und nur wenige im Hochleistungsbereich und kompletten Anfängerstadium.

Auch die Klettererfahrung wurde bei früheren Studien im Leistungsprofil der Kletterer erfasst. Mermier et al. (2001) zeigte, dass die Klettererfahrung mit der Kletterleistung zusammenhängt. Auch in dieser Studie ist bei steigendem Kletterniveau eine Steigerung der durchschnittlichen Klettererfahrung erkennbar.

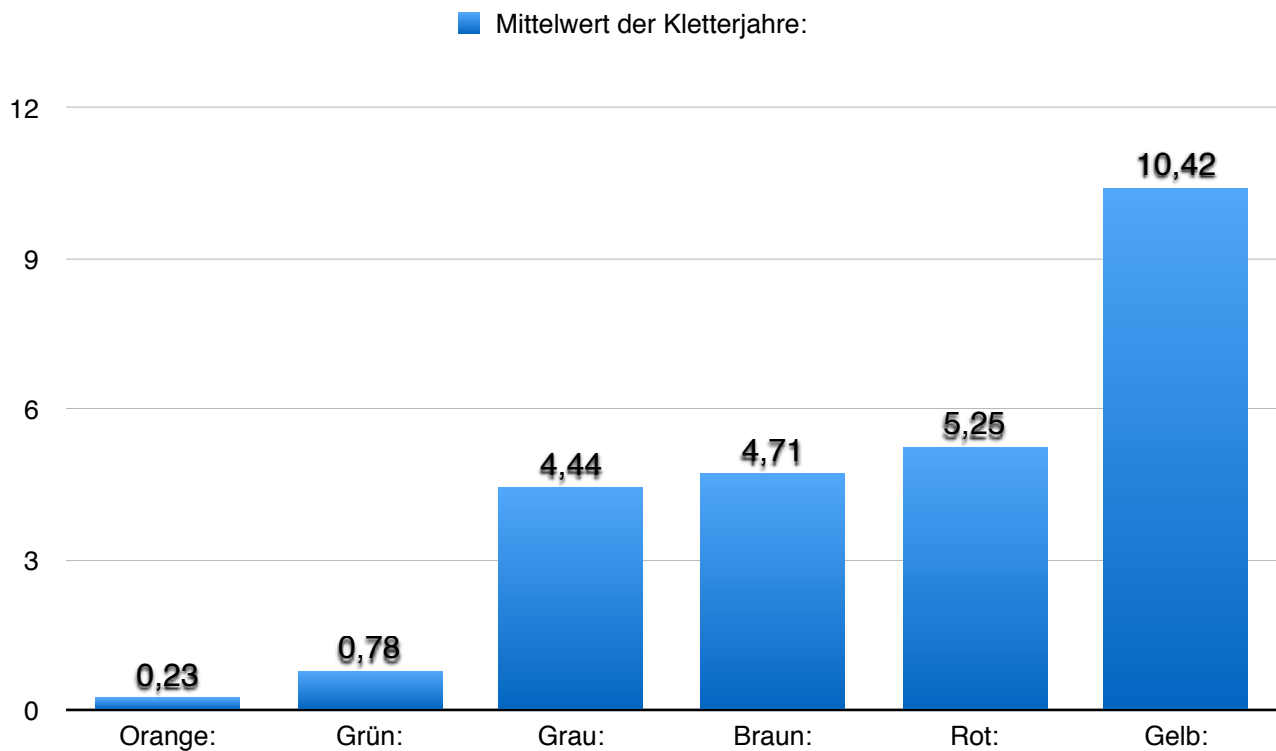


Abb.25: Säulendiagramm zur Klettererfahrung der Stichprobe

Klettererfahrung (Jahre)						
	Orange:	Grün:	Grau:	Braun:	Rot:	Gelb:
Arithmetisches Mittel:	0,23	0,78	4,44	4,71	5,25	10,42
Standardabweichung:	0,26	0,81	4,95	2,56	3,46	2,50
Anzahl der Kletterer:	9	19	29	17	20	6

Tabelle 8: Analyse zur Klettererfahrung der Stichprobe

Besonders auffällig ist hier, dass in den mittleren und vor allem höheren Leistungsstufen eine sehr hohe durchschnittliche Klettererfahrung gegeben ist.

4.5 Diskussion

In meiner Studie konnte ein sehr starker Zusammenhang ($r > 0,7$) von relativer Fingermaximalkraft und der Kletterleistung festgestellt werden.

Aufgrund der Auswahl und Verteilung ihrer Klettererfahrung und -leistung kann angenommen werden, dass die 100 Probanden eine typische Kletterstichprobe repräsentieren. Die Studie repliziert daher die Ergebnisse früherer Studien zum Zusammenhang von Maximalkraft und Schwierigkeitsstufen von Freizeitkletterern und Elitekletterern (Schweizer & Furrer, 2007; Philippe et al., 2012; Watts, 2004; MacLeod et al., 2007; Michailov & Mladenov & Schöffel, 2009). Im Gegensatz zu früheren Studien wurde dieser Effekt nicht nur für die „starke Hand“, sondern für die rechte und linke Hand nachgewiesen sowie für zwei Fingerstellungen (4-finger-halboffen und 3-Fingerhängend). Für beide Hände und Fingerstellungen wurden Korrelationen über 0,7 gefunden, die einen sehr hohen Zusammenhang nachweisen. Dieser Zusammenhang ist bei weiblichen Elitekletterern noch größer (Philippe et al., 2012: Rotpunkt: $r = 0,839$; On sight: $r = 0,946$). Das deutet darauf hin, dass im Hochleistungsbereich die Fingermaximalkraft noch stärker auf den Klettererfolg einwirkt.

Generell muss bei Vergleichen mit anderen Studien allerdings immer die Verwendung unterschiedlicher Messgeräte berücksichtigt werden. In anderen Studien wurde beispielsweise die Maximalkraft der Finger mit kletterunspezifischen Dynamometern (Michailov, 2014; Macdonald & Callender, 2011), mit der Entlastung an Leisten (Michailov & Mladenov & Schöffel, 2009; Fanchini et al., 2013) oder mit speziellen Handgelenksbeugungstests (Schweizer & Furrer, 2007) gemessen. Vor allem die Dynamometer und Handgelenkstests sind aufgrund ihrer fehlenden kletterspezifischen Merkmale weniger valide als die in dieser Untersuchung benutzte Methode. Trotz dieser unterschiedlichen Messmethoden konnten dennoch alle anderen Untersuchungen einen mehr oder weniger großen Zusammenhang von relativer und absoluter Maximalkraft der Fingerbeuger mit der Kletterleistung (maximaler On sight bzw. Rotpunkt) bestätigen. Ebenso sollte berücksichtigt werden, in welcher Disziplin die Kletterleistung dargestellt wird. So ist beispielsweise für die Kletterleistung im Sportklettern die maximale Fingerkraft nicht ganz so entscheidend wie im Bouldern.

In meiner Untersuchung klärten die relativen Fingermaximalkraftwerte in jeder Bedingung über 50% der Streuung auf. Dieses Ergebnis bestätigt frühere Untersuchungen. So klärten in der Studie von Mermier (2001) die trainerbaren Komponenten (Fin-

gerkraft, Armkraft und Klettertechnik) 58,9% der Varianz auf. Es bleibt somit Raum für weitere leistungsbestimmende Faktoren. Dies macht deutlich, dass neben der maximalen Fingerkraft noch weitere Faktoren die Kletterleistung beeinflussen. Entscheidend ist für die sportliche Leistungsfähigkeit nämlich nicht die alleinige Veränderung bzw. Verbesserung eines Faktors der sportlichen Leistung. Für eine gute Leistungsfähigkeit im Klettern ist vielmehr eine abgestimmte Entwicklung aller Faktoren bestimmend (Köstermeyer, 2000).

Da die Probanden in allen Schwierigkeitsklassen sowohl links- als auch rechthändig bei der Griffstellung 4-Finger-halboffen etwas höhere Werte erzielten als bei der Stellung 3-Finger-hängend stellt sich die Frage, wie diese Unterschiede zu erklären sind. Besonders stark fallen zudem die Unterschiede bei der höchsten Schwierigkeitsklasse (Gelb) auf. Da bei der schwersten Farbe die größten Unterschiede zwischen den beiden Fingerstellungen zu erkennen sind, wird vermutet, dass besonders in den höheren Schwierigkeitsgraden aufgrund der kleineren Griffe vermehrt die Stellung 4-Finger-halboffen angewendet wird. Die Fingerstellung 4-Finger-halboffen ist zudem der aufgestellten sehr ähnlich. Bei der aufgestellten Griffstellung heißt es auch, dass diese recht häufig in den oberen Leistungsbereichen vorkommt und deswegen trainiert werden sollte (Köstermeyer, 2012).

Hinsichtlich der Schwierigkeitsverteilung der getesteten Stichprobe lässt sich folgendes sagen: Die Tatsache, dass sich nur wenige Kletterer im kompletten Anfängerbereich befinden, liegt vermutlich daran, dass beim Klettern gerade am Anfang leicht Fortschritte gemacht werden. MacLeod (2012) weist darauf hin, dass für Kletterer im Anfängerbereich Leistungssteigerungen deutlich schneller erzielt werden als für fortgeschrittene Kletterer. Erklären lässt sich dies vor allem dadurch, dass der Organismus mit zunehmendem Leistungsniveau weniger auf die Trainingsreize mit Anpassungen im Bereich der Kondition reagiert (KÖSTERMEYER, 2012). In den höheren Schwierigkeitsgraden ist es somit deutlich schwieriger Leistungsfortschritte zu machen. Dies ist vermutlich auch der Grund, weshalb in der Gruppe Gelb (n=9) nur relativ wenige Kletterer der gesamten Stichprobe (n=100) waren.

Auch die unterschiedlich lange Klettererfahrung der einzelnen Schwierigkeitsstufen stellt einen interessanten Sachverhalt dar. Da das Klettern eine sehr komplexe Sport-

art ist, wird vermutet, dass für eine perfekte Ausübung in den höheren Schwierigkeitsgraden viel Klettererfahrung (Bewegungsgefühl, Trainingserfahrung, Taktik, Technik u.a.) notwendig ist. Damit wären beim Klettern viele Faktoren zu berücksichtigen, die erst durch jahrelanges Klettern perfekt umgesetzt werden können. Ein weiterer Grund, der den angesprochenen Zusammenhang bestätigt, wäre die lange Anpassungsdauer der Gelenke, Knorpel, Sehnen und Muskelbandapparates (Schöffl, 2014). Um die extremen Belastungen, die bei hohen Schwierigkeitsgraden auftreten, aushalten zu können, muss sich der Körper diesen Bedingungen anpassen. Verschiedene Gewebstypen haben dabei unterschiedlich lange Anpassungszeiten. Muskeln passen sich auf gesteigerte sportliche Belastungen relativ schnell (ab drei Wochen Krafttraining) an. Sehnen und Bandstrukturen brauchen dagegen oft mehr als zwei Jahre und Knorpel zwischen drei bis fünf Jahren (Schöffl, 2014). Diese unterschiedlichen Anpassungszeiten und die komplexen Anforderungen beim Klettersport könnten somit als Grund für die unterschiedliche Klettererfahrung gesehen werden.

Anhand der Untersuchungsergebnisse konnte wie schon erwähnt mittels der deskriptiven Datenanalyse und dem Korrelationsnachweis ein positiver Zusammenhang von relativer Maximalkraft der Fingerbeuger und Kletterniveau festgestellt werden. Bei den Messungen wurde versucht die äußeren Einflussfaktoren auf die Ergebnisse möglichst konstant zu halten. Durch die nachfolgenden standardisierten Rahmenbedingungen konnten Messfehler bei den Ergebnissen weitgehend ausgeschlossen werden:

- Der Einfluss der Außentemperatur und der Luftfeuchtigkeit auf die Haltezeiten und die Griffigkeit am Hangboard konnte aufgrund gleichbleibender/konstanter Umgebungsbedingungen in der Boulderhalle, in der alle Messungen durchgeführt wurden, verhindert werden (MacLeod, 2012).
- Mögliche Veränderungen bedingt durch das Messverfahren könnten ebenso für sämtliche Untersuchungen ausgeschlossen werden. Die Untersuchungsabfolge schrieb vor, dass alle Untersuchungen mit der Griffposition „4-Finger-halb-offen“ beginnen mussten und mit der Griffposition „3-Finger-hängend“ endeten. Das Testverfahren lief somit immer in sechs Phasen ab: In den ersten drei wurde mit der Griffposition „4-Finger-halb-offen“ und in den letzten drei mit der Griffposition „3-Finger-hängend“ gemessen. In jeder dieser Phasen galt die Vorgabe in einem Zeitraum von 40 Sekunden zuerst die linke Hand fünf Sekun-

den maximal zu belasten und danach die rechte Hand ebenso fünf Sekunden maximal zu belasten. Nach jeder dieser einzelnen Phasen erfolgte eine Pause von 40 Sekunden.

- Auch im Hinblick auf die Greifpositionen wurde stets auf eine korrekte Ausführung geachtet. So erfolgte das Greifen der Griffe bei allen Datenerhebungen ohne Daumeneinsatz. Lediglich das Anlehnen des Daumens an das Hangboard (ohne aktive Entlastung) wurde erlaubt. Veränderte Haltezeiten durch den abwechselnden Einsatz des Daumens konnten somit ausgeschlossen werden.
- Des Weiteren wurden zur Durchführungsobjektivität in allen Untersuchungen ein Ellenbogenwinkel von 180 Grad vorgeschrieben, da unterschiedliche Gelenkwinkel auch Veränderungen in den Haltezeiten und bei den Haltekräften bewirken können (Stöhr, 2011).
- Im Hinblick auf die Verletzungsprophylaxe und für eine optimale physiologische und mentale Vorbereitung wurde vor jeder Untersuchung ein Aufwärmen vorgeschrieben. Dies gewährleistet eine möglichst maximale Ausbelastung und dadurch aussagekräftige Ergebnisse (Keller & Schweizer, 2009).
- Außerdem wurde das Hangboard vor jedem Untersuchungsdurchgang und während jeder Untersuchungspause gründlich von Magnesiaresten gesäubert, welche einen negativen Einfluss auf die Griffigkeit (Reibung) des Hangbords ausüben könnten.

Zwar wurde in dieser Studie versucht, möglichst viele äußere Einflüsse, welche die Messergebnisse beeinflussen könnten, konstant zu halten, jedoch gibt es immer Faktoren, die nicht oder nur schwer konstant gehalten werden können.

Aufgrund der notwendigen maximalen Ausbelastung und der damit verbundenen zentralen Bedeutung der Motivation, konnte selbst bei stabilen äußeren Bedingungen eine permanente Merkmalskonstanz nur bedingt gewährleistet werden. Während der Messungen ist es nur schwer überprüfbar, ob der Proband wirklich an seine maximale Belastungsgrenze geht. Es wurde zwar versucht, dem entgegenzuwirken indem jeder Einzeltest dreimal wiederholt wurde, jedoch kann die Motivation als bedeutender Ein-

flussfaktor auf die maximale Entlastung während der Fingerkraftmessungen nicht komplett ausgeschlossen werden.

Des Weiteren wurde für die Probanden keine standardisierten Ernährungs- (z.B. kohlenhydratreiche Ernährung) und Erholungsvorgaben (z.B. zwei Ruhetage vor meinem Test) gemacht. Eine Überprüfung dieser Faktoren war aus Zeitgründen auch nicht möglich. In Verbindung mit der Ausbelastung können als weitere mögliche Einflussfaktoren auf die Ergebnisse auch der Erholungs- und Ernährungsstatus betrachtet werden (Guyon & Broussouloux, 2004). Ebenso konnten Einflussfaktoren wie zum Beispiel die Anzahl an Schlafstunden oder der Einfluss von äußeren Stressfaktoren (z.B. Arbeitsstress) auf den Erholungsstatus nicht überprüft werden. Ob diese nur schwer standardisierbaren Faktoren einen großen Einfluss auf die Ergebnisse ausüben, ist jedoch fraglich.

Eine Vergleich von Männern und Frauen wäre im Hinblick auf Fingerkraftunterschiede ein weiterer interessanter Aspekt. In dieser Studie könnten aufgrund der geringen Anzahl an weiblichen Probanden keine geschlechtsspezifischen Unterschiede dargestellt werden. Für Vergleiche der Durchschnittswerte der einzelnen Schwierigkeitsstufen wäre es ebenso besser, wenn in den einzelnen Schwierigkeitsstufen annähernd gleich viele Personen vertreten wären.

Auch wäre eine genauere Differenzierung der einzelnen Schwierigkeitsstufen für weitere Untersuchungen erstrebenswert. In dieser Studie konnte wegen der meist fehlenden Kenntnis der maximalen Rotpunkt- bzw. Onsightleistung beim Bouldern nur auf die schwerste in der Boulderhalle gekletterte Boulderfarbe zurückgegriffen werden. Da die Schwierigkeiten so nur in sechs verschiedene Stufen unterteilt werden konnte, ist dies natürlich deutlich unpräziser als wenn die Schwierigkeiten durch 9 oder 10 verschiedene UIAA- oder Fb-Grade erfolgt. Mit einer feineren Unterteilung ließen sich beispielsweise deutlich präzisere Aussagen zu einem bestimmten Schwierigkeitsbereich machen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ohne Zweifel ist Fingerkraft einer der wichtigsten Leistungsfaktoren beim Klettern.

Das Klettern ist jedoch eine sehr komplexe Sportart und lässt sich deshalb nicht nur auf einen einzigen Leistungsfaktor reduzieren.

Wie im Kapitel 2.4 und 2.5 herausgearbeitet wurde, kann die Krafftähigkeit der auf die Finger wirkenden Muskelgruppen als leistungsbestimmende, konditionelle Fähigkeit im Klettersport betrachtet werden. Die Verbesserung der Krafftähigkeit dieser Muskelgruppen spielt damit besonders in der Trainingsgestaltung und -planung eine übergeordnete Rolle (Köstermeyer, 2005; Macleod, 2010). In Bezug auf die unterschiedlichen Erscheinungsformen der Kraft wurde zudem festgestellt, dass neben der Maximalkraft auch die lokale Kraftausdauer der Fingerbeugemuskulatur als ein zentraler, leistungs-limitierender Faktor gesehen werden kann (Köstermeyer, 2005; Schöffl et al. 2006). In dieser Studie wurde in der Disziplin Bouldern ein sehr starker Zusammenhang ($r > 0,7$) von relativer Fingermaximalkraft und der Kletterleistung bestätigt. Diese positive Korrelation wurde beidseitig bei der Griffstellung 4-Finger-halboffen sowie für die Fingerstellung 3-Finger-hängend nachgewiesen.

Wichtig im Klettern ist es jedoch die Bedeutung eines leistungsrelevanten Faktors nicht zu überschätzen und auch andere Faktoren nicht zu vernachlässigen. So meint Köstermeyer (2012) hierzu, dass die Fingerkraft nur einer von vielen wichtigen Faktoren sei, welche die Leistung beim Klettern beeinflussen. Mit Sicherheit sei sie einer der wichtigsten. Aber selbstverständlich bedeutet mehr Fingerkraft nicht automatisch, dass man dadurch besser klettert. Auch die anderen Faktoren (Technik, Taktik, psychische und weitere physische Eigenschaften) sollten trainiert werden und man sollte so oft wie möglich am Fels klettern, um Fortschritte zu erzielen (Köstermeyer, 2012).

Das in dieser Untersuchung verwendete Messsystem ist wie schon erwähnt ein Prototyp, der eventuell das Klettertraining unterstützen könnte. In Zukunft wäre durch diese von Felix Bourassa-Moreau entwickelte Software folgendes denkbar:

Da das Wii Balance Board weiterverbreitet und im Vergleich zu gewöhnlichen WLAN- oder Bluetoothwaagen sehr günstig ist, wäre es ein preiswertes Gerät um das Klettertraining für jedermann wissenschaftlich zu begleiten. Es ließen sich hiermit auf einfache Weise kletterspezifische einarmig Belastungen trainieren. Neben der Maximalkraft ließe sich auch die Kraftausdauer (z.B. mit 60% des Maximalkraftwerkes) trainieren.

Auch regelmäßige Leistungstest könnten einfach und schnell umgesetzt werden. Im Hinblick auf eine benutzerfreundliche Verwendung wäre eine Kopplung des Balance Boards mit dem Smartphone oder Tablet möglich. Trainingsdaten könnten dabei auf dem Smartphone oder einem Online-Cloudspeicher abgespeichert und mit Trainern oder Freunden geteilt werden. Ein kleiner Nachteil des Systems ist allerdings die in Punkt 3.2.1 erwähnte Messungenauigkeit. Die geringen Systemkosten sowie weitere Softwareoptimierungen machen allerdings Hoffnung auf ein neues Trainingsgerät für jedermann.

6 Danksagung

Abschließend gilt mein besonderer Dank denen, die mir diese Zulassungsarbeit ermöglichten: Hier ist zum einen mein Dozent Herr Dr. Köstermeyer zu nennen, der mir dieses Thema gab und mich stets mit wertvollen Tipps für die Arbeit unterstützte. Besonders die Anregungen für die Umsetzung und das Verwenden des Universitäts-Testgestellts waren eine große Hilfe. Des Weiteren gilt mein Dank Felix Bourassa-Moreau, der mir erlaubte einen Prototyp seiner Fingerkraft-Software für meine Messungen zu verwenden. Ebenso danke ich meiner Schwester, Ingrid Kaiser, die mir bei der Datenauswertung und inhaltlichen Verbesserungen mit Rat zur Seite stand. Auch möchte ich Axel Niermann danken, der meine Messungen fotografisch begleitete. Weiter gilt mein Dank auch den Betreibern der Blockhelden-Boulderhalle, die es mir ermöglichten in ihrer Halle mit ihren Kunden die Fingerkraftmessungen durchzuführen. Besonderer Dank gilt schließlich auch den 100 Testpersonen, die freiwillig und ohne Entgelt an meiner Studie teilnahmen.

7 Literaturverzeichnis

Gedruckte Quellen:

- Albert, K. (2005). Fight Gravity. Klettern im Frankenjura (1.Auflage). Korb: Tmms-Verlag.
- Aitchison, T., Bradley, J., Buntin, L., Grants, S., MacLeod, D., Sutherland, D. L., Watt, I., Whitaker, A. (2007). Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance [Elektronische Version]. In: Journal of Sports Sciences, 25 (12), 1433-1443.
- Bartlett, J H., Bingham, J., Ting, L. (2014). Accuracy of force and center of pressure measures of the Wii Balance Board. Gait & Posture, vol. 39, pp. 224-228.
- Broussouloux, O., Guyon, L. (2004). Escalade et Performance. PRÉPARATION et ENTRAÎNEMENT. Paris: Amphora sports.
- Espana Romero, V., Ruiz, JR., Ortega, FB., et al. (2009). Body fat measurement in elite sport climbers: Comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry. J Sports Sci.27:469–477.
- Fanchini, M., Violette, F., Impellizzeri, F., Maffiuletti, N. (2013). DIFFERENCES IN CLIMBING-SPECIFIC STRENGTH BETWEEN BOULDER AND LEAD ROCK CLIMBERS (Elektronische Version). In: Journal of Strength and Conditioning Research; 7(2)/310–314.
- Hochholzer, A., Schöffl, V. (2014). Soweit die Hände greifen: Sportklettern Verletzungen und Prophylaxe (6. Auflage). Ebenhausen: Lochner-Verlag.
- Hoffmann, U., Orthmann, P. (2009). Schnellkurs Statistik mit Hinweisen zur SPSS-Benutzung (sechste, überarbeitete und erweiterte Auflage). Köln: Sportverlag Strauss.
- Hofmann, A. (2007). Besser Bouldern. Grundlagen und Expertentipps (1. Auflage). Korb: Tmms-Verlag.

- HÖRST, E. J. (2008a). Conditioning for Climbers. The Complete Exercise Guide. Guilford CT: How to climb series, FalconGuides.
- HÖRST, E. J. (2008b). Training for Climbing. The Definitive Guide to Improving Your Performance (Second Edition). Guilford CT: How to climb series, FalconGuides.
- Keller, P., Schweizer, A. (2009). Vertical Secrets. Technik-Training-Medizin (2. Auflage). Zürich: Turntillburn GmbH.
- Krug, G. (2009). Die 4. Dimension: Kletter- und Boulderlehrbuch (1. Auflage). Halle: Geoquast Verlag
- Köstermeyer, G. (2012). Peak Performance. Klettertraining von A - Z (6. Auflage). Korb: Tmms-Verlag.
- Köstermeyer, G. (2000). Bestimmung, Bedeutung und Training der lokalen Kraftausdauer der Fingerbeuger im Sportklettern. Neuried: Ars Una Verlagsgesellschaft mbH.
- Köstermeyer, G., Küpper, T., Möckel, F., Roloff, I., Schöffl, V. (2006). Development of a Performance Diagnosis of the Anaerobic Strength Endurance of the Forearm Flexor Muscles in Sport Climbing [Elektronische Version]. In: International Journal of Sports Medicine 27, 205-211.
- MacLeod, D. (2012). 9 von 10 Kletterern machen die gleichen Fehler (2. Auflage). München: Riva Verlag.
- Macdonald, J., Callender, N. (2011). Athletic Profile of Highly Accomplished Boulderers.(Elektronische Version). In: WILDERNESS & ENVIRONMENTAL MEDICINE, 22, 140–143
- Magiera, A., Rocznio, R., Maszczyk, A., Czuba, M., Kantyka, J., Kurek, P. (2013). The Structure of Performance of a Sport Rock Climber (Elektronische Version). In: Journal of Human Kinetics volume 36/2013, 107-117
- Mermier, C., Janot, J., Parker, D., Swan, J. (2000). Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance (Elektronische Version). In: Br J Sports Med; 34:359–366

- Michailov, M. (2014). WORKLOAD CHARACTERISTIC, PERFORMANCE LIMITING FACTORS AND METHODS FOR STRENGTH AND ENDURANCE TRAINING IN ROCK CLIMBING (Elektronische Version). In: Med Sport 18 (3): 97-106
- Michailov, M., Mladenov, M., Schöffl, V. (2009). ANTHROPOMETRIC AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF WORLD-CLASS BOULDERERS (Elektronische Version). In: Med Sport 13 (4): 231–238
- Morenas Martín J, Del Campo VL., Leyton Román M, Gómez-Valadés Horrillo JM., Gómez Navarrete JS. (2013). Description of the finger mechanical load of climbers of different levels during different hand grips in sport climbing. In: J Sports Sci.;31(15):1713-21.
- Neumann, U. (2007): Lizenz zum Klettern V3. Köln: Udini Verlag Udo Neumann.
- 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. In: Int J Sports Med. 25(8):634-7.
- Schweizer, A., Furrer, M. (2007). Correlation of forearm strength and sport climbing performance (Elektronische Version). In: Isokinetic and Exercise Science15;211-216.
- Stöhr, R. (2011). Griffbrett-Training. Lord of the Boards. In: Klettern. Hot Rocks, Cold Ice, Big Walls 05/2011, 64-65.
- Philippe, M., Wegst, D., Müller, T., Raschner, C., Burtcher, M. (2012). Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers (Elektronische Version). In: Eur J Appl Physiol 112:2839–2847
- Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. In: European Journal of Applied Physiology 91, 361-372.
- Weineck, J. (2010). Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder und Jugendtrainings (16. durchgesehene Auflage). Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.

- Internetquellen:

- Stöhr, R. (klettern.de) Zugriff am 5. August 2015 unter <http://www.klettern.de/news/sportklettern-bouldern/video-ben-moon.1376452.5.htm>
- DAV: Deutscher Alpenverein (2014). Zugriff am 01. August 2015 unter http://www.alpenverein.de/chameleon/public/a76f224f-d901-6e91-ae1-e5bd8b-c8a2ba/150129_DAV-in-Zahlen_25166.pdf

8 **Abbildungsverzeichnis**

- Deckblatt: Fingerkraftmessung: Eigene Datei
- Abbildung 1 und 2: Weineck, J. (2010). Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder und Jugendtrainings (16. durchgesehene Auflage). Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Abbildung 3: Krug, G. (2009). Die 4. Dimension: Kletter- und Boulderlehrbuch (1. Auflage). Halle: Geoquast Verlag.
- Abbildung 4 und 5: Michailov, M., Mladenov, M., Schöffl, V. (2009). ANTHROPOMETRIC AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF WORLD-CLASS BOULDERERS (Elektronische Version). In: Med Sport 13 (4): 231–238
- Abbildung 6 bis 25: Eigene Datei
- Tabelle 1: http://www.stonevibes.de/uploads/pics/skalen_bouldering.gif
- Tabelle 2: Neumann, U. (2007): Lizenz zum Klettern V3. Köln: Udini Verlag Udo Neumann.
- Tabelle 5: Umrechnungsskala der Blockhelden-Boulderhalle Erlangen
- Tabelle 3,4,6,7,8: Eigene Datei

9 Anhang

➤ Datenblatt:

Datum:

Datenblatt Fingerkraft

Vorname: _____ Nachname: _____
Männlich: _____ Weiblich: _____
Alter: _____ Körpergröße: _____ (cm)
*E-Mail: _____ (falls erwünscht werden die Daten per Mail geschickt)

Kletterleistung:

(max. Rotpunkt beim Sportklettern am Fels) _____ UIAA (in den letzten 6 Monaten)

(max. Rotpunkt beim Bouldern am Fels) _____ Fb (in den letzten 6 Monaten)

(Bei den Blockhelden) Gelb: _____ Rot: _____ Braun: _____ Grau: _____

Schwarz: _____ Grün: _____ Orange: _____ (ungefähre Anzahl pro Session)

Klettererfahrung:

Wie lange kletterst du insgesamt? _____ (in Jahren/Monaten)

Wie oft kletterst du durchschnittlich pro Monat in der Halle? _____

Wie oft kletterst du durchschnittlich pro Monat am Fels? _____

Test:

Körpergewicht: _____ (kg)

*Zusatzgewicht: _____ (kg)

	Linke Hand:			Rechte Hand:		
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3
4-Finger gestellt	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	%	%	%	%	%	%
3-Finger hängend	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	%	%	%	%	%	%

Anmerkungen:

➤ Tabelle mit allen erfassten Werten der Teilnehmer

Erklärung zur Hausarbeit gemäß § 29 (Abs. 6) LPO I

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Hausarbeit von mir selbstständig verfasst wurde und dass keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt wurden. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, sind in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht.

Diese Erklärung erstreckt sich auch auf etwa in der Arbeit enthaltene Zeichnungen, Kartenskizzen und bildliche Darstellungen.

Erlangen, 1.10.2015

Ort, Datum

Franz Kaiser

Unterschrift