

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

**„Kinematische Analyse der Weg- Zeitparameter
während der Standardbewegung beim Sportklettern:
Vergleich von Anfängern und Fortgeschrittenen bei
der Bewegungstechnik Eindrehen“**

Verfasserin

Nicole Kaupa, Bakk. rer. nat.

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Magisterstudium Sportwissenschaft

Betreuer:

Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Arnold Baca

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit *selbstständig* verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde daher weder an einer anderen Stelle eingereicht (z.B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z.B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung.....	1
Inhaltsverzeichnis.....	1
Vorwort.....	3
Abstract.....	3
<i>Deutsch</i>	3
<i>English</i>	3
1. Einleitung.....	5
1.1 <i>Hinführung zur Fragestellung</i>	5
1.2 <i>Beschreibung der wissenschaftlichen Vorgangsweise</i>	6
1.3 <i>Überblick über die Kapitel</i>	7
2. Sportklettern im Wandel der Zeit.....	9
2.1 <i>Begehungsarten und Schwierigkeit</i>	11
2.2 <i>Schwierigkeitsskalen</i>	14
3. Sportbiomechanik und ihre Relevanz beim Sportklettern.....	16
3.1 <i>Bewegung und ihre Komponenten</i>	16
3.2 <i>Struktur sportlicher Bewegung: Phasenstruktur und ihre Komponenten</i>	19
3.2.1 <i>Phasenstruktur im Sportklettern</i>	21
4. Der Begriff Technik im Sportklettern	24
4.1 <i>Bewegungstechnik im Sport</i>	24
4.2 <i>Klettertechniken</i>	25
5. Messen.....	39
5.1 <i>Messungen im Sport: Grundlagen der Leistungs-, Technikdiagnostik und Bewegungsanalyse</i>	39
5.2 <i>Videobasierte Messmethoden</i>	43
5.3 <i>Das Video und Möglichkeiten des Videoeinsatzes</i>	46
5.4 <i>Auswertung von Videoaufnahmen</i>	47
6. Analyse der Eindrehbewegung beim Sportklettern.....	50
6.1 <i>Entwicklung der Fragestellung</i>	50
6.2 <i>Nutzen der Studie</i>	51
6.3 <i>Entwicklung des Messaufbaues</i>	52
6.3.1 <i>Die Idee</i>	55
6.3.2 <i>Allgemeine Situation und Aufnahmeort</i>	56
6.3.3 <i>Kamerasetup und Kalibrierungsobjekt</i>	60
6.3.4 <i>Marker-setup</i>	61
6.3.5 <i>Ausgewählte Parameter</i>	63
6.4 <i>Durchführung der Studie</i>	72
6.4.1 <i>ProbandInnen-suche</i>	72
6.4.2 <i>Aufnahmen</i>	73
6.4.3 <i>Probleme im Rahmen der Aufnahmen</i>	73
6.5 <i>Auswertung der Daten</i>	74
6.5.1 <i>Simi Motion</i>	75
6.5.2 <i>Möglichkeiten der Präsentation der ausgewerteten Videoaufnahmen</i>	84

6.5.3	Probleme im Rahmen der Videoauswertung	85
6.5.4	Statistische Analyse	85
6.5.5	Ergebnisinterpretation	99
7.	Abschluss und Zusammenfassung	100
7.1	<i>Diskussion</i>	100
7.2	<i>Fazit</i>	100
7.3	<i>Aussicht</i>	102
8.	Literaturverzeichnis.....	103
9.	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	106
10.	Anhang.....	108
10.1	<i>Fragebogen für Probanden</i>	108
10.2	<i>Information Probandensuche</i>	109
10.3	<i>Ablaufplan Aufnahmetage</i>	111
10.4	<i>Lebenslauf</i>	113

Vorwort

Die Erstellung meiner Diplomarbeit zog sich sehr in die Länge. Nicht nur mein Aufenthalt in den USA, der ein Jahr lang dauerte, sondern auch Motivationsprobleme und meine Arbeit warfen mich immer wieder zurück. Jeder „Neubeginn“ verschluckte wieder Wochen des bereits vorangegangenen Arbeitens.

Ich meldete die Arbeit im November 2009 an und beendete sie nun im März 2013. Ich werde in Zukunft meine Prioritäten besser setzen.

Daher möchte ich meiner Familie und meinem Verlobten für ihren Glauben an mich und ihre Geduld danken, denn ohne ihre Unterstützung hätte ich die Arbeit nie zu Ende geführt.

Danke auch an all jene, welche mich im Laufe der Arbeit unterstützten: ProbandenInnen, welche an der Studie teilnahmen; KollegInnen, welche sich die Zeit nahmen mich in die entsprechenden Programme einzuführen und natürlich auch an jene, welche am Ende der Arbeit immer wieder Korrektur lasen.

Abstract

Deutsch

Diese Arbeit versucht die Klettertechnik des Eindrehens zu analysieren und in Zahlenwerten auszudrücken. Über eine eingehende Literaturrecherche wird versucht dem Leser/ der Leserin ein Hintergrundverständnis zum Klettersport und der Biomechanik, sowie den verwendeten Studiengrundlagen, näher zu bringen.

Hierauf werden an Hand von Videobilddaten Werte erhoben, welche in direktem Zusammenhang mit der Technik des Eindrehens beim Klettern stehen.

Mit Hilfe dieser Studie konnte unter anderem die Wichtigkeit der Wahl des Trittes des Standbeines unterstrichen werden. Außerdem wurden anschauliche Grafiken zum Thema der Eindrehtechnik erstellt.

English

In this thesis I tried to analyse the important climbing technique of turning.

A detailed literature research tries to give the reader an understanding of sportscimbing, biomechanics and a precise background about the study carried out.

With a computer programme I scanned videos for particular data that is connected to the climbing technique of turning.

Magisterarbeit: Sportklettern
Betreuer: Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Arnold Baca

With this study I was able to confirm the importance of the right foothold for the supporting leg and I created some graphic arts around the topic of the turning technique.

1. Einleitung

1.1 Hinführung zur Fragestellung

Ich selbst habe eine starke Affinität zum Bergsport, insbesondere zum Klettern. Daraus wuchs der Wunsch, ein Thema zu behandeln, welches sich mit meinen Interessen deckt und welches mir erlaubt etwas „Neues“ zu untersuchen.

Als Instruktorin „Klettern Breitensport“ wollte ich außerdem etwas zur Lehre in diesem Sport beitragen.

Der ursprüngliche Titel lautete

„Kinematische Analyse der Weg- Zeitparameter während der Standardbewegung beim Sportklettern. Vergleich der Bewegungstechniken: Eindrehen, Dynamo und Schulterzug.“

Nach einiger Recherche entpuppte sich diese Thematik jedoch in der Durchführung als zu breit für die Bearbeitung innerhalb einer Diplomarbeit. Nach einigen Überlegungen wurde der aktuelle Titel und damit die aktuelle Fragestellung fixiert:

„Kinematische Analyse der Weg- Zeitparameter während der Standardbewegung beim Sportklettern: Vergleich von Anfängern und Fortgeschrittenen bei der Bewegungstechnik Eindrehen“.

Sucht man in der Literatur nach Veröffentlichungen über Sportklettern aus biomechanischer Sicht, so wird man meist nur in sehr wenigen Bereichen fündig. Es herrschen Untersuchungen zur Belastung der Finger (Allgäuer, 2006), des Schwerpunktverlaufes (Kauer, 1995; Sibella et al., 2007) oder speziell der Bereich der Materialprüfung (Custer, 2006) vor.

Um Kräfte beim Klettern zu messen wurden sogar Griffe entwickelt, welche mit Sensoren ausgestattet sind (Fuss & Niegl, 2006). Mit Hilfe dieser Messmethode konnte unter anderem nachgewiesen werden, dass durch verringerte Haltekraft das Verletzungsrisiko bei Erschöpfung abnimmt.

Im Vergleich zu anderen Bereichen in der Sportbiomechanik sind biomechanische Analysen zum Thema Sportklettern relativ selten. Brent et al. (2009, S. 159) merken an, dass die meisten Studien, welche im Laufe der Zeit zum Thema Sportklettern durchgeführt wurden, sich mit physiologischen Effekten befassen.

Auch andere Autoren merken ein Fehlen an exakten Untersuchungen in diesem Sport an, unter anderem Keller & Schweizer (2009) oder Gerbert (1994).

Sie alle sind sich einig, dass in der wissenschaftlichen Erforschung, und in diesem Fall in der Biomechanik, zwar die Kräftewirkung im Bereich Finger, sowie beim Sichern, Stürzen ins

Seil und dem Material bereits gut untersucht wurden, jedoch allen anderen Themen relativ wenig Aufmerksamkeit zukam.

„Obschon der Sportkletterpionier Wolfgang Güllich das Klettern sehr nüchtern als Hochleistungssport betrachtete und nun seit gut 20 Jahren ein gut organisierter Weltcupzirkus existiert, erbringt weiterhin ein Teil der weltbesten Kletterer und Kletterinnen ihre Leistungen lieber alleine für sich draußen am Fels anstelle sich mit Wettkampfgeln unterzuordnen.“
(Keller&Schweizer, 2009, S. 12)

Diese Einstellung des „alleine für sich und gegen alle Regeln“, welche sich mit der Entwicklung des Sportkletterns tief in die Köpfe der Ausübenden einbrannte, könnte einer der Gründe sein, warum dieser Sport kaum aus der wissenschaftlichen, hier speziell der biomechanischen Sicht, betrachtet wurde.

Gerade im Techniktraining sind jedoch Daten von Nöten, um dieses optimal Ausführen zu können.

„Rock climbing is a popular adventure sport for which there is a growing body of scientific knowledge. There is, however, a lack of sport specific assessment tools to monitor performance.“
(Brent, S.; Draper, N.; Hodgson, C.; Blackwell, G., 2009, S. 159)

Ziel dieser Arbeit war es daher einen weiteren Beitrag im Bereich der Biomechanik des Sportkletterns zu leisten und hier speziell eine grundlegende Technik, die Eindrehbewegung, zu analysieren.

All dies geschah unter der Prämisse, dass sich zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen im Klettern ein überzufälliger Unterschied nachweisen lässt. Denn nur mit dem Wissen dieser Unterschiede kann ein Trainer/eine Trainerin optimale Trainingsinterventionen setzen.

Außerdem wurde versucht aus der Studie herauszufiltern, ob und welche Knotenpunkte es in der Eindrehbewegung gibt und wie sich diese quantifizieren lassen. Dieses Wissen kann in der Lehre, speziell im Techniktraining, zur Anwendung kommen.

1.2 Beschreibung der wissenschaftlichen Vorgangsweise

Nach einer eingehenden hermeneutischen Literaturanalyse, in welcher der aktuellen wissenschaftlichen Stand aufgezeichnet, wurde die aktuelle Problemstellung definiert.

Hierauf wurde ein Untersuchungsplan erstellt, welcher die gestellte Frage beantworten sollte.

Um der Frage nach Unterschieden zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen nachzugehen, entschied ich mich dafür, als Untersuchungswerkzeug eine Videoanalyse durchzuführen.

Zunächst mussten dann Parameter festgelegt werden, an denen die Unterschiedlichkeiten sinnvoll veranschaulicht werden konnten, dann wurde der genaue Untersuchungsaufbau mit

den Kameras geplant. In weitere Folge wurden Richtlinien zur Auswahl der Probanden bestimmt und für die Untersuchung geworben.

Die Aufnahmen selbst wurden in der Kletterhalle Südwand in Perchtoldsdorf durchgeführt.

Im Anschluss wurden an Hand der festgelegten Parameter die Aufnahmen am PC ausgewertet und die Daten statistisch verarbeitet.

Das Ergebnis interpretierte und diskutierte ich am Ende, um darzustellen, wie diese Daten zu bewerten sind.

Während der Durchführung meiner Studie habe ich mich im Großen und Ganzen an den Stufen des Forschungsprozesses, wie sie Willimczik (1992, S. 10f) empfiehlt, orientiert:

- Eine *Problemstellung definieren*.

Es werden Annahmen über einen Sachverhalt, der überprüft werden soll, getroffen.

- Eine *Untersuchungsplanung aufstellen*.

Es kommt zur Konstruktion einer Untersuchung, die die aufgestellten Hypothesen überprüfen soll. Hierzu gehört die Auswahl der Probanden und Probandinnen, die Bestimmung der Versuchsmethoden und die Überlegung, wie sehr diese durch Fehler behaftet sind.

- Die *Versuchsdurchführung* bewerkstelligen.

In diesem Schritt wird die Untersuchungsplanung weitgehend realisiert.

- Eine *statistische Analyse* durchführen.

Nun werden die Daten mit Hilfe statistischer Analyseverfahren ausgewertet.

- Die *Ergebnisinterpretation und –diskussion* bearbeiten.

In diesem Abschnitt werden die vorliegenden Ergebnisse mit vorhandenen Ergebnissen, falls vorhanden, verglichen und gegebenenfalls in eine Theorie eingefügt.

1.3 Überblick über die Kapitel

Im Laufe der Arbeit wird versucht, den Leser/ die Leserin langsam an das Thema der Studie und der Fragestellung heranzuführen.

Nach der allgemeinen Einleitung werden im zweiten Kapitel das Sportklettern und all seine Facetten beschrieben. Danach wird im dritten Kapitel die Sportbiomechanik und ihre Verbindung zum Klettersport erörtert. Im vierten und fünften Kapitel wird immer näher in

Magisterarbeit: Sportklettern
Betreuer: Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Arnold Baca

Richtung der eigentlichen Studie geführt und die Bewegungstechniken im Sportklettern, sowie das Thema des Messens im Sport erörtert.

Im sechsten Kapitel wird dann die eigentliche Studie behandelt, von der Idee, über die Durchführung, bis zu den aufgetretenen Problemen. Hier werden schlussendlich auch die Ergebnisse präsentiert.

Den Abschluss der Arbeit bilden mehrere Gedanken zum Ergebnis der Studie und wie diese in Zukunft nutzbringend anwendbar sind. Auch eine Möglichkeit der Fortführung unter Berücksichtigung der aufgetretenen Probleme wird erläutert.

2. Sportklettern im Wandel der Zeit

Klettern hat im Laufe der letzten Jahrzehnte einen grundlegenden Wandel erlebt.

Die Definition für „Sport“ lautete Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts folgendermaßen:

„Sport ist eine Bewegungstätigkeit, welche gewisse körperliche und geistige Fähigkeiten in einem den Durchschnitt übersteigenden Maße erfordert, und welche jemand aus dem Grund betreibt, weil ihm die Betätigung jener Fähigkeiten Freude macht.“ (Nieberl 1922, S. 3)

Aktuell beschreibt Weiß (1999, S. 10) Sport als eine „soziale Institution, in der eine Kommunikation körperlicher Leistungen stattfindet.“

Wie man sieht, hat sich selbst die grundlegendste Auffassung an sich, was Sport bedeutet, in den letzten Jahrzehnten verändert.

Nieberl verwendete bereits im Jahr 1909 (S. 1) den Begriff „Klettern“ als eine Bezeichnung für Sport in unserem heutigen Verständnis. Er betont die starke Entwicklung weg vom klassischen Bergsteigen hin zum Klettern als sportliche Aktivität.

„Dann kamen die Einzelforscher! Ihnen genügte nicht mehr die Eroberung der bedeutendsten Gipfel auf längst bekannten Bergesriesen, sie besuchten untergeordnete, noch jungfräuliche Spitzen, sie entdeckten neue Abstiege und begannen sogenannte kombinierte Touren, d.h. Gratübergänge von teilweise ganz gewaltigem Umfang auszuführen. Kurzum, sie überzogen die Alpenerhebungen allmählich mit einem dichten Netz von Anstiegen und fügten emsig noch heute Masche an Masche in dieses Netz. Das Bergsteigen, insbesondere das Klettern, war ein Sport geworden, eine Sport allerdings im edelsten Sinne des Wortes, der seine Jünger in innigste Berührungen mit der Natur bringt und ihnen so ein Gegengewicht bietet gegen die verflachenden Einflüsse, die in nerventötender Einförmigkeit auf die meisten der neuzeitlichen Berufsarten einwirken.“ (Nieberl, 1922, S. 1)

Das eigentliche „Freiklettern“, meist einfach als Sportklettern bezeichnet, entwickelte sich bereits um 1900 im Elbsandsteingebirge Deutschlands.

Im Laufe der Zeit wurde auf technische Hilfsmittel immer mehr verzichtet und die ersten Schwierigkeitsskalen entwickelten sich. Um 1920 wurden die Regeln des neuen Freikletterns schließlich schriftlich fixiert.

Als die wichtigsten Reglementierungen galten unter anderem, dass das Halten nur an natürlichen Felsstrukturen erlaubt ist, dass die Felsoberfläche nicht verändert werden darf um eine Erleichterung zu ermöglichen und dass Sicherungshaken nur bei der Erstbegehung einer Route gesetzt werden dürfen.

Ab den 1950ern entwickelte sich diese Spielform des Alpinismus speziell in den USA weiter. Erst Mitte der 1970er schwappte die Idee wieder zurück nach Europa, wobei speziell in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts durch konsequente Trainingsmethoden und die Verwendung von Reibungskletterschuhen eine starke Leistungssteigerung zu sehen war. (Hoffmann, 2008, S. 8)

Erst in den achziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden Schwierigkeitssteigerungen in den achten (1977), neunten (1979) und zehnten Grad (1983) im Stil des Freikletterns erreicht und der lange als schwerster gültiger Grad, der elfte, im Jahre 1991. (Hepp, Güllich und Heidorf, 1992, S. 17) Erst 1996 stellte Alexander Huber einen neuen Schwierigkeitsrekord im oberen elften Grad auf.

Während es sich anfangs hauptsächlich noch um Base-Climbs, welche eine Seillänge nicht überschreiten, handelte, wird die Idee des Sportkletterns auch immer mehr in die großen Wände der Alpen getragen. Anfang der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts werden auch Routen der Extreme eröffnet. Kletterexpeditionen im Karakorum des Himalaya oder in Patagonien, wie man es auf Abbildung 1 sehen kann, sind heutzutage keine Seltenheit.



Abbildung 1: Stefan Glowacz am Fitz Roy (Foto: Klaus Fengler , Zugriff unter http://www.outdoor-magazin.com/sixcms/media.php/6/Fitz_Roy_2010_5.jpg am 04.12.2012.)

Im Jahre 1987 wurde von der UIAA (Union International des Association d'Alpinisme oder International Mountaineering and Climbing Federation) eine Wettkletterkommission gegründet und somit der Weg für das Wettkampfklettern geebnet. (Kauer, 1995, S. 9)

1989 wurde dann der erste offizielle Gesamtweltcup ausgetragen und im Jahre 1992 bei den olympischen Spielen in Barcelona wurde Wettklettern als Demonstrationsbewerb ausgetragen. Erst 2007 wurde das Thema der Olympiabeteiligung wieder aufgerollt. Ausschlaggebend war hier auch die Bedeutung des Kletterns im Jugendsport.

„Am 10. Dezember 2007 hat das IOC der IFSC (International Federation of Sport Climbing) einen provisorischen Anerkennungsstatus als Sportfachverband für das Klettern zugesprochen. Damit ist der Klettersport auf dem Weg in Richtung Medaillensportart bei Olympia wieder einen Schritt weiter.“ (Knabl, 2007.)

2009 gab es dann hinsichtlich der Olympiaaufnahme des Klettersportes einen weiteren Erfolg zu verbuchen.

„Schon im Dezember 2009 hatte das IOC die IFSC offiziell als Sportverband und repräsentativen Körper für das Sportklettern anerkannt. Damit ist es der IFSC nun möglich, an IOC-Veranstaltungen teilzunehmen und sich um die Olympia-Aufnahme (eventuell sogar schon für die Sommerspiele 2020) zu bewerben.“ (Burmester, 2010)

Hepp, Güllich und Heidorf (1992, S. 16), Hoffman (2008, S.8), Wick (2009, S. 247) sowie auch Gauster und Hack (2011, S. 19) sehen im Klettersport heute den „Weg als Ziel“ und nicht mehr den Gipfel als oberste Priorität. Es steht also das Wie des Kletterns, die Form der Bewältigung einer Wand, die Bewegung und die Wahl der Route deutlich im Vordergrund, während im klassischen Sinne des Alpinismus der Gipfel als oberstes Ziel gilt.

2.1 Begehungsarten und Schwierigkeit

Heute unterscheidet man nicht nur das Sportklettern vom klassischen Alpinismus, sondern fächert den Sport in unterschiedliche Kletterarten auf.

Hepp et al. (1992, S. 30ff.) unterscheiden Bouldern, Top-Rope-Klettern, Schwierigkeitsklettern, On-Sight-Klettern, Alpines Sportklettern, Free-Solo-Begehungen und Wettkampfklettern.

Gauster und Hack (2011, S. 23ff.) gehen hier einen Schritt weiter und überarbeiten diese Liste nach neuesten Auffassungen und geben somit die ausführlichste Beschreibung der unterschiedlichen Kletterarten, wie in Tabelle 1 beschrieben wird.

Tabelle 1: Kletterarten

Kletterart	Beschreibung
Sportklettern	„Der Weg ist das Ziel.“ Es geht nicht um die Ersteigung eines Gipfels, sondern um das Meistern einer Kletterroute. Meist handelt es sich um nur eine Seillänge, man nennt dies „Baseclimbs“.
Alpinklettern	Hierunter wird das Klettern von Routen mit mehreren Seillängen im alpinen Gelände verstanden. Meist ist die Absicherung solcher Routen eher schlecht und es müssen auch durch den Kletterer/ die Kletterin selbst mobile Sicherungsmittel eingesetzt werden. Ausschlaggebend für die Gesamtanforderung einer alpinen Route

	sind mehrere Punkte; unter anderem die Länge von Zu- und Abstieg oder auch der psychische Stress beeinflusst durch Faktoren wie die Felsqualität oder die Art der Absicherung oder auch die Höhenlage.
Alpines Sportklettern	Das alpine Sportklettern, als „logische und zwingende Entwicklung im Sportklettern“, wie es Güllich bezeichnete, liegt mitten im fließenden Übergang zwischen dem klassischen Sportklettern und dem Alpinklettern. Kennzeichnend hierfür sind die Befolgung der im Sportklettern gültigen Begehungsstile, sowie häufig eine bessere Felsqualität und eine gute Absicherung mit Bohrhaken.
Plaisirklettern	Hierbei wird das alpine Sportklettern auf solche Routen reduziert, welche kurze und risikoarme Zu- und Abstiege aufweisen, nur eine moderate Schwierigkeit haben und eine ausreichende Absicherung aufweisen.
Schwierigkeitsklettern	Es geht um das Erreichen der absoluten Leistungsgrenze, Stürze stehen dabei an der Tagesordnung.
Bouldern	Unter Bouldern versteht man das Klettern in Absprunghöhe ohne Seilsicherung. Um Stürze abzufangen werden Matten und Partnersicherung eingesetzt.
Speedklettern	In dieser Kategorie geht es darum, eine vorgegebene Route in möglichst kurzer Zeit zu klettern. Technik und Trainingsaufbau unterscheiden sich hier grundlegend vom normalen Sportklettern. Es wird im Toprope Begehungsstil geklettert.
Wettkampfklettern	Auf internationaler Ebene werden Wettkämpfe durch den IFSC ¹ ausgetragen. Die Disziplinen teilen sich auf in Lead- oder auch Schwierigkeitsklettern, Bouldern und Speedklettern.
Hallenklettern	Der Kletterer/ die Kletterin übt seinen/ ihren Sport an künstlichen Kletteranlagen, meist in Hallen, aus.
Solo Klettern	Eine Route wird ohne SeilpartnerIn geklettert. Dies kann sowohl ungesichert, also auch gesichert erfolgen. Am bekanntesten ist wohl das „Free- Solo“ Klettern, wo komplett auf die Seilsicherung verzichtet wird.
Urban Climbing	Beim Urban Climbing wird an Bauten oder Mauern geklettert.

¹ International Federation of Sport Climbing

Clean-Klettern	Clean Klettern ist das Klettern im Fels ohne die Zuhilfenahme von Bohrhaken oder Ähnlichem. Abgesichert wird ausschließlich selbst durch den Kletterer/ die Kletterin mit mobilen Sicherungsmitteln.
Deep Water Soloing	Diese Art des Kletterns beschreibt das Free-Solo-Klettern über dem Wasser, in welches man im Falle eines Sturzes fällt.

Quelle: Gauster und Hack (2011, S. 23ff.)

Im Begehungsstil des Kletterns unterscheiden Hepp et. al. (1992, S. 32ff.) lediglich Flash und Rotpunkt Begehungen. Auch hier gehen in Tabelle 2 Gauster und Hack (2011, S. 20ff.) viel weiter.

Tabelle 2: Begehungsstile

Begehungsstil	Beschreibung
Onsight	Eine unbekannte Route wird im ersten Versuch durchstiegen ohne Vorinformation.
Flash	Eine Route wird auf den ersten Versuch durchstiegen, jedoch waren dem Kletterer/ der Kletterin Vorinformationen bekannt. Eventuell hat er oder sie im Vorfeld andere bei ihrer Begehung durch Beobachtung studiert.
Rotpunkt	Hierbei handelt es sich um sturzfremde Durchsteigung einer Route mit Informationen, sowie vormaligen Versuchen.
AF = „All Free“	Eine Route wird komplett durchstiegen und alle Bewegungen aus eigener Kraft durchgeführt. In diesem Begehungsstil ist es erlaubt beliebig oft an den Zwischensicherungen zu rasten.
technische Kletterei	Je nach Schwierigkeit wird dies zusätzlich mit A0 bis A5 beschrieben. Im Klettern ist die Zuhilfenahme jeglicher Zwischensicherungen, Bohrhaken, Trittleitern oder ähnlichem erlaubt.
Toprope	Klettern eine Route mit Seilsicherung vom oberen Umlenkpunkt.

Quelle: Gauster und Hack (2011, S. 20ff.)

2.2 Schwierigkeitsskalen

„Die Bewertung einer Klettertour ist gerade deshalb von großer Bedeutung, da der Schwierigkeitsgrad der Maßstab für die persönlich passende Route ist.“ (Gauster et al., 2011, S. 19)

Nicht nur die Grundauffassung des Klettersportes, die Kletterarten und die Begehungsstile haben sich im Laufe der letzten Jahre grundlegend verändert. Auch die Bewertungen der Kletterschwierigkeit hat ihre eigene Entwicklung durchlaufen. Weltweit gibt es unzählige Schwierigkeitsskalen, wobei im europäischen Raum die UIAA-Skala und die französische Skala am gebräuchlichsten sind.

In den Anfängen des Sportkletterns setzte sich eine fünfteilige Bewertungsskala durch. Durch die schnelle Entwicklung der Schwierigkeit nach oben, wurde 1947 in Chamonix die sechsteilige "Alpenskala", welche auf Abbildung 2 zu sehen ist, beschlossen.



Abbildung 2: Alpenskala (Zugriff unter <http://www.alpenverein-freistadt.at/images/Welzenbachskala.jpg> am 12.11.2012.)

Erst im Jahr 1968 wurde die, in Tabelle 3 ersichtlich, nach oben hin offene UIAA-Skala in Europa eingeführt.

Tabelle 3: Schwierigkeitsskalen

Liste unterschiedlicher Schwierigkeitsbewertungen weltweit							
UIAA (Mittel- europa)	Franzö- sisch	British (UK) Adj/Tech		Fb- Skala (Boulder)	Sächsisch (Sachsen/ Nordböhmen)	Sierra (USA)	Brasi- lien
I	1				I	5.2	Isup
II	2				II	5.3	II
III	3			2	III	5.4	IIIsup
IV	4	4a	VD	3	IV	5.5	III
V-	5a		S		V	5.6	IIIIsup
V		4b	HS	4a	VI	5.7	IV
V+	5b	4c					
VI-			VS		VIIa	5.8	IVsup
VI	5c	5a	HVS	4b	VIIb	5.9	V
VI+	6a		E1		VIIc	5.10a	Vsup
VII-	6a+	5b			VIIIa	5.10b	VI
VII	6b		E2		VIIIb	5.10c	
VII+	6b+	5c		4c	VIIIc	5.10d	VIIsup
VII+/VIII-	6c		E3	5a		5.11a	VIIa
VIII-	6c+				IXa	5.11b	
VIII	7a	6a	E4	5b	IXb	5.11c	VIIb
VIII+	7a+			5c	IXc	5.11d	VIIc
VIII+/IX-	7b		E5	6a		5.12a	VIIIa
IX-	7b+	6b		6b	Xa	5.12b	VIIIb
IX	7c		E6	6c	Xb	5.12c	VIIIc
IX+	7c+	6c		7a	Xc	5.12d	IXa
IX+/X-	8a		E7	7a+		5.13a	IXb
				7b		5.13b	IXc
X-	8a+	7a		7b+	XIa	5.13c	Xa
				7c			
X	8b		E8	7c+	XIb	5.13d	Xb
X+	8b+			8a	XIc	5.14a	Xc
X+/XI-	8c	7b		8a+		5.14b	XIa
XI-	8c+		E9	8b		5.14c	
XI	9a	7c		8b+		5.14d	
				8c			
XI+	9a+			8c+		5.15a	
XI+/XII-	9b					5.15b	
XII-	9b+					5.15c	

Quelle: u.a. Neumann & Goddard (1997, S. 224); Hoffmann (2008, S. 90)

Alein in dieser Tabelle wird veranschaulicht, wie unterschiedlich sich der Klettersport auf der ganzen Welt entwickelt hat.

3. Sportbiomechanik und ihre Relevanz beim Sportklettern

3.1 Bewegung und ihre Komponenten

Jeder Sport, also auch das Sportklettern, ist Bewegung, und Bewegung wiederum ist ein mechanisch-physikalischer Vorgang, wobei es zu

- Ortsveränderung,
- mechanischer Energieerzeugung
- und Energieumwandlung kommt.

„Die Bewegung des Menschen als allgemeiner und übergreifender Gegenstand der Bewegungswissenschaft und –lehre beinhaltet alle produzierten Phänomene sowie alle funktionalen Teilsysteme und –prozesse, die bei Ortsveränderungen des Körpers auftreten.“ (Olivier & Rockmann, 2003, S. 19)

1982 hat Hochmuth (S. 46ff.) biomechanische Prinzipien festgelegt, welche das Verständnis von Bewegung, und auch die des Sportkletterns, vereinfachen. Prinzipien an sich sind allgemeine Grundsätze der Handlungsorientierung für die biomechanisch zweckmäßige Lösung von Bewegungsaufgaben. Sie haben keine allgemeine Gültigkeit und zielen auf die effektive Nutzung physikalischer Gesetze unter gegebenen biomechanischen Bedingungen für die Anwendung einer zweckmäßigen sportlichen Technik ab.

Prinzip der Anfangskraft:

„Die Anfangskraft ist diejenige Kraft, die am Ende einer Ausholbewegung zum Zeitpunkt des Beginns des Beschleunigungskraftstoßes wirkt. Sie führt zu einem größeren Beschleunigungskraftstoß und damit zu einer größeren Endgeschwindigkeit als ohne Ausholbewegung.“ (S. 46)

Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges:

„Das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges beschreibt die optimale Länge des Beschleunigungsweges als abhängig von Winkelstellungen der Körperteile und den zeitlichen Bedingungen der jeweiligen sportlichen Bewegung. Die geometrische Form sollte geradlinig oder stetig gekrümmt sein.“ (S. 49)

Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf:

„Das Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf beschreibt verschiedene Beschleunigungs-Zeit-Verläufe für unterschiedliche Zielstellungen der sportlichen Bewegung.“ (S. 53)

Prinzip der zeitlichen Koordination von Einzelimpulsen:

„Das Prinzip der zeitlichen Koordination von Einzelimpulsen besagt, dass die durch verschiedene Teilbewegungen produzierten Beschleunigungskraftstöße einer sportlichen Bewegung optimal zeitlich aufeinander abgestimmt sein sollen.“ (S. 54)

Prinzip der Gegenwirkung:

„Zu einer Wirkung besteht immer eine entgegengesetzt gerichtete und gleich große Gegenwirkung ($m_1 \times a_1 = m_2 \times a_2$). Das Prinzip der Gegenwirkung ist eine direkte Übernahme des dritten Axioms von Newton (actio et reactio).“ (S. 56)

Prinzip der Impulserhaltung:

„Der Gesamtimpuls einer Drehbewegung bleibt erhalten. ($J_1 \times \omega_1 = J_2 \times \omega_2$). Das Prinzip der Impulserhaltung ist eine direkte Übernahme des Impulserhaltungssatzes.“ (S. 57)

Neben diesen Prinzipien existieren noch eine Vielzahl von biomechanischen Grundsätzen. Hoffmann (2008, S. 70) gibt zu bedenken, dass viele biomechanische Grundsätze zwar in anderen Sportarten ihre Richtigkeit haben mögen, im Klettersport jedoch nicht immer zutreffen. Als Beispiel nennt er die „Bewegungen im optimalen Bereich der Gelenkwinkel“. Diese Theorie sagt aus, dass die maximal mögliche Kraftentwicklung von der Winkelstellung im betreffenden Gelenk abhängig ist. Im Normalfall ist diese bei mittleren Stellungen am höchsten. Daraus könnte man ableiten, dass Endstellungen der Gelenke eher zu vermeiden sind, was jedoch im Klettersport nicht zutrifft. Einerseits ist zu beachten, dass die Hubarbeit in der mittleren Gelenksstellung am größten ist. Andererseits kommt oft ein kraftsparender Effekt in den Endstellungen der Gelenke dem Kletterer/ der Kletterin zu Gute.

„Im Zweifelsfall sollte man immer nur das glauben, was man mit dem eigenen gesunden Menschenverstand oder aus praktischer Erfahrung nachvollziehen kann.“ (Hoffmann, 2008, S. 71)

Bezogen auf die Prinzipien nach Hochmuth ist im Klettersport das Prinzip der zeitlichen Koordination von Einzelimpulsen sehr deutlich zu sehen, insbesondere bei der dynamischen Standardbewegung, welche auf Seite 23 näher erläutert wird. Hierbei wird durch das zeitliche Verknüpfen der Teilbewegungen der Beschleunigungsweg des Körperschwerpunktes² (KSP) verlängert und damit die kinetische Energie der Gesamtbewegung maximiert.

² Der Körperschwerpunkt ist ein fiktiver Punkt, in dem die Masse des gesamten Körpers gedacht
Der Körperschwerpunkt befindet sich im Stand etwa in Bauchnabelhöhe in der Mitte des Körpers. (Kauer, 1995, S. 14)

In der dynamischen Standardbewegung wird auch das Prinzip der Anfangskraft deutlich, da eine deutliche Ausholbewegung des KSP zu sehen ist.

Auch das Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf ist relevant im Klettersport. Wick (2005, S. 121) beschreibt es folgendermaßen:

„Ausgehend von der Tatsache, dass das Maximum der Beschleunigungskraft nur kurzzeitig entwickelt werden kann, sollte dieses der spezifischen Zielstellung der Sportarten entsprechend im Kraft – Zeitverlauf eingesetzt werden. [...] Ansteigende Tendenz: Soll bei einem vorgegebenen Beschleunigungsweg die höchste Endgeschwindigkeit erreicht werden, müssen die größten Beschleunigungskräfte am Ende der Beschleunigungsphase wirken.“

Diese Prinzipien helfen Bewegung zu verstehen und zu optimieren. Speziell bei komplexeren Bewegungen gibt es weitere, qualitative Faktoren, welche für ein Optimum der Durchführung ausschlaggebend sind. Um Bewegung wirklich zu verstehen muss man über die biomechanische Betrachtungsweise hinausgehen. In Tabelle 4 sind diese Faktoren näher erläutert. Sie werden in der durchgeführten Studie neben den rein biomechanischen Werten bewertet.

Tabelle 4: Morphologische Bewegungsmerkmale

Morphologische Bewegungsmerkmale	
Bewegungsrhythmus	Er bestimmt die zeitliche Ordnung einer sportlichen Bewegung.
Bewegungskopplung	Sie beschreibt den Zusammenhang von Teilbewegungen: Schwungübertragung, zeitliche Verschiebung von Teilbewegungen, Formen des Rumpfeinsatzes und Steuerfunktion des Kopfes.
Bewegungsfluss	Er gibt den Grad der Kontinuität in der Bewegung an.
Bewegungspräzision	Sie ist ein Maß für die Übereinstimmung der tatsächlichen Bewegungsdurchführung mit dem zuvor geplanten Ablauf.
Bewegungskonstanz	Sie gibt die Übereinstimmung der Bewegung bei mehreren Versuchen an.
Bewegungsumfang	Er beschreibt die räumliche Ausdehnung der Bewegung.
Bewegungstempo	Es beinhaltet Schnelligkeit und Frequenz der Bewegung.

Quelle: Schnabel (1998)

Betrachtet und analysiert man Bewegung, insbesondere die sportliche Bewegung, gibt es, wie durch diese Einführung klar erläutert wird, also eine Vielzahl an unterschiedlichen Beobachtungs- und Messpunkten.

Erst ein gewisses Grundverständnis über die Bewegung und ihre facettenreichen Grundlagen geben die Möglichkeit einen professionellen Blickwinkel zuzulassen.

3.2 Struktur sportlicher Bewegung: Phasenstruktur und ihre Komponenten

Struktur kann unterschiedliches bedeuten. Einerseits die Anordnung der Teile eines Ganzen, andererseits auch das Gefüge, welches aus Teilen aufgebaut ist, die wechselseitig voneinander abhängen. Die Struktur ist das, was Gegenstände bzw. Erscheinungen voneinander unterscheidet. Bei der Bewegungsstruktur ist ein Prozess, also ein zeitlich bestimmter Vorgang gemeint.

Für die vorliegende Arbeit widme ich mich der klassischen Phasengliederung. Andere Modelle sind die Funktionsphasengliederungen, die biomechanische Gliederungen oder die Gliederungen aus der Innensicht des Bewegers/der Bewegerin, welche Meinel und Schnabel (2007, S. 75ff.) beschreiben.

„Als Grundstruktur sportlicher Bewegungsakte verstehen wir demnach deren Aufbau aus Teilprozessen – Phasen –, die entsprechend der jeweiligen Aufgabenstellungen eine bestimmte Teilfunktion erfüllen und durch funktionelle Beziehungen miteinander verknüpft sind.“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 76)

Die klassische Phasengliederung bietet optimale Ansätze für die Entwicklung eines Untersuchungsplanes mit Hilfe einer Videoanalyse und sie ist außerdem in der Sportpraxis die am meisten angewandte Theorie.

Meinel und Schnabel (1998, S. 70ff.; 2007, S. 76ff.), wie auch Olivier und Rockmann (2003, S. 75), sprechen bei der Beschreibung von Bewegung von einer Dreiphasengliederung azyklischer Bewegungen.

„Sportliche Handlungsvollzüge [...] lassen zumeist deutlich eine Dreigliederung erkennen. [...] Der *Hauptphase*, in der diese Aufgabe gelöst wird, geht eine längere oder kürzere Phase voraus, die als *Vorbereitungsphase* aufzufassen ist. Ist die eigentliche Bewegungsaufgabe gelöst und damit die *Hauptphase* beendet, bricht der Bewegungsablauf nicht unvermittelt ab, sondern klingt in einer *Endphase* aus.“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 76)

So besteht eine azyklische Bewegung also aus einer Vorbereitungsphase, des Weiteren aus einer Hauptphase und einer Endphase.

In Tabelle 5 werden diese Phasen näher beschrieben.

Tabelle 5: Phasenstruktur der sportlichen Bewegung

Phasenstruktur der sportlichen Bewegung	
Phase	Beschreibung
Vorbereitungsphase	Es kommt zur Schaffung optimaler Voraussetzungen für die erfolgreiche und ökonomische Ausführung der Bewegungsaufgabe. Oft geschieht dies durch eine Ausholbewegung in Gegenrichtung zur folgenden Bewegungsrichtung der Hauptbewegung.
Hauptphase	Ziel dieser Phase ist die Lösung der eigentlichen Aufgabe. Hier gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten. Man kann einerseits dem gesamten Körper einen Bewegungsimpuls erteilen und diesen Ausnutzen, wie es zum Beispiel beim Laufen der Falls ist, oder es wird ein Endglied der Gliederkette des Körpers durch einen Kraftimpuls aus dem gesamten Körper beschleunigt und dadurch einem Gerät oder Gegner ein Bewegungsimpuls erteilt.
Endphase	Hier kommt es zu einer Herstellung eines Gleichgewichtes, da nach Ausführung der Hauptphase oft ein labiler Gleichgewichtszustand besteht.

Quelle: Meinel und Schnabel (2007, S. 76ff.)

Diese Phasen stehen zueinander in Beziehung. Sie sind nicht umkehrbar, austauschbar oder entbehrlich. Eine Veränderung dieser Struktur würde das Nicht-Erreichen des Bewegungszieles zur Folge haben, was zu einer Zweckrelation der einzelnen Phasen führt.

Bei zyklischen Bewegungen, wie zum Beispiel Laufen oder Schwimmen, kommt es lediglich zu einer Hauptphase und einer Zwischenphase. Es tritt eine sogenannte Phasenverschmelzung der End- und Vorbereitungsphase auf. Auch im Sportklettern kommt es bei einer längeren Abfolge von mehreren Zügen zu einer solchen Phasenverschmelzung.

Bei dieser Art der Bewegung besteht sogar die Notwendigkeit einer Phasenverschmelzung um ein flüssiges Bewegungsbild zu erreichen. Der Sportler/die Sportlerin plant die in der Endphase notwendigen Bewegungen zugleich als Vorbereitung auf die folgende Hauptphase und modifiziert sie entsprechend. (Meinel et al., 2007, S. 85)

„Ausgangspunkt für das Erkennen vieler Fehler ist die Überprüfung der allgemeinen und – entsprechend den einzelnen Varianten – speziellen Relationen zwischen den drei Phasen als den Grundelementen.“ (Meinel et al., 2007, S. 92)

3.2.1 Phasenstruktur im Sportklettern

„Mit Bewegungs- und Bewegungsstrukturanalysen wurden in den vergangenen Jahren versucht, die „Idealbewegung“ für das Sportklettern zu erfassen und sie zu beschreiben. Für uns ist das Resultat dieser Analysen die Standardbewegung, die wir als Basisfertigkeit für das gesamte Techniktraining im Sportklettern definiert haben.“ (Scherer, 2002, S. 22)

In der Beschreibung der Phasenstruktur beim Klettern gibt es eine Besonderheit. Die Bewegung hat keinen streng alternierenden Verlauf, es muss also nicht zwingend erst die linke und dann die rechte Körperhälfte abwechseln arbeiten. Auch sind die Bewegungen nicht exakt gleich, wie zum Beispiel beim Laufen. Lediglich die Grundstruktur der einzelnen Bewegungen stimmt überein.

Beim Klettern würde man daher von einer zwingenden Kombination mehrerer Bewegungen aufeinander sprechen, was als Sukzessivkombination bezeichnet wird. (Meinel et al., 2007, S. 87)

„Mit dem Versuch, das Klettern in einzelne Phasen zu unterteilen, will man nicht eine allgemeingültige Regel, sozusagen ein Betty Bossi³ Kletter-Rezept erstellen. Klettern bedarf nach wie vor Intuition für abgefahrene, keinem Standard folgende Züge.“ (Keller & Schweizer, 2009, S. 40)

Hepp und Kollegen (1992, S. 10) bezeichnen Sportklettern als eine kreative Suche nach einer Lösung zur Überwindung eines Kletterproblems. Aus dieser Aussage, dass Klettern keinem allgemeinen Rezept folgt und jeder/jede eine Situation anders lösen kann, ist gut abzuleiten, dass das Hinunterbrechen dieser komplexen Sportart auf eine Standardbewegung nicht einfach ist, es ist jedoch auch nicht unmöglich. Mit dem Wissen der Phasengliederung und der Bestimmung der Phasenübergängen kann man jede Kletterbewegung, egal welche Technik angewandt wird, welches Gelände geklettert wird oder wie schnell geklettert wird, der entsprechenden Phase zuordnen und so eine übergeordnete Standardbewegung erfassen.

Die Verbindungen zwischen den einzelnen Bewegungen, also zwischen den Zügen von Griff zu Griff, sind oft so eng, dass, wie bei einer zyklischen Bewegungsabfolge, eine Phasenverschmelzung eintritt. Ähnliches geschieht bei einer Kür im Geräteturnen.

Gauster und Hack (2011, S. 119) haben versucht, wie man es in Abbildung 3 erkennen kann, die Phasen der Kletterbewegung jedoch in einer klassischen Dreigliederung zu veranschaulichen. In Tabelle 6 werden die einzelnen Phasen noch eingehend beschrieben.

³ Betty Bossi ist eine fiktive Köchin und Haushaltsberaterin in der Schweiz unter deren Namen Bücher mit Rezepten und Haushaltstipps herausgegeben werden.

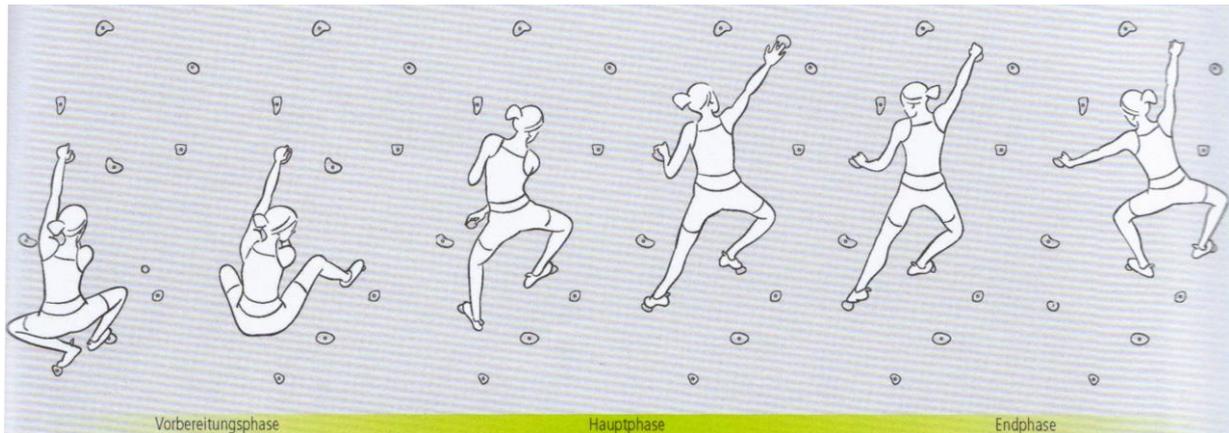


Abbildung 3: Phasenstruktur der Kletterbewegung (Gauster & Hack, 2011, S. 119)

Tabelle 6: Phasenstruktur der Kletterbewegung

Phasenstruktur der Kletterbewegung	
Phase	Beschreibung
Vorbereitungsphase	Hier kommt es zur Schaffung einer optimalen Ausgangsposition für die Hauptphase. Der Zielgriff wird ausgewählt und ein Bewegungsplan erstellt. Außerdem werden die Füße optimal positioniert.
Hauptphase	Ziel der Hauptphase ist die Erreichung des Bewegungszieles, also das Erreichen des Zielgriffes. Der Körperschwerpunkt wird hierbei durch Druck aus den Beinen und Zugarbeit der Arme gehoben, seitlich verschoben oder abgesenkt um dann optimal zum Zielgriff zu greifen.
Endphase	Der Kletterer/ die Kletterin möchte nun wieder eine stabile Position erreichen. Es wird der anvisierte Griff durch erneute Verlagerung des Körperschwerpunktes belastet. Um eine stabile Position zu erreichen muss eventuell umgestiegen werden.

Quellen: Gauster & Hack (2012, S. 118f); Neumann (1995, S. 36); Bernstädt & Kittel (2007)

Typische Fehler in der Phase der Grobkoordination⁴ beim Klettern sind zu hohe oder falsche Kräfteinsätze, Stockungen im zeitlichen Verlauf, eine unrunde Bewegungskörperausführung, ein zu geringer Bewegungsumfang, ein unpassendes, oft zu langsames Bewegungstempo, sowie auch eine mangelnde Präzision in der Bewegung.

⁴ Phasenmodell des Lernprozesses: Siehe Kapitel 4.1!

Auch Filzwieser (2008, S. 21) geht beim Klettern von einer azyklischen Kletterbewegung aus, mit der oben beschriebenen Einteilung. Wie bereits erwähnt, weisen speziell schnell gekletterte Bewegungsabschnitte, wobei mehrere Züge hintereinander geklettert werden, eine Phasenverschmelzung auf. Aus diesem Grund teilt er die azyklische Grundstruktur des Kletterns in zwei unterschiedliche Fortbewegungsarten, einerseits eine Reihe von Bewegungen mit markant statischer Endphase und andererseits einer Kombination von Bewegungen mit dynamischem Gleichgewicht, bei der es zur eben genannten Phasenverschmelzung kommt.

Die statische Standardbewegung kommt sowohl in flachen, wie auch in technisch anspruchsvollen Passagen zum Einsatz. Das Becken wird nur verschoben oder gehoben und die weitergreifende Hand sollte so lang wie möglich am Griff bleiben, bevor sie zum Zielgriff greift. So wird eine einarmige Zugphase der Haupthand verhindert.

Die dynamische Standardbewegung wird speziell dann angewandt, wenn schnell geklettert werden sollte, wie zum Beispiel in steilen oder kräfteraubenden Passagen. Hier wird der Körperschwerpunkt mit einer Ausholbewegung in die Bewegungsrichtung beschleunigt, um ein Greifen am Totpunkt zu ermöglichen. Die weitergreifende Hand greift hier bei der höchsten Geschwindigkeit des KSP weiter.

Betrachtet man nur eine Bewegung und neigt der/ die Beobachtete zu einem eher statischen und langsamen Kletterstil, lassen sich die klassischen drei Phasen in der Kletterbewegung gut erkennen.

Kompliziert wird es jedoch, wenn man versucht eine Bewegung aus einer kompletten Route herauszulösen, insbesondere bei Kletterern oder Kletterinnen mit einem schnellen und dynamischen Kletterstil. In diesem Fall wird man die Vorbereitungs- und Endphase der Kletterbewegung kaum trennen können.

4. Der Begriff Technik im Sportklettern

4.1 Bewegungstechnik im Sport

Wick (2005, S. 113) beschreibt sportliche Technik mit folgenden Worten.

„Die sportliche Technik ist ein äußeres Leitbild. Sie gilt als ein Modell mit generellen Kriterien und Merkmalen. Die sportliche Technik ist Bestandteil individueller Bewegungsvorstellungen und interner Handlungsprogramme. Sportliche Techniken zielen auf maximale sportliche Leistung. Sportliche Techniken entwickeln sich ständig und können in Kennlinien dargestellt und durch Parameter charakterisiert werden.“ (Wick, 2005, S. 113)

Er betont auch (S. 122), dass sportliche Technik nur dann auch zweckmäßig ist, wenn sie den biomechanischen Prinzipien genügt.

Die meisten Sportarten haben gemein, dass Höchstleistungen durch eine Reihe unterschiedlicher Komponenten charakterisiert sind. Hohmann et al. (2003, S. 42) nennen hier die situativen Bedingungen, die Konstitution, die Kondition, die Taktik, die psychischen Eigenschaften, sowie auch die Koordination und Technik des Sportlers/ der Sportlerin.

Je technisch anspruchsvoller eine Sportart im koordinativ-technischen Bereich ist, desto höher ist entsprechend die Leistungsvoraussetzung in diesem Bereich. (Buchner, 2009, S. 7)

Aus biomechanischer Sicht hat die sportliche Technik folgende Ziele (Wick, 2005, S.117):

- *Resultatorientierte Handlungsziele:* Hierzu zählen Zeitminimierung, Distanzmaximierung und Treffermaximierung.
- *Verlaufsorientierte Handlungsziele:* Hierzu zählen Fehlerminimierung, Optimierung der Anlaufpräzision und Maximierung des Schwierigkeitsgrades.

Da in diversen Sportarten sehr unterschiedliche Techniken zum Einsatz kommen, stellte Donskoi (1975, S. 287) eine Dreigliederung innerhalb der sportlichen Techniken auf:

- Die erste Gruppe umfasst Techniken, welche eine *Stabilität der kinematischen Struktur* aufweisen. Die Bewegung erfolgt hier in vorgegebener Form und Charakter, wie es unter anderem beim Kunstturnen oder beim Eiskunstlauf der Fall ist.
- Zur zweiten Gruppe zählen Techniken, welche eine *Stabilität der dynamischen Struktur* aufweisen. Ziel ist das Erreichen eines quantitativ maximalen Ergebnisses, wie es beim Gewichtheben oder Schwimmen der Fall ist.
- In der dritten Gruppe werden Techniken mit einer *Variabilität der sportlichen Handlungen* eingeordnet. Es kommt zu einem qualitativen Endeffekt und die Bedingungen wechseln immer wieder. Sportspiele, aber auch der Klettersport, zählen zu dieser dritten Gruppe.

Über die Ausprägtheit der sportlichen Techniken eines Sportlers/ einer Sportlerin lässt sich sein Stand innerhalb des Lernprozesses einschätzen.

Meinel und Schnabel (1998, 160ff.) haben ein Phasenmodell des Lernprozesses entwickelt, nach dem das Lernen eine fortschreitende Entwicklung ist und sich der Lernstatus durch äußere Ausprägungen der Technik in unterschiedliche Phasen einteilen lässt.

Die Phase der Grobkoordination, oder auch Aneignungsphase, kennzeichnet sich durch geringe Präzision, falschen Bewegungsumfang und unökonomische Krafteinsätze. In dieser Phase benötigt der Sportler/ die Sportlerin vereinfachte und günstige Bedingungen, um die Zielbewegung durchführen zu können. Erst dann sind die Merkmale der Technik in Ansätzen auch erkennbar.

In der Phase der Feinkoordination kommt es zu einer deutlichen Leistungssteigerung und einer merkbaren Leichtigkeit im Bewegungsvollzug. Auch unter ungewohnten Bedingungen kann die Bewegung fast fehlerfrei durchgeführt werden, sind die Bedingungen schlecht treten jedoch Mängel auf.

Hierauf erfolgt die Phase der Stabilisierung der Feinkoordination und Ausprägung der variablen Verfügbarkeit. Nun kann die Technik auch unter wechselnden Bedingungen optimal angewandt werden. Auch unter schlechten Bedingungen kann die Bewegung nun gut ausgeführt werden.

Wie bereits in Abschnitt 3.1 (*Bewegung und ihre Komponenten*) erwähnt, ist das Ziel vieler biomechanischer Untersuchungen eine Optimierung von Bewegungstechniken, um die Leistungsentwicklung nach oben zu treiben. Es ist daher einleuchtend, dass Ergebnisse biomechanischer Analysen dem Klettersport, und hier speziell der Lehre, nur zuträglich sein können.

4.2 Klettertechniken

„Die Technik ist so was wie dein Getriebe, das deine unbändige Kraft auf den Fels überträgt. Ohne sie bist du wie ein Ferrarimotor mit Mopedreifen. Du bringst die Kraft nicht optimal auf den Boden resp. an die Wand. Erst durch gute, breite Technik kannst du deine Kraft ökonomisch einsetzen.“ (Keller & Schweizer, 2009, S. 28)

Wenn man im Sportklettern vom Begriff Bewegungstechnik spricht, so ist dies eine ausschlaggebende Komponente für die Kletterleistung. Die Klettertechnik hat das Ziel, Bewegungsabläufe auf eine möglichst ökonomische, also kraftsparende, Art zu lösen.

Spitzenkletterer und Spitzenkletterinnen trainieren primär an der Wand, ein spezielles Techniktraining ist eher nebensächlich. Eine ausgereifte Grundtechnik kombiniert mit geplantem Krafttraining würde zu einem deutlichen Leistungsschub bei den meisten

Kletterern und Kletterinnen führen. Aus diesem Grund sollte dem Techniktraining ein wesentlich beachteter Status zukommen.

Prinzipiell können einzelne Kletterstellen entweder mit höherem Kraftaufwand oder einer besseren Technik gelöst werden. In vielen Fällen klagt der Kletterer/ die Kletterin eine Route auf Grund der mangelnden Kraft nicht geschafft zu haben, objektiv gesehen ist jedoch häufig eine Vielzahl an Technikfehlern verantwortlich, welche einen höheren Kräfteinsatz notwendig machen.

Neumann (1995, S. 29) bezeichnet gute Klettertechnik, als die Fähigkeit eine Route richtig zu lesen und mit dem richtigen Timing und der individuell am besten geeigneten Technik anzugehen.

Hepp et al. (1992, S. 68) wiederum meinen, dass Klettertechnik „eine bestimmte Abfolge von Bewegungen zur kraftsparenden Überwindung einer Kletterstelle“ ist.

Auch sagen sie, dass „Klettergrundsätze Erkenntnisse über das rationelle Ausnutzen biomechanischer Gesetze sowie bewegungstheoretischer und sportpsychologischer Prinzipien“ enthalten. (Hepp et al., 1992, S. 69)

Wick (2009, S. 247) stellt fest, dass Klettertechniken unabhängig von Leistungsniveau, Geschlecht oder Alter sind. Sie unterliegen immer den gleichen biomechanischen Grundaspekten.

Im Jahr 1995, als Neumann sein Buch „Lizenz zum Klettern“ herausbrachte, beschrieb er noch einen Mangel an einer spezifischen Sprache im Klettersport, um die Techniken korrekt zu beschreiben. Auch heute noch finden sich in den aktuellen Werken immer wieder Unterschiede in der Nomenklatur oder Klassifizierung der unterschiedlichen Klettertechniken.

Neumann trifft lediglich eine Unterscheidung in der Greifarbeit. Hierbei beschreibt er eine aufgestellte Fingerposition, wie sie hauptsächlich an Leisten vorkommt, eine halb-offene Fingerposition, wobei der Winkel zwischen den ersten zwei Fingergliedern und der Hand unter 90° einschließen sollte und eine lange Fingerposition, bei welcher sich kaum eine Beugung des zweiten Fingergelenkes feststellen lässt. Weiters betont er Zangengriffe und die Wichtigkeit der Präzision in der Fußarbeit beim Klettern.

Auf Grund dieser vielen und vor allem unterschiedlichen Angaben in der Literatur, ist die Kategorisierung unterschiedlicher Klettertechniken kompliziert. Gauster & Hack (2011, S.129ff.) haben versucht, eine neue Einteilung von der Basis weg zu erstellen, wie man sie in Tabelle 7 nachlesen kann. Bewegungen, welche in jedem Kletterzug vorkommen, werden zu den Grundtechniken gezählt. Hierzu zählen Steigen, Greifen und das korrekte Positionieren des Körpers. Andere Bewegungsschemata treffen nur auf einzelne Züge zu, wie zum Beispiel den Schulterzug, den Kreuzzug, das dynamische Klettern oder den

„Foothook“. Diese Techniken werden daher auch als spezielle Techniken bezeichnet. Von Außen betrachtet kann man dann noch zusätzlich die verschiedenen Bewegungsqualitäten unterscheiden, wie sie Schnabel (1998) beschrieben hat.

Nicht alle aktuellen Werke stimmen mit dieser Einteilung überein. Eindrehen wird von Keller und Schweizer (2009, S. 46) in den Bereich der Spezialtechniken, gemeinsam mit Techniken wie Schulterzug oder „Figure of Four“ gereiht.

Tabelle 7: Klettertechniken

Einteilung der Klettertechniken		
Grundtechniken	Spezielle Techniken	Bewegungsqualitäten
Steigen	Schulterzug	Bewegungspräzision
Greifen	Kreuzzug	Bewegungsumfang
Körper positionieren:	Dynamische Techniken	Bewegungswahrnehmung
• frontal	„Foothook“	Bewegungstempo
• eingedreht	„Piazen“/ Gegendrucktechnik	Bewegungsfluss
	„Mantle“	Bewegungsrhythmus
	Klemmen	
	Kamin-/Verschneidungstechnik	
	„Ägypter“	
	„Figure of Four“	

Quelle: Gauster und Hack (2011, S. 129)

Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts (Nieberl, 1922, S. 59 ff.) wird zur Klettertechnik noch steiles Bergaufgehen, Gehen auf Geröll, Gehen auf Gras, sowie Gehen auf Schnee und Eis hinzugezählt. Da man ausschließlich am Fels kletterte, waren spezielle Techniken ganz andere, wie zum Beispiel Rissklettern, Klettern in einer Rinne, einem Kamin, einer Schlucht, sowie Plattenklettern und Traversen. Überhänge wurden zu dieser Zeit umgangen, weshalb auch die eingedrehte Körperposition nicht explizit erwähnt wird.

Bereits damals werden die Dreipunkt-Regel und die Position des Beckens, je nach Wandneigung, erwähnt. Auch das präzise Steigen hebt Nieberl schon 1922 in seinem Buch stark hervor.

Dies beschreibt zwei wesentliche Punkte, welche bereits lange zu den Grundlagen der Klettertechnik gezählt werden.

Hoffmann (2008, S. 26) beschreibt in seinem Buch drei Grundregeln des ökonomischen Kletterns: Mindestens drei der vier Haltepunkte sollten immer an der Wand bleiben; der KSP sollte ansatzweise über der Standfläche gehalten werden und jede Bewegung sollte reversibel sein. In Abbildung 4 werden diese Punkte verdeutlicht.

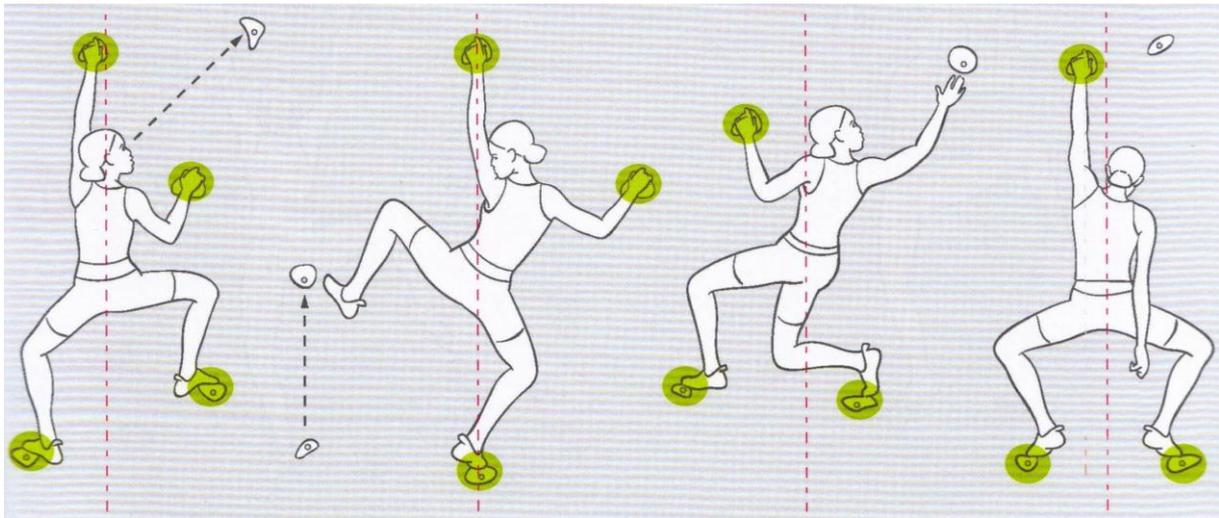


Abbildung 4: Beachtung der Dreipunkt-Regel und der richtigen KSP Positionierung in der Kletterbewegung (Gauster & Hack, 2011, S.125)

Er bezeichnet dies als die wichtigsten Punkte, welche im Anfängertraining vermittelt werden sollten.

Auch gibt es zu bedenken, dass je besser man steht, desto weniger Belastung auf die Hände kommt. Daher ist eine optimale Tritttechnik unbedingt notwendig für einen ökonomischen Kletterstil. (Hoffmann, 2008, S. 76f)

Hepp et al. (1992, 81ff.) sehen die Grundsätze der elementaren Technik zum Stabilisieren des Körpers und damit einer ökonomischen Klettertechnik etwas breiter. Da Klettern stark mit der Kraft der oberen Extremitäten verbunden ist, ist es unbedingt notwendig, die folgenden Grundsätze zu beachten, um eine stabile und somit kraftsparende Körperposition einzunehmen:

- Optimale Relation zwischen Stützfläche und Körperschwerpunkt (KSP):

Die Lage des KSP steht im Zentrum der meisten Klettertechniken, denn für kraftsparendes Klettern ist ein Gleichgewicht von großer Bedeutung. Ein Körper befindet sich dann im Gleichgewicht, wenn seine gesamte Masse im KSP vereinigt wäre. Die Lage des KSP verändert sich jedoch je nach Lage der Gliedmaßen.

Die Stützfläche wird durch die Auflagepunkte der beiden Füße markiert. Je näher das Lot des KSP an dieser Stützfläche liegt, desto kraftsparender kann man auch Klettern, wie es in Abbildung 5 verdeutlicht wird. Entscheidend für Kletterer und Kletterinnen ist nicht die Kraft, sondern die Lage des KSP in Bezug auf die Fixpunkte, also Griffe und Tritte.

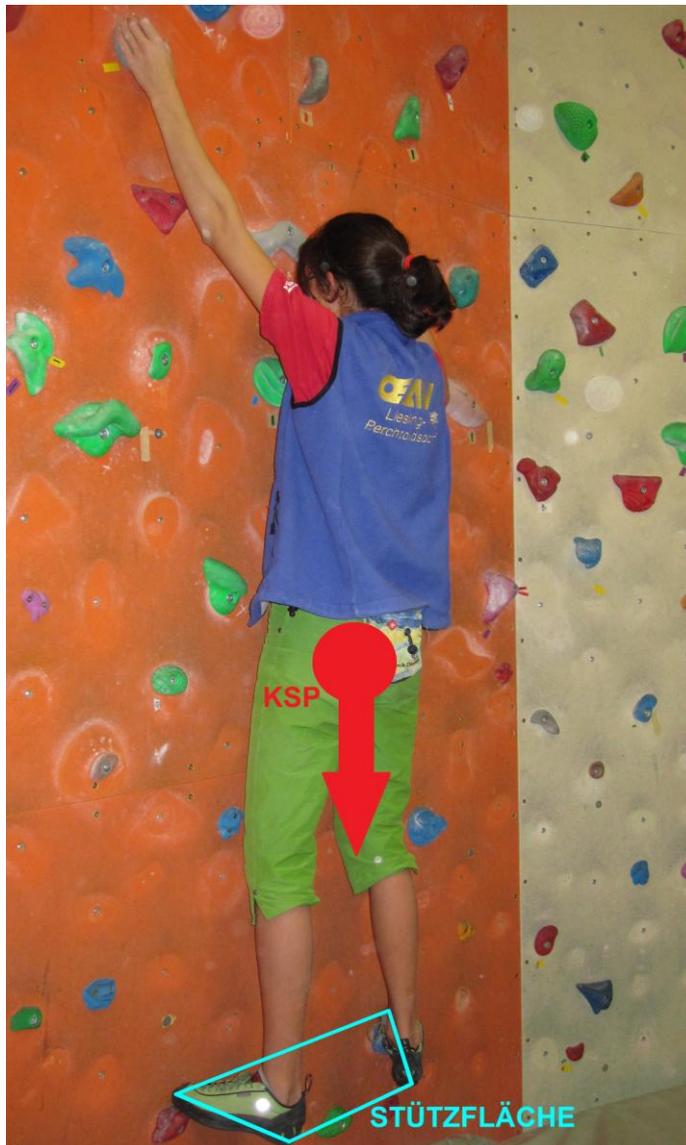


Abbildung 5: Lot des KSP durch Stützfläche

Das Lot der Gewichtskraft eines Körpers, das am KSP ansetzt, befindet sich hier im Bereich der Unterstüßungsfläche. Dies ist die Grundlage um einen kraftsparenden Gleichgewichtszustand zu erreichen. Physikalisch gesehen ist im Zustand des Gleichgewichtes die Summe aller auf ihn wirkenden Kräfte und Drehmomente gleich null. $\sum F = F_{\text{res}} = 0$; $\sum M = M_{\text{res}} = 0$

Gültig ist dies für ruhende Körper oder welche in gleichförmiger Bewegung.
(Wick 2005, S. 63)

Jene Kraft, die der Kletterer oder die Kletterin auf die Griffe aufbringt setzt sich nach Wick (2009, S. 251) aus zwei Teilkräften zusammen: Einem vertikal wirkenden Anteil der Gewichtskraft (vertikale Reaktionskraft) und der Abzugskraft, welche von der Größe des entstehenden Schwerkraftmoments abhängt.

Die Abzugskraft ist jene, die bewirkt, dass der Kletterer/ die Kletterin vom Griff abrutscht.

Während der Kletterer/ die Kletterin die Gewichtskraft in der Bewegung direkt nicht beeinflussen kann, kann eine gut ausgeführte Technik mit einer optimalen Schwerpunktslage die Abzugskraft sehr wohl beeinflussen und drastisch verringern.

Die Größe der Abzugskraft wird also durch die Lage des KSP beeinflusst. Ist der KSP sehr nah an der Wand, so ist die Abzugskraft am geringsten, je weiter der Schwerpunkt weg von der Wand liegt, desto höher wird die Abzugskraft (vgl. Abbildung 6).

Je nach Körperhaltung ist die vertikale Reaktionskraft, welche an den Händen auftritt, unterschiedlich groß. Ist der KSP nahe an der Wand, so wird die vertikale Reaktionskraft größer und die Abzugskraft kleiner. Die vertikale Reaktionskraft an den Händen und an den Füßen ergeben gemeinsam die Gewichtskraft. In der Position mit dem KSP weiter weg entsteht ein Schwerkraftmoment. Da der Kletterer nicht um seine Füße rotiert, muss eine horizontale Kraft an den Griffen ein Gegenmoment erzeugen.



Abbildung 6: Physikalische Betrachtung der KSP-Lage beim Klettern

Je größer die Abzugskraft, desto mehr Druck muss auf den Griff gebracht werden. Dadurch kommt es zu einem höheren Kraftaufwand in Unterarm- und Fingermuskulatur. Hierbei werden die Muskelkontraktionen in der Muskulatur der Unterarme erhöht, wodurch auch die Laktatkonzentration in diesen ausschlaggebenden Muskeln steigt. Man spricht hierbei im Klettern vom Phänomen des „dicken Unterarmes“, welches meist zu einem Leistungsabbruch führt, da der Stoffwechsel im Unterarm nicht mit der erforderten Leistung mithalten kann.

Dies sehen Gauster und Hack (2011, S. 125) als die Hauptdefinition ökonomischen Kletterns. Um einen möglichst ökonomischen Kletterstil an den Tag zu legen, ist es notwendig, den KSP so oft wie möglich über die Standfläche der Beine und unter die Haltehand zu bringen. Wird der KSP außerhalb der Standfläche bewegt, so entsteht ein Drehmoment um die Längsachse des Körpers, welchem der Kletterer/ die Kletterin mit Armkraft und Körperspannung entgegen wirken muss um nicht aus der Wand zu kippen. Dieses Phänomen wird im Klettersport auch als „offene Tür“ bezeichnet.

„Klettern ist prinzipiell ein Spiel mit Stabilitätspositionen.“ (Hoffmann, 2008, S. 26) Dieses Zitat wird mit Abbildung 7 von Gauster und Hack (2011, S.124) verdeutlicht.

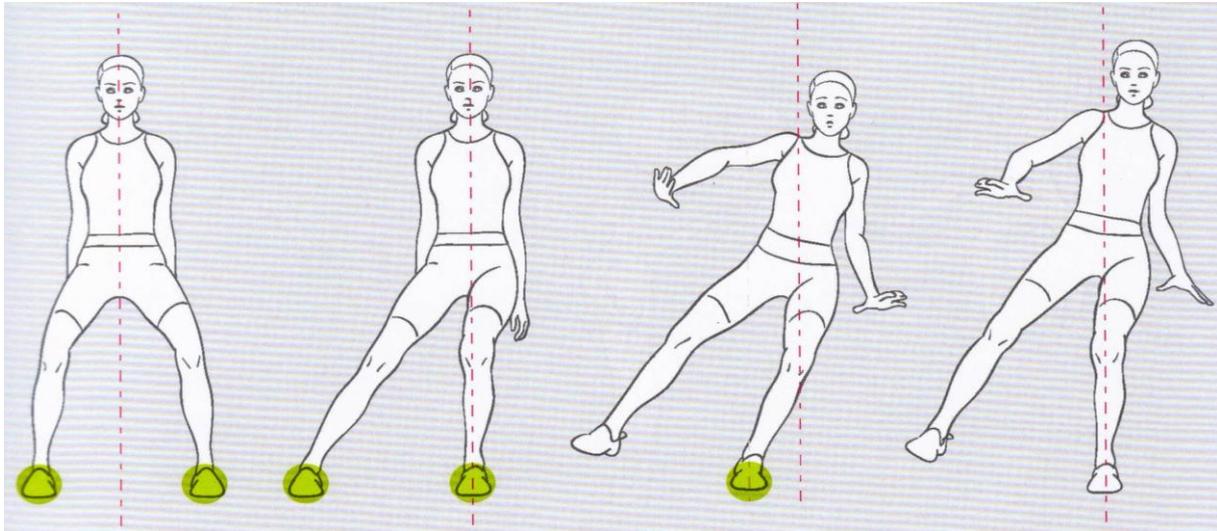


Abbildung 7: Stabile Position, gerade noch stabile Position, instabil, stabile Position auf einem Bein (Gauster & Hack, 2011, S. 124)

- **Priorität des Stehens**

Je besser man steht, desto mehr Gewicht kann man von den Armen auf die Beine abgeben. Dies wiederum führt zu einer Entlastung der Arme.

- **Optimale Schrittlänge**

Ziel ist es hier sehr weite oder hoch angesetzte Schritte zu vermeiden.

- **Optimale Greiflänge**

Man sollte vermeiden in eine überstreckte Armhaltung zu greifen. Besser ist es erst mit den Beinen höher anzusteigen.

- **Priorität der Beinarbeit**

Versucht man die Hubarbeit primär aus den Beinen zu leisten und die Arme so viel wie möglich gestreckt zu lassen und mit ihnen den Körper vermehrt im Gleichgewicht zu halten, so ist dies wesentlich kraftsparender.

All dies sind ausschließlich elementare Grundsätze der *Positionierung des Körpers*, welche jedoch in allen speziellen Techniken ihre Anwendung finden. Vor allem im Anfängerbereich, wie bereits erwähnt, sollte man in diesen Techniken vornehmlich den Fokus setzen.

Des Weiteren kann man je nach Gelände, Griff- und Trittanbot zwischen einer frontalen und einer eingedrehten Körperposition wechseln.

Die *frontale* Körperposition wird meist an horizontalen Griffen und in flacherem Gelände angewandt. Die Achse von Becken und Schulter sind hier parallel zur Kletterwand.

Ablauf des frontalen Kletterzuges nach Gauster & Hack (2011, S. 158):

- Die Füße wandern unter die Haltehand, wobei ein Fuß links und ein Fuß rechts vom Lot des KSP gesetzt wird.
- Der KSP wird gehoben durch Druck aus den Beinen und Zugarbeit der Arme.
- Dann erfolgt das Weitergreifen.
- Hierauf wird der erreichte Griff durch eine Verlagerung des KSP belastet. Hier muss eventuell umgestiegen werden, um eine stabile Position zu erreichen.

Die *eingedrehte* Körperposition wird vorwiegend an seitlich zu belastenden Griffarten, welche mit dem Daumen nach oben gehalten werden, eingenommen. Außerdem wird sie auch an Henkeln eingesetzt. Zehen und Knie werden hierbei in die gleiche Richtung gedreht, wobei die Achse des Beckens und der Schulter in einem Winkel zur Wand stehen. Die Eindrehtechnik kombiniert die zwei wichtigen Punkte der KSP-Lage nahe zur Wand und des Kletterns am langen Arm. Insofern ist sie die Technik der Wahl im steilen Gelände. Auf diese Weise kann beispielsweise auch im überhängenden Gelände ein ökonomischer Kletterstil erreicht werden. Je steiler die Kletterei, desto näher sollte der KSP an der Wand sein. Je höher die Abweichung des KSP nach hinten ist, desto mehr Haltekraft muss der Kletterer/ die Kletterin aufbringen.

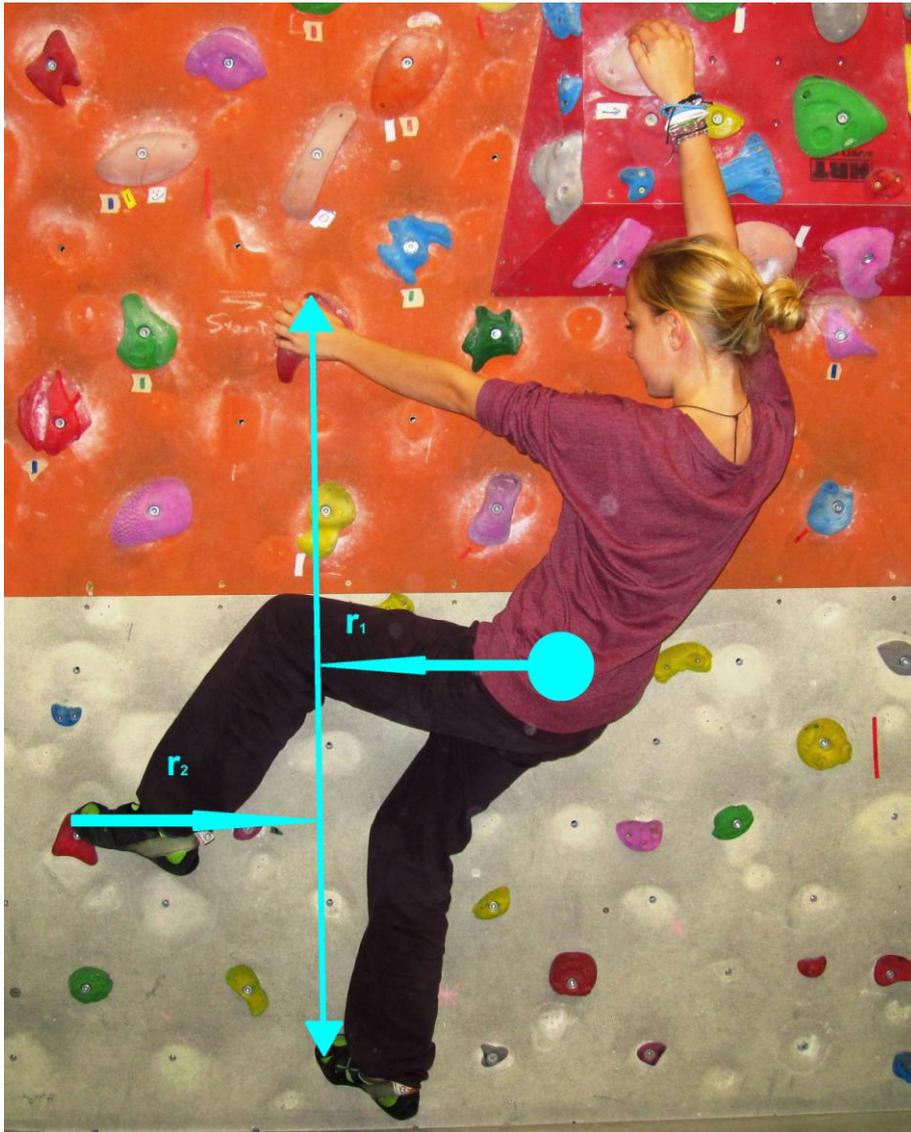


Abbildung 8: Diagonale Belastung beim eingedrehten Klettern

In Abbildung 8 sieht man die Verbindungslinie der Haltehand zum Standbein. Sie ist annähernd senkrecht, wobei der KSP um den Radius r_1 von dieser Linie entfernt ist. Um eine Stabilität herzustellen wird das andere Bein mit Radius r_2 vom Standbein entfernt gesetzt.

Gauster & Hack (2011, S. 159), sowie auch Hoffmann (2008, S. 132f), haben diese Körperpositionierung detailliert beschrieben:

- Die Füße wandern unter die Haltehand, wobei der Fuß auf der Greifhandseite annähernd unter das Lot der Haltehand gesetzt wird. Der andere Fuß wird weiter vorne an einer guten Stelle platziert, um den Körper zu stabilisieren.
- Der Fuß, welcher sich auf der Greifhandseite befindet, wird auf den Außenrist im Zehenspitzenbereich gedreht.
- Beide Knie drehen sich dann in die gleiche Richtung wie die Zehenspitzen.

- Die greifhandseitige Hüfte nähert sich der Wand. Nun ist die gesamte Körperseite der Greifhand zur Wand gedreht.
- Aus den Beinen wird nun durch Druck der KSP unter die Haltehand gehoben und eine Bogenspannung im Körper aufgebaut.
- Dann erfolgt das Weitergreifen. Der Haltearm sollte hierbei so lang wie möglich gestreckt bleiben, während die Greifhand die Bewegung so lange wie möglich unterstützen sollte.
- Nach Erreichen des Zielgriffes wird der Körper wieder neutral, also frontal, zur Wand gestellt und der Griff voll belastet. Auch hier muss eventuell umgestiegen werden, um eine stabile Position zu erreichen.

Diese Grundtechnik ist beim Klettern besonders wichtig, da ein ökonomisches Klettern im steilen Gelände den KSP nahe an der Wand erfordert und die Arme möglichst lang gestreckt bleiben sollten. Über die eingedrehte Körperposition ist dies besser zu verwirklichen. Typische Fehler in dieser Technik treten vor allem im Anfängerbereich auf. Hierzu zählen die Drehung der falschen Körperseite zur Wand, das Fehlen einer Bogenspannung, eine Fehlpositionierung der Füße, sowie ein Überkreuzsteigen.

Um die richtige Körperpositionierung auszuwählen, sind unterschiedliche Kriterien zu beachten. Entsprechend dem Griff- und Trittanbot, sowie der Belastungsrichtung des Griffes der Haltehand, sollte entweder die frontale oder die eingedrehte Position gewählt werden. Weiters ist in jedem Fall darauf zu achten, dass in der Aktion die Hüfte der Greifhandseite der Wand genähert wird. Beim Steigen ist es wichtig, dass erst das Hauptbein, welches auf der Greifhandseite ist, und dann das Spielbein korrekt positioniert werden. Im Zug selbst sollte dann ein Umsteigen nicht mehr notwendig sein.

Neben der Positionierung des Körpers zählen noch Greifen und Steigen zu den Grundtechniken.

Zu den Grundsätzen der elementaren *Grifftechniken* zählen folgende Punkte (Hepp et al., 1992, S. 76ff.; Gauster & Hack, 2011, S. 144ff.; Hoffmann, 2008, S. 75; Keller & Schweizer, 2009, S. 37ff.):

- Optimaler Formschluss: Die Finger und die ganze Hand werden optimal an den Griff angepasst.
- Nachfassen: Um einen wirklich optimalen Formschluss zu erreichen, sollte man eventuell zwei- bis dreimal Nachfassen.

- Optimale Belastungsrichtung: Wie in Abbildung 9 ersichtlich sollte der Unterarm immer im rechten Winkel auf die Belastungsebene (hellblau) des Griffes stehen, also in Richtung des Kraftvektors (grün) schauen.



Abbildung 9: Optimale Belastungsrichtung

- Variable Grifftechnik: Man sollte immer unterschiedliche Greifmethoden wählen; eben jene, welche am besten zum Griff passt.

Um Kraft zu sparen, sollte nur so fest gegriffen werden, wie absolut notwendig um das Körpergewicht zu halten und nicht abzurutschen; dies wird auch als „weiches Greifen“ bezeichnet.

Das Klettern am gestreckten Arm wurde bereits in der eingedrehten Körperposition erwähnt:

„Wird das Gelände senkrecht oder überhängend, ist es meist kraftsparender, wenn der obere Arm gestreckt und nur in der Hauptphase der Kletterbewegung angewinkelt wird. Mit gestrecktem Arm können Arm- und Schultermuskeln in der Vorbereitungsphase- und Endphase der Kletterbewegung weitgehend lockergelassen werden.“ (Gauster & Hack, 2011, S. 125)

Auch sollte der Zielgriff nicht zu hoch gewählt werden, oder es sollte bei vorgegebenem Zielgriff so hoch angestiegen werden, dass der Körper nicht überstreckt wird. Um noch mehr Kraft zu sparen, sollte die Haltezeit, an der nur mit einer Hand gehalten wird, möglichst kurz andauern. Hierbei gilt zu beachten, dass in der Hauptphase die Greifhand die Bewegung so lang wie möglich unterstützt.

Darüber hinaus kann gerade eine korrekte *Tritttechnik*, wie sie in Tabelle 8 erläutert wird, die Arme entlasten.

Tabelle 8: Elementare Tritttechniken

Elementare Tritttechniken	
<p>Treten auf Reibung</p> 	<p>Die Ferse geht hierbei tendenziell nach unten. Diese Technik ist vor allem auf großen abschüssigen Tritten erfolgreich.</p>
<p>Treten mit der Fußspitze</p> 	<p>Bei dieser Technik geht die Ferse leicht nach oben um über Druck auf den Vorfuß, und hier speziell auf die Großzehe, in kleinen Dellen und Löchern Halt zu finden.</p>
<p>Treten mit dem Innenballen</p> 	<p>Hierbei wird speziell auf kleinen Leisten mit dem Innenballen angestiegen und der Fuß durch aktives Gegendrehen an den Tritt gepresst.</p>

Quellen: Hepp et al. (1992, S. 74); Gauster & Hack (2011, S. 129ff.), Hoffmann (2008, S. 76); Keller & Schweizer (2009, S. 28), Bilder aus privatem Fundus

Des Weiteren sollten die Tritte immer unbelastet angestiegen werden. Unbelastet bedeutet, dass der KSP sich vor dem Steigen in Richtung des Standbeines verlagert. Auch die

Bewegungspräzision spielt hier eine wichtige Rolle. Der Tritt sollte exakt anvisiert werden, während der Kletterer/ die Kletterin am gestreckten Arm hängt.

Egal mit welcher Technik gearbeitet wird, so ist doch das Grundproblem das Überwinden der wirkenden Schwerkraft. Je besser technisch geklettert wird, desto ökonomischer geht dieser Prozess von Statten.

„Das Gehirn ist der wichtigste Muskel beim Klettern.“ (Hepp nach Güllich, 1993) Gemeint ist hier, dass nicht nur die Kraft alleine für eine Leistungssteigerung beim Klettern verantwortlich ist. Insbesondere Technik, Taktik, Koordination und Motivation sind treibende Kräfte in der Leistungssteigerung.

5. Messen

5.1 Messungen im Sport: Grundlagen der Leistungs-, Technikdiagnostik und Bewegungsanalyse

Wick (2005, S. 177) bezeichnet den Vorgang des Messens als das Abbilden von Ausprägungen objektiver Eigenschaften oder Relationen auf Werte in Messskalen. Dabei wird der Wert einer Größe mit einem bekannten, als Maßeinheit dienenden Wert dieser Größe, verglichen bzw. in Teilen oder Vielfachen von diesem ausgedrückt. Als Beispiel dienen die SI Einheiten, wobei zum Beispiel Länge in Metern oder Masse in Kilogramm beschrieben wird. In der Biomechanik werden beim Messen insbesondere Intervallskalen benutzt.

Vorteile von Messungen (Wick, 2009, S. 133):

- Messungen liefern wichtige Informationen und verarbeitungsfähige Daten.
- Sie erfordern Bestimmtheit und Exaktheit im Denken.
- Auf Grundlage von Messungen können allgemeine Schlussfolgerungen gezogen werden bzw. funktionale Beziehungen und allgemeine Gesetzmäßigkeiten formuliert werden.
- Messungen ermöglichen meist eine exakte Analyse von Zusammenhängen verschiedener Variablen.

Nigg und Herzog (2007, S. 28ff.; S. 306ff.) haben die Entwicklung der biomechanischen Messmethoden der letzten Jahrhunderte aufgezeichnet. Beeinflusst durch Erfindungen wie die Dampfmaschine durch James Watt (1777) oder den Roman „Emile“ von Jean Jacques Rousseau (1762), in dem Sport in der modernen Bedeutung erstmals hervorgehoben wurde, wurden kinematische Messmethoden zur Ganganalyse, sowie Methoden zur Aktivitätsmessung von Muskelzellen entwickelt und allgemeine mechanische Prinzipien auf biologische und biomechanische Messungen umgelegt.

Eine der ersten optischen Untersuchungen von sportlicher Bewegung erfolgte Ende des 19. Jahrhunderts durch Muybridge mit Hilfe von Fotografie im Pferdesport. Eberhart und Inman entwickelten im Jahr 1945 erstmals die Möglichkeit einer 3D Bewegungsanalyse und revolutionierten so die Ganganalyse. 1982 wurde das erste bildschirmbasiertes Bewegungsanalyzesystem von Vicon entwickelt, wodurch die Auswertung der Daten am Computer erfolgen konnte.

Die während des zweiten Weltkrieges vorangetriebene mechanische und technologische Entwicklung, sowie der aufstrebende Status von Sport in der Gesellschaft, haben

gemeinsam mit der erhöhten finanziellen Unterstützung für medizinische und gesundheitstechnische Studien die Biomechanik weiter vorangetrieben.

Allgemein gibt es diverse unterschiedliche Messverfahren, welche je nach Anforderung zum Einsatz kommen. Unter anderem gibt es die Videoanalyse, die Dynamometrie, Kraftaufnehmer, Zeitmessverfahren, Geschwindigkeitsmessverfahren und vieles mehr.

Kirtley (2006, S. X), sowie auch Bartlett (2007, S. 36), unterscheiden objektive Messverfahren, wobei es zur quantitativen Aufzeichnung von Zahlenwerten kommt, und subjektive Messverfahren, welche eine qualitative Auswertung vorziehen und keine intervallskalierte Daten liefern. In der Biomechanik stehen objektive Messverfahren im Vordergrund, da nur sie statistisch bearbeitbare Ergebnisse liefern.

„Sports biomechanists use two main approaches to analysing human movement patterns in sport – qualitative and quantitative analysis. [...] A third approach fits somewhere between the two and is often known as semi-quantitative analysis.“ (Bartlett, 2007, S. 36)

Eine qualitative Analyse muss laut Bartlett (2007, S. 37ff.), um wissenschaftlich und objektiv zu sein, ein sehr strukturiertes und genaues Vorgehen, von der Vorbereitung über die Durchführung, die Auswertung bis hin zur Intervention beinhalten. Durchführende Personen einer qualitativen Analyse müssen sich sehr gut mit den auszuwertenden sportlichen Techniken auskennen. Für qualitative Analysen reichen meist gängige Videokameras. Die Vorteile liegen im geringen Materialaufwand, der Durchführbarkeit der Tests im Feld, der guten Kommunizierbarkeit mit den SportlerInnen und darin, dass sie für die meisten Trainer und Trainerinnen durchführbar sind. Die Nachteile liegen insbesondere darin, dass es keine echten Zahlenwerte für Vergleiche gibt, der Tester/ die Testerin sich hervorragend mit den jeweiligen sportlichen Techniken auskennen muss und so die Verlässlichkeit und Objektivität eher fragwürdig bleibt.

Rein quantitative Analysen basieren auf mathematischen Modellen und geben eine sehr theoretische Basis in der Untersuchung menschlicher Bewegung vor. Bei dieser Form der Untersuchung ist es sehr wichtig nicht den Überblick zu verlieren, wie und mit welchen Werten eine Bewegung tatsächlich erfasst werden kann. Die Vorteile liegen in den zahlenbasierten und daher vergleichbaren biomechanischen Werten, welche meist verlässlich und objektiv sind. Die Nachteile liegen besonders in der teuren Ausrüstung, in der oft verfälschenden Laborsituation und oft im Mangel an genug Hintergrundwissen über die auszuwertende Bewegung.

Semi-quantitative Analysen sind nahe bei den qualitativen Analysen anzusiedeln, messen jedoch zusätzlich Werte wie Zeitspannen der Bewegungsphasen, Schritt- und Weglängen, Gelenkwinkel oder Punkte. Diese Analyseform bietet die gleichen Vor- und Nachteile wie

die qualitative Analyse und wird insbesondere dann eingesetzt, wenn Vergleiche zwischen Individuen gezogen werden.

Eine Analyse ist die systematische Untersuchung über Zerlegung in Komponenten, zum Beispiel in Bewegungsphasen.

Olivier und Rockmann (2003, S. 23) schreiben in diesem Kontext, dass Bewegungsanalyse sportliche Bewegungen in Bestandteile zerlegt und deren Beziehungen untersucht.

Grundlegend für kinematische Untersuchungen der Biomechanik ist das Bezugssystem. Bewegung ist eine Ortsveränderung während einer Zeitdauer in Bezug zu einem zweiten Körper. Zum Beispiel wirkt die Geschwindigkeit eines Läufers auf BeobachterInnen besonders im Bezugssystem Stadion oder Laufstrecke.

In der Biokinematik sind für eine Untersuchung von Bewegung der Beginn, die Richtung und das Ende einer Bewegung maßgebend. Als Bezugssystem bezieht man sich meist auf die ruhende Umgebung. Definiert man ruhende Bezugspunkte, so ist die Lage eines sich bewegenden Punktes, Teilkörpers oder Gesamtkörpers im Raum definierbar.

Bei solchen Untersuchungen wird meist ein kartesisches Koordinatensystem mit den 3 Achsen x, y und z zu Hilfe genommen, wie es auf Abbildung 10 zu sehen ist.

- x-Achse: parallel Erdoberfläche⁵
- y- Achse: Richtung Erdanziehung
- z- Achse: parallel Erdoberfläche⁶

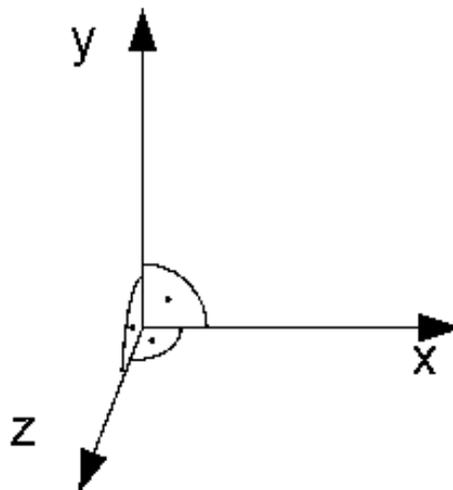


Abbildung 10: Kartesisches Koordinatensystem

⁵ Gehen: Die X-Achse beschreibt die eigentliche Fortbewegungsrichtung.

⁶ Gehen: Die Z-Achse beschreibt die Richtung quer zur Fortbewegungsrichtung.

Im Sport siedeln sich die meisten Messungen im Bereich der Leistungsdiagnostik an. In der Leistungsdiagnostik werden Ist-Werte mit interindividuellen Normwerten über standardisierte Tests verglichen.

Buchner (2009, S.9) zählt zu den leistungsdiagnostischen Verfahren biomechanische, physiologische, psychologische und sportmotorische Varianten. Der Einsatz ergibt sich aus dem Anforderungsprofil der jeweiligen Sportart. Er gibt zu bedenken, dass „für die erfolgreiche Umsetzung der Ergebnisse einer Leistungsdiagnostik im Training eine Theorie notwendig ist, die die untersuchten Parameter der sportlichen Leistungsfähigkeit zuordnet.“

Eine Technikanalyse ist primär ein Verfahren zur Aufdeckung von Defiziten eines Sportlers/ einer Sportlerin in diesem Bereich.

„Die biomechanische Technikanalyse liefert dem Trainer Hinweise auf die im Techniktraining besonders zu berücksichtigenden biomechanischen Merkmale. Mit ihrer Anwendung werden biomechanische Einflussgrößen bestimmt, die Einflusshöhe der Einflussgrößen geschätzt und individuelle Technikdefizite ermittelt.“ (Olivier & Rockmann, 2003, S. 61)

Roth & Willimczik (1999) haben allgemeine Gütekriterien einer Messung bestimmt. Tests und Untersuchungen müssen diesen Kriterien genügen um in den Endergebnissen auch aussagekräftig zu sein. Objektivität, Reliabilität und Validität zählen zu den Hauptgütekriterien. Nebengütekriterien sind die Normierung, also die Einordenbarkeit der Ergebnisse in ein Vergleichssystem; die Vergleichbarkeit, also ob Paralleltestformen oder validitätsähnliche Tests vorhanden sind; die Ökonomie, speziell in der Durchführungszeit, dem Material, der Handhabung oder der Auswertung und die Nützlichkeit und damit die praktische Notwendigkeit einer Untersuchung.

Letzelter & Letzelter (1983, S. 21f.) haben die Gütekriterien auf sportmotorischer Tests ausgerichtet angepasst.

- *Durchführungsobjektivität*: Allgemein versteht man hierunter den Grad der Unabhängigkeit des Testergebnisses von störenden Situationseinflüssen. Speziell bei Tests mit hohen Anforderungen an die Willenskraft spielt die Motivation der Testpersonen eine wichtige Rolle. Ein Ausbelastungstest zum Beispiel ist weniger von den Instruktionen der Versuchsleiter und Versuchsleiterinnen abhängig als vom Willen der getesteten Person. Messfehler können in diesem Falle daher sowohl geräte- als auch probandInnenbedingt sein.
- *Testreliabilität*: Sie sagt aus, ob der Test in einer erneuten Durchführung zu den gleichen Ergebnissen führen würde. Üblicherweise wird dies mit einer zweiten Testreihe, also der Testwiederholungsmethoden, geprüft.

- *Testvalidität*: In den sportwissenschaftlichen Tests steht hier insbesondere die kriterienbezogene Validität im Mittelpunkt. Sie gibt Auskunft darüber, ob der gemessene Wert auch wirklich einen wichtigen Aspekt aus der sportlichen Leistung heraus misst.

Auch Kirtley (2006, S. X) betont, dass bei wissenschaftlichen Messungen immer objektiv gearbeitet werden sollte. Er merkt jedoch auch an, dass es keine Forschung gibt, die absolut frei von Fehlern und subjektiven Vorurteilen ist.

„Ideally, all of these would be objective – free from error, prejudice or opinion. In reality, however, the practice of science is rarely completely objective.“

Während biomechanische Prinzipien laut ihm sehr gut ausgereift sind, so sind die Hypothesen, welche auf Studien folgen, jedoch nie als absolut anzusehen.

5.2 Videobasierte Messmethoden

Wick (2009, S. 138) beschreibt, dass es in den letzten Jahren zu großen Entwicklungssprüngen in der Computertechnik kam. Heutzutage bieten aktuelle Computer enorm große Speicherkapazitäten, welche die Digitalisierung von Bildmaterial wesentlich erleichtern. Dadurch kam es auch in den Sportwissenschaften zu einem Aufblühen der bildverarbeitenden Objektivierung. Die starke Vereinfachung im materiellen und zeitlichen Aufwand in der Bestimmung von kinematischen Parametern und Bewegungsverläufen ermöglichte dies. Des Weiteren bieten computergestützte Videoanalysen enorm viele Möglichkeiten über die zahlreichen aktuellen Verarbeitungsprogramme.

Bartlett (2007, S. 123) beschreibt Videoanalysen im Sport folgendermaßen:

„The recording of human movement in sport can be formally stated as: to obtain a record that will enable the accurate measurement of the position of the centre of rotation of each of the moving body segments and of the time lapse between successive pictures.“

Bei optischen Messsystemen werden meist auf der Haut aufgebrachte Markerpunkte digitalisiert, nachdem die Bildsequenzen zuvor mit einer Kamera aufgezeichnet wurden. Nigg und Herzog (2007, S. 364) empfehlen Marker, welche mit einem reflektierenden Material beschichtet sind. Sie erlauben in manchen Auswertungsprogrammen durch ihren Kontrast eine automatisierte Markerverfolgung.

Mit Hilfe von Videos können Aufnahmen auf 2 Arten erstellt werden. Die gängige Variante sind Aufnahmen im zweidimensionalen (2D) Bereich, während heutzutage immer mehr auch Aufnahmen im dreidimensionalen (3D) Bereich durchgeführt werden.

Bartlett (2007, S. 122f) sieht sowohl in 2D, als auch in 3D Aufnahmen gewisse Vor- und Nachteile.

2D:

- 2D Aufnahmen sind einfacher und billiger, da weniger Kameras und meist gängige Modelle verwendet werden können.
- Die Bewegungen müssen in einer vorher bestimmten Bewegungsebene ausgeführt werden. Es können gute Resultate erzielt werden, solange sich das Ziel innerhalb dieser Ebene bewegt, außerhalb dieser Ebene jedoch nicht.
- 2D ist einfacher auszuwerten und erfordert weniger Zeit zum Digitalisieren. Auch hat man mit weniger methodologischen Problemen zu kämpfen.

3D:

- 3D Aufnahmen sind im Allgemeinen wesentlich komplexer.
- Sie zeigen die tatsächliche Körperbewegung.
- Sie erfordern mehr Material und sind daher teurer.
- Sie weisen eine erhöhte Komplexität in der Auswertung auf und erfordern daher bessere Computer und längere Synchronisationszeiten.
- 3D erlaubt Winkel zwischen den einzelnen Körpersegmenten hochwertiger zu berechnen.
- Diese Form der Aufnahme ermöglicht die Rekonstruktion einer simulierten Ansicht der Bewegung. Das kann sehr hilfreich in der Bewegungsanalyse sein.

Trotz des hohen technischen Aufwandes bei der Aufnahme mit Kameras, sind diese in der Durchführung und Auswertung fehleranfällig. In den 2D Messungen sind laut Kirtley (2006, S. 48) zwei Fehler hervorzuheben:

- *Parallaxenfehler*: Dieser Fehler tritt auf, wenn sich Objekte weg von der optischen Achse der Kamera bewegen. Er kann nicht komplett eliminiert, jedoch minimiert werden. Indem man den zentralen Teil der Bewegung im Bildzentrum aufnimmt und den Zoom maximal ausnützt, sodass nur das aufgenommen wird, was wirklich aufgezeichnet werden muss, kann man die Aufnahme verbessern.
- *Perspektivenfehler*: Dieser Fehler ist die auftretende Änderung der Länge eines Objektes, wenn es sich außerhalb des kalibrierten Bereichs bewegt. Der Fehler wird umso größer, je mehr sich das Objekt von der kalibrierten Ebene entfernt. Er kann jedoch minimiert werden, indem man den Abstand der Kamera zur kalibrierten Ebene maximiert. Deutlich wird dieser Fehler, wenn zwei gleich lange Objekte im Bild der

Kamera nicht gleich lang erscheinen. Dies tritt zum Beispiel auf wenn ein Arm der Kamera näher ist als der andere und dadurch länger wirkt.

Aus diesem Grund sollten bei einer 2D-Messung mit Kameras diese maximal entfernt von der Kalibrierungsebene aufgestellt werden und es sollte dann soweit heran gezoomt werden, dass die zu untersuchende Bewegung gut sichtbar ist. Des Weiteren sollte sich das aufgenommene Objekt innerhalb der kalibrierten Ebene bewegen.

„To keep perspective error to a minimum, therefore, the camera should be kept as far from the subject as possible, zooming in to compensate for the image size.“ (Kirtley, 2006, S. 48)

Knudson und Morrison (2002, S. 201) sehen auch Probleme in der Auswertung von klassischen 2D Messungen.

„The 2-D images created by normal photography or video often provide distorted representations of the 3-D reality. For example, objects not parallel to the camera can appear smaller than they actually are!“

Bartlett (2007, 123f) hat weitere Fehler beschrieben, welche innerhalb der Bewegungsanalyse, mit Hilfe von Videoaufnahmen beachtet, werden sollten.

- Damit die Position der Gelenkszentren der Rotation 3D ist, erfordert es eine 2D Analyse der Bewegungen aufgenommen von einer Kamera.
- Falls bei 3D Aufnahmen die Kameras nicht synchronisiert sind, kann es in der Auswertung zu massiven Problemen kommen.
- Jedes Mal, wenn die Bewegungsebene nicht normal auf die Kameraachse steht, ist dies eine Quelle von Fehlern. Insbesondere wenn die Kalibrierung mit einem einfachen Kalibrierungsobjekt in der Bewegungsebene durchgeführt wurde.
- Eine Distorsion oder Verzeichnung durch die Linse kann ebenfalls eine Fehlerquelle sein, speziell bei Weitwinkelaufnahmen mit qualitativ minderwertiger Optik.
- Auf die Haut aufgebrachte Marker können sich im Laufe der Bewegung vom ursprünglichen Setzungspunkt wegbewegen.
- Weitere Fehlerquellen, die zu beachten sind, sind unscharfe Bildgebung, Vibration der Kamera und Fehler, die beim Digitalisieren oder Auswerten entstehen.

Innerhalb der Kamerasysteme unterscheidet man passive und aktive Systeme. Nigg und Herzog (2007, S. 364) beschreiben, dass bei passiven Systemen vereinfacht reflektierte

Lichtstrahlen vom Objekt in der Kamera aufgezeichnet werden. Aktive Systeme senden einen Lichtstrahl zum Objekt und zeichnen den zurückgeworfenen Strahl auf.

5.3 Das Video und Möglichkeiten des Videoeinsatzes

Filmaufnahmen und damit Videos sind fast jedem Menschen aus dem Alltag bekannt. Jedem Film im Fernsehen liegt ein Video zu Grunde. Sie dienen jedoch nicht nur der Unterhaltung, sondern stellen auch interessante Lehr- und Lernhilfe im Bildungsbereich, sowie gut anwendbare Wettkampf- und Trainingsdiagnosemöglichkeiten im Sport dar.

Laut Baumgartner (2003, S. 5) galt erst die Kopplung von Videos mit Computern als entscheidender Punkt in der verstärkten Anwendung in der Sportwissenschaft und Trainingslehre.

Um ein Video am Computer weiter zu verarbeiten muss ein analoges Video in ein digitales Video (DV) umgewandelt werden. (Schmidt, 2009, S. 120)

Das digitale Video ist ein verlustfrei überspielbares digitales Videoformat, welches im Verhältnis 5:1 komprimiert wird. DV Signale beinhalten Videosignale, Audiospuren, den Timecode und den Datacode. Sie sind das häufigstes Format, mit welchem gängige Camcorder arbeiten. (Baumgartner, 2003, S. 7)

Um Videos optimal am Computer bearbeiten zu können, werden sie vorab komprimiert. Dies geschieht mit Hilfe von sogenannten Codecs. Video- und/oder Audioström werden nach einem definierten Algorithmus für die Speicherung verschlüsselt und komprimiert und für die Verarbeitung wieder entschlüsselt und entkomprimiert. Die Dateigröße wird dadurch reduziert und erzielt damit eine bessere Wiedergabegeschwindigkeit am Computer.

In allen Wissenschaftsbereichen, so auch in der biomechanischen Bewegungsanalyse, herrscht ein großes Interesse an neuen Untersuchungsmöglichkeiten. Unter anderem ist die Generierung virtueller Bewegungsabläufe und damit die Modellierung menschlicher Bewegungsabläufe im Alltag, in der Arbeitswelt und auch im Sport einer der vielfältigen zu untersuchenden Bereiche.

„Video and computer technology are changing rapidly and dramatically affect the kinesiology professionals` ability to use videotape replay for qualitative and quantitative analysis.“ (Knudson & Morrison, 2002, S. 217)

In der Biomechanik und speziell in der Sportwissenschaft wird das Video, sowohl für quantitative, als auch in der qualitativen Analyse eingesetzt. Allgemein eignet es sich ebenfalls hervorragend als Feedback Möglichkeit.

5.4 Auswertung von Videoaufnahmen

Für die Auswertung von Videoaufnahmen werden diese zu allererst auf den Computer überspielt um dann weiter verarbeitet zu werden.

Heutzutage werden unzählige Produkte am Markt angeboten, welche für Bewegungsanalyse mit gekoppelter Messwerterfassung geeignet sind. Unter anderem gehören die Programme Simi Motion, Apas, Vicon oder Dartfish in diese Gruppe.

Wick (2009, S. 139) hat auf Abbildung 11 versucht unterschiedliche Programm in einem Raster zusammen zu fassen.

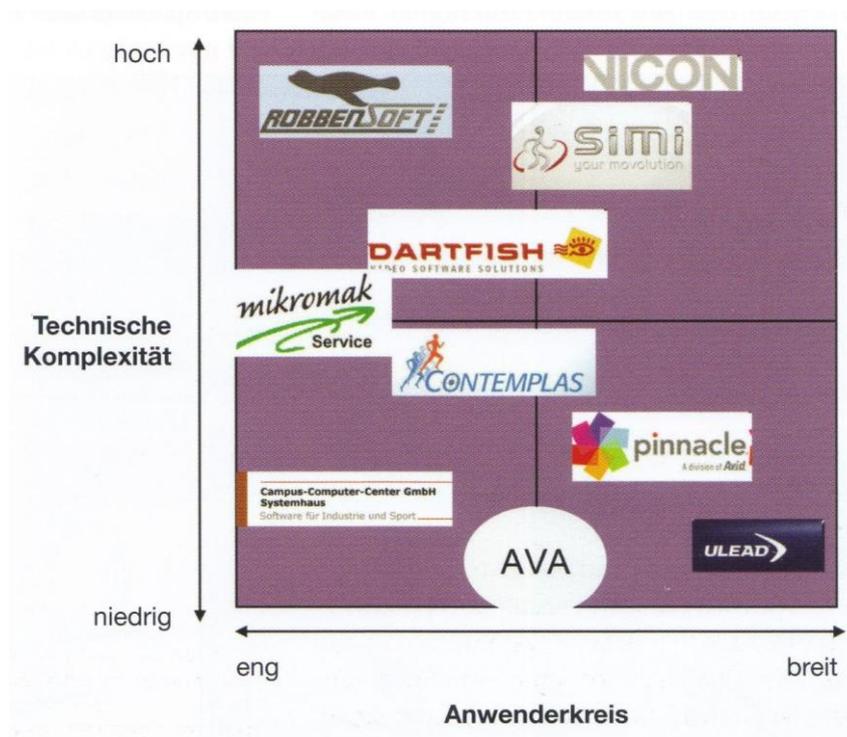


Abbildung 11: Auswertungssoftware für videogestützte Bewegungsanalyse (Wick, 2009, S. 139)

In meiner Studie habe ich mich für das Programm Simi Motion für die Auswertung der Aufnahmen entschieden. Simi Motion besteht aus unterschiedlichen Modulen, welche auf unterschiedliche Zielsetzungen in der Auswertung abgestimmt sind. Die Benutzeroberfläche ist übersichtlich und lädt zum Arbeiten ein.



Simi Motion – Modulübersicht

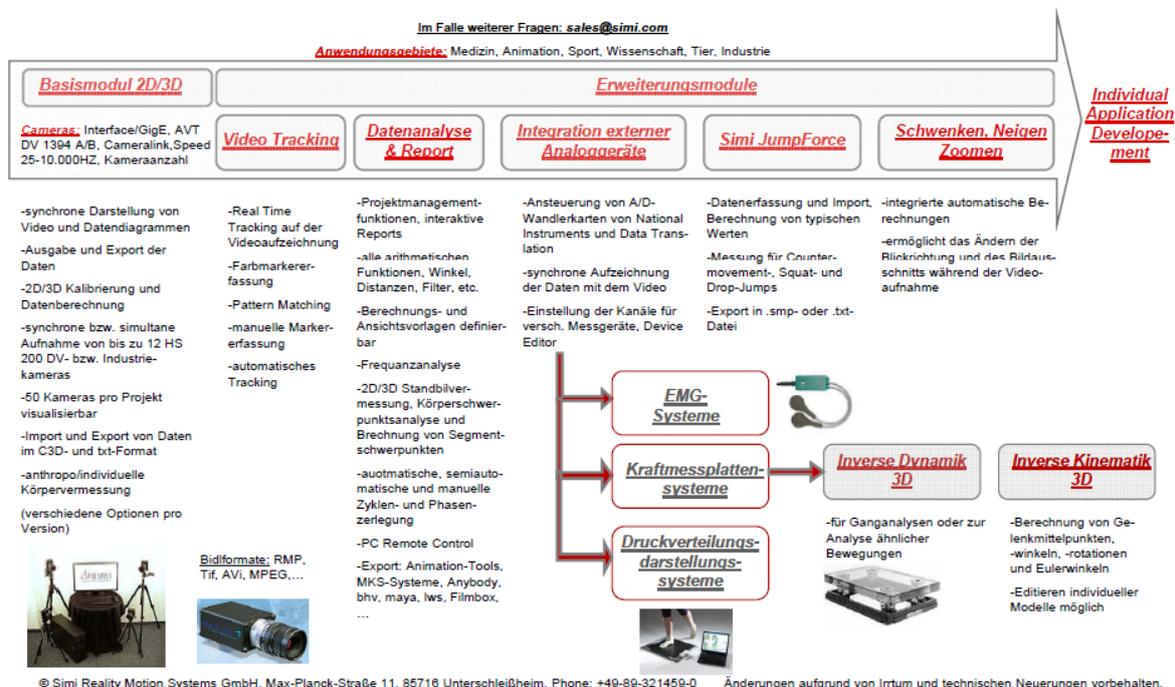


Abbildung 12: Modulübersicht Simi Motion (Zugriff unter <http://www.simi.de/typo3temp/dbb1acd8ad.png> am 22.11.2012.)

Mit dem Programm Simi Motion, dessen Funktionen und Möglichkeiten auf Abbildung 12 dargestellt sind, können verschiedenste sportliche Bewegungen erfasst und im Anschluss ausgewertet werden. Die Bewegungsanalyse erfolgt dann nach Ablauf eines vorgeschlagenen Schemas.

Vor jeder Analyse werden gewisse Spezifikationen bestimmt, dazu gehören das exakte geeignete Marker-setup und die entsprechende Kamerapositionierung.

Direkt vor einer Aufnahme werden die Kameras mit Hilfe eines bekannten Kalibrierungsobjektes kalibriert. Erst nach der Kalibrierung kann das System auch exakte Werte berechnen.

Die Aufnahmen der Bewegungen können direkt über das Programm gesteuert aufgenommen werden oder auch erst später importiert werden.

In der Auswertung muss die Bewegung entweder per Hand digitalisiert werden oder, im Falle der Verwendung von geeigneten Markern, kann auch die Funktion des automatischen Trackings verwendet werden.

Danach ist es möglich je nach Kamerasetup aus den Rohdaten die Koordinaten der einzelnen Punkte im Raum zu bestimmen.

Das Programm kann nach diesen Schritten Winkel, Distanzen und Körperschwerpunkte berechnen. Auch stehen arithmetische, trigonometrische und anderer Funktionen zur Auswahl, um die Daten je nach Zielstellung weiter zu bearbeiten.

Die Endergebnisse können dann auf unterschiedliche Art und Weise dargestellt werden. Zur Wahl stehen Tabellen, Diagramme, Strichdarstellungen und 3D Virtual-Reality-Darstellungen.

Die Zahlenwerte können zur weiteren Bearbeitung in Kalkulations- und Statistikprogrammen exportiert werden.

6. Analyse der Eindrehbewegung beim Sportklettern

6.1 Entwicklung der Fragestellung

„Der gegenwärtige Entwicklungszustand der Registrier- und Messmethoden gestattet es, die Form beliebiger Bewegungsvollzüge zu objektivieren in allen wesentlichen Parametern auch zahlenmäßig zu erfassen und in gewissen Grenzen mathematisch zu modellieren. Auf dieser Grundlage - oder, allerdings weniger exakt, auf der Grundlage gezielter wiederholter Beobachtungen am Videobild oder in natura – lässt sich ein Bewegungsablauf in seiner Form und seinen Besonderheiten sehr detailliert erfassen und auch beschreiben. Solche Beschreibungen, wie wir sie allenthalben in der Fachliteratur finden, sind wesentlicher und notwendiger Bestandteil, insbesondere auf die Form gerichtet, das heißt einer morphologischen Bewegungserfassung. Ungeachtet der Unverzichtbarkeit und nahezu universellen Verwendung der Bewegungsbeschreibung sowohl in der Lehr- und Trainingspraxis als auch in der Sportfachliteratur wurde sie als Methode bisher kaum reflektiert.“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 72)

Meinel und Schnabel machen die Wichtigkeit deutlich, dass Bewegungsvollzüge im Sport objektiviert werden sollten um die jeweiligen Techniken besser zu verstehen. Im Klettersport gibt es zurzeit noch wenige detaillierte wissenschaftliche Unterlagen zu diesen Themen. Dieses Defizit macht eine Analyse im Bereich Sportklettern interessant und auch notwendig.

Aus diesem Defizit heraus entstand die Idee einer biokinematischen Bewegungsanalyse im Sportklettern. Nach einiger Literaturrecherche stieß ich auf die einzige für mich zugängliche Untersuchung in diesem Bereich von Gallonetto (1992).

Er hat bereits damals eine biokinematische Analyse von Klettertechniken durchgeführt. Er kam zu dem Schluss, dass biokinematische Untersuchungen im Bereich des Sportkletterns am ehesten zu einem Erfolg führen, wenn man die Stichprobe vergrößert⁷, mehr als nur eine Kamera verwendet und die Kletterrouten standardisiert. Er weist weiter darauf hin, dass die Aufnahmen besser an künstlichen Wänden vorgenommen werden sollten.

Aus seinen Vorschlägen und meinem Interesse habe ich mich dazu entschlossen eine Analyse der *Eindrehbewegung* in einer standardisierten Situation an einer Kunstwand zu erstellen.

Wick (2009, S. 147) betont, dass im Kletterfluss selten eine Bewegung der vorangegangenen gleicht. Es kommt ständig zu neuen Bewegungsabfolgen. Kletterrouten im Ganzen lassen sich daher sehr schwer vergleichen, da oft Bewegungen von unterschiedlichen Personen auf ebenso viele unterschiedliche Weisen gelöst werden. Aus diesem Grund wurde als Bewegung für die Analyse eine Einzelbewegung an einer vorgegebenen Wandsituation gewählt. Nur über diesen Weg kann man erreichen, dass zumindest ein Großteil der Probanden⁸ denselben Lösungsansatz wählt.

⁷ Er untersuchte in seiner Studie zwei unterschiedliche Leistungsgruppen zu je 5 Kletterern.

⁸ Es wurden nur männliche Probanden für meine Studie ausgewählt.

Über diese Studie wurde versucht quantitative Werte zu eruieren, welche in weiterer Folge als Normwerte angenommen werden können und mit deren Hilfe sich die optimale Eindrehbewegung beschreiben lässt.

Auch sollte als Ergebnis der Unterschied zwischen Anfängern und mäßig fortgeschrittenen Kletterern in Form von Zahlenwerten dargestellt werden.

6.2 Nutzen der Studie

Buchner (2009, S. 12) beschreibt die Technikdiagnostik als Teil der Leistungsdiagnostik, welche die Möglichkeit der Bestimmung von technischen Stärken und Schwächen eines Sportlers/ einer Sportlerin gibt. So ist eine Kontrolle von Auswirkungen einer Trainingsform auf die Technik eruierbar. Voraussetzung für die Durchführung einer echten Technikdiagnostik sind Vergleichswerte und Normen für die einzelnen Bewegungsabläufe.

Ziel und damit Nutzen der Studie ist es, solche Vergleichswerte und Normen für den Alltag in der Technikdiagnostik im Klettern zu eruieren.

Ideale Normen richten sich meist an den Werten, welche durch die weltbesten Sportler und Sportlerinnen vorgegeben werden. Dies wiederum führt gerade im Klettersport zu jener Problematik, dass die weltbesten Sportler und Sportlerinnen oft weit außerhalb der Norm liegen. Sie sind zum Beispiel oft von ihrer Anthropometrie her, ihrer Beweglichkeit oder ihrem Gewicht nicht mit einem gewöhnlichen Hobbysportler/ einer gewöhnlichen Hobbysportlerin zu vergleichen. Ihr Ape Index⁹ liegt oft in ganz anderen Bereichen. Während schon Leonardo DaVinci als Optimum einen Ape-Index von 1 beschreibt ist bei Kletterern meist ein Index von größer 1 anzutreffen und auch vorteilhaft. Gerade die Ausführung der Technik ist stark von genau diesen Faktoren abhängig. Statistische Normen beziehen sich auf die jeweilige Zielgruppe und stellen den Bezug von individueller und durchschnittlicher Merkmalsausprägung her. Möchte ein Anfänger/ eine Anfängerin im Klettersport also ein durchschnittlich guter Kletterer/ eine durchschnittlich gute Kletterin werden muss man sich also auf die statistische Norm guter Kletterer und Kletterinnen beziehen. Auch hierbei muss wieder gesagt werden, dass jede Person interindividuelle Unterschiede aufweist und es schwer ist, sich an strenge statistische Normen zu halten.

Aus diesen Problemen heraus leiten sich die funktionalen Normen ab. Während sich die statistische Norm rein auf das Mittel einer Gruppe bezieht, lässt die funktionale Norm Platz für das Individuum an sich. Eine Norm ist zwar ein Anhaltspunkt, muss aber gerade im Sport nicht immer gelten.

⁹ "The ape index is a measurement that reflects the difference (or lack thereof) between a climber's height and that climber's wingspan, from fingertip to fingertip." (Rainey, 2010)

Letzelter und Letzelter (1983, S. 26) stellen sich daher folgende Frage:

„Inwieweit ist der Unterschied zwischen statistischer und individueller Norm (noch) tolerierbar? Ist die realisierte Norm wirklich die funktionale oder führt eine Veränderung zu einem besseren Funktionieren? Die Ausprägung der Ist-Sollwert-Differenz ist ein Anhaltspunkt – mehr nicht.“

Das wiederum sagt aus, dass ein Sollwert vorhanden sein muss, um weiter in die Tiefe zu blicken. Was darüber hinaus geht, ist speziell von der Fähigkeit des Trainers oder der Trainerin abhängig. Denn er oder sie muss erkennen, welche individuellen Unterschiede in seinen/ihren Sportlern und Sportlerinnen vorhanden sind und inwieweit eine Abweichung vom Sollwert sinnvoll ist.

„Prinzipiell gelten leistungsdiagnostische Aussagen wie alle trainingswissenschaftlichen Sätze nur in einem bestimmten Prozentsatz aller Fälle: Sie sind „statistisch“ und nicht deterministisch – jedenfalls in der Regel.“ (Letzelter & Letzelter, 1983, S. 27)

Wie bereits mehrfach angemerkt, ist weder eine Technikdiagnose noch ein sinnvolles Techniktraining ohne einen Satz von erhobenen Grundwerten möglich. Kauer hat dies in seiner Diplomarbeit schon 1995 (S. 5) betont, jedoch gab es bis heute trotzdem keine weiteren Versuchen, die Forschung in diesem Bereich etwas voranzutreiben.

„Leider aber fehlen im Bereich der Technik noch objektive Kriterien einer Bewertung und damit wichtige Grundlage für ein fundiertest Techniktraining.“ (Kauer, 1995, S. 5)

Der Nutzen meiner Arbeit sollte daher genau das Füllen dieser Wissenslücke sein.

Ein weiteres Ziel dieser Studie ist das Erstellen von Stroboskop-Bildreihen als Visualisierungshilfe der Phasengliederung der Eindrehbewegung.

6.3 Entwicklung des Messaufbaues

In der Entwicklung des Messaufbaues habe ich versucht, mich an unterschiedliche, in der Literatur angegebene, Schemen zu halten.

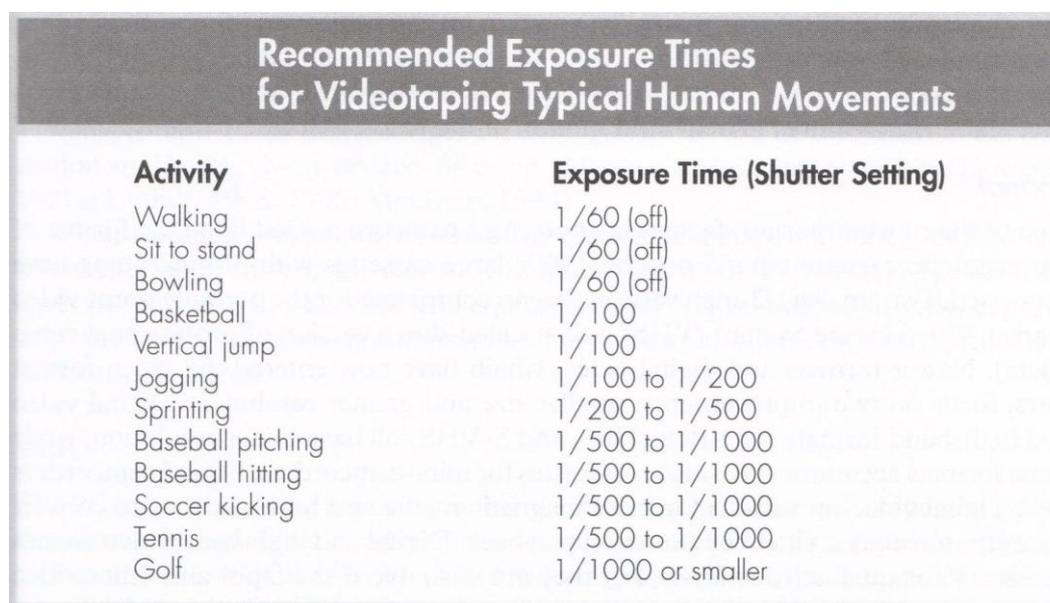
Wick (2009, S. 139f.) beschreibt als vereinfachten Algorithmus für eine videogestützte Bewegungsanalyse im Sport folgende Punkte:

- Identifizierung relevanter Bewegungsmerkmale
- Relevante Markerpunkte am Körper definieren
- Kamerasetup bestimmen (2D oder 3D, Kalibrierung Bewegungsraum)
- Videaufnahmen durchführen
- Auswertungssoftware auswählen und Bewegungsmerkmale auswerten

Die Verschlusszeit (Shutter Speed) der verwendeten Kameras sollte laut Bartlett (2007, S. 120) $1/1000$ s nicht unterschreiten, um die Bewegungsunschärfe bei der Aufnahme weitgehende zu vermindern. Des Weiteren sollten mind. 25 Bilder pro Sekunde aufgenommen werden, wobei dies für sehr schnelle Bewegungsabläufe bereits zu wenig ist.

Wollny (2007, S. 290) empfiehlt daher Bildaufnahmefrequenzen von mindestens 100 bis 300 Bildern pro Sekunde bei einer kurzen Belichtungszeit, um scharfe Bilder zu erhalten. Das ist für normale sportliche Bewegungen meist ausreichend. Schlag- oder stoßartige Bewegungen, wie sie in den vorliegenden Aufnahmen jedoch nicht vorkommen, erfordern eine höhere Bildaufnahmefrequenz, um urteilskräftige Aussagen zu erzielen.

Knudson und Morrison (2002, S. 207) geben auf Abbildung 13 ebenfalls Empfehlungen für die Verschlusszeiten.



Activity	Exposure Time (Shutter Setting)
Walking	$1/60$ (off)
Sit to stand	$1/60$ (off)
Bowling	$1/60$ (off)
Basketball	$1/100$
Vertical jump	$1/100$
Jogging	$1/100$ to $1/200$
Sprinting	$1/200$ to $1/500$
Baseball pitching	$1/500$ to $1/1000$
Baseball hitting	$1/500$ to $1/1000$
Soccer kicking	$1/500$ to $1/1000$
Tennis	$1/500$ to $1/1000$
Golf	$1/1000$ or smaller

Abbildung 13: Verschlusszeiten in Sekunden für Bewegungsanalyse im Sport (Knudson & Morrison, 2002, S. 207)

Bartlett (2007, S. 126ff.) hat ein etwas genaueres Ablaufschema für 2D und 3D Aufnahmen erstellt. Ziel dieses Schemas ist die Minimierung von Fehlern in der Auswertung.

- Die Kameras sollten auf einem stabilen Stativ stehen, das Stativ wiederum auf festem Untergrund. Dies vermeidet weitgehend die Eigenbewegung der Kameras.
- Die Kameras sollten so weit wie möglich von der Bewegungsebene entfernt stehen, um den bereits beschriebenen Perspektivenfehler zu vermeiden.
- Man sollte so weit wie möglich an die Bewegung heran zoomen, um den entsprechenden Bildausschnitt hervorzuheben und den Parallaxenfehler zu minimieren.

- Während der gesamten Aufnahmen darf nicht gezoomt werden.
- Für Bewegungen, welche sehr viel Raum einnehmen, sollten weitere Kameras eingeplant werden.
- Die Bewegungsebene sollte normal auf die optische Achse stehen, dies hat höchste Wichtigkeit.
- Zum Kalibrieren sollten horizontale und vertikale Längenmaße angebracht werden.
- Der Hintergrund sollte eben und nicht reflektierend sein.
- Die Verwendung von Markern auf ausgewählten Körperpunkten wird empfohlen. Sie sollten über dem Gelenkszentrum angebracht werden.
- Um das Risiko zu mindern, dass der Marker verrutscht, kann man diese um die Gelenke mit Klebeband fixieren. So fällt es leichter das Gelenkszentrum im Auge zu behalten.
- Für langsamere Sportarten ist eine Bildaufnahme Frequenz von 25 oder 30 frames per second (fps) ausreichend.
- Falls kein Tageslicht bei den Aufnahmen vorherrscht, so sollte für eine entsprechende Ausleuchtung gesorgt werden.
- Wenn möglich, sollten Informationen während der Aufnahme eingeblendet werden um Verwechslungen zu vermeiden.
- Falls möglich, sollte die Aufnahme unauffällig erfolgen. Falls dies nicht möglich ist, kann es sein, dass der Proband/ die Probandin sich erst an die Kamera gewöhnen muss. Trotzdem sollte die Anzahl der Versuche so gering wie möglich gehalten werden.
- Bei kontrollierten Studien sollte so wenig Kleidung wie möglich von den ProbandInnen getragen werden, um Fehler zu minimieren.
- Um die Verlässlichkeit des Programmes zu überprüfen, sollte in der Auswertung zumindest eine der aufgenommenen Sequenzen mehrmals digitalisiert und verglichen werden.

„If joint center markers are used, careful attention must be paid to their movement relative to underlying bones. [...] To minimise errors, you need a thorough anatomical knowledge of the joints and the location of their axes of rotation with respect to superficial landmarks throughout the range of segmental orientations.“ (Bartlett, 2007, S. 130)

Aus all diesen Empfehlungen habe ich versucht, einen optimalen Ablaufplan für die Studie mit den mir zu Verfügung stehenden Möglichkeiten zu entwickeln.

6.3.1 Die Idee

Um das Thema „Kinematische Analyse der Weg- Zeitparameter während der Standardbewegung beim Sportklettern: Vergleich von Anfängern und Fortgeschrittenen bei der Bewegungstechnik Eindrehen“ optimal zu bearbeiten, war die Idee, dass die Erfassung der kinematischen Merkmale mittels zwei Kameras, welche normal aufeinander stehen, erfolgt. Schematisch kann man dies auf Abbildung 14 erkennen.

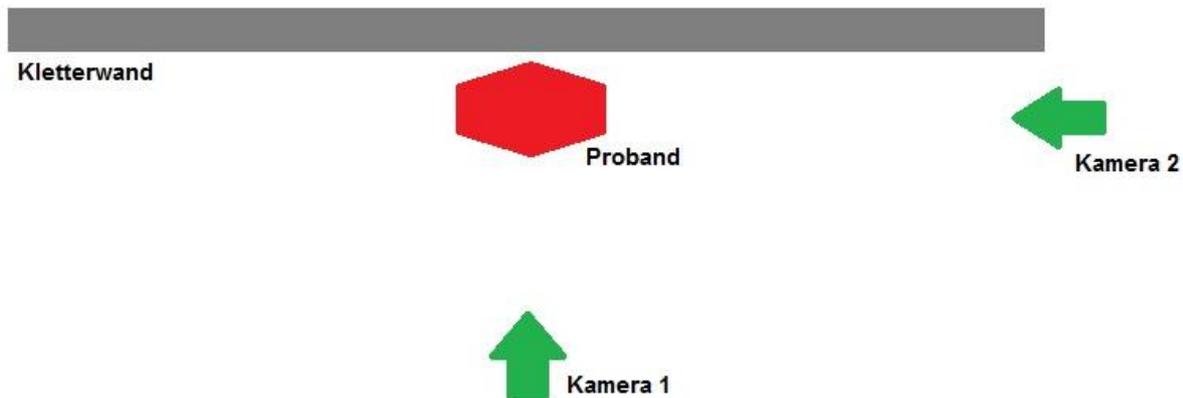


Abbildung 14: Schematischer Versuchsaufbau

Für die Aufnahmen selbst sollte eine Standardsituation für die Eindrehtechnik auf einer Systemwand in Absprache mit erfahrenen TrainerInnen aufgebaut werden. Diese Situation sollte in zwei unterschiedlichen Neigungen aufgenommen werden.

Eine Systemwand ist eine spezielle Form der Boulderwand. Sie lässt sich stufenlos in der Neigung verstellen und eignet sich daher für das Ziel ein und dieselbe vorgegebene Bewegungssituation in zwei unterschiedlichen Neigungen zu analysieren.

Um eine ausreichende Menge an Probanden aufzuweisen, war die Aufnahme von ungefähr 15 erwachsenen männlichen Kletterern pro Gruppe mit einer „Standardgröße“ im Bereich von 175-185cm und einem vordefinierten Rotpunktniveau¹⁰ an der Standardsituation in 2 unterschiedlichen Neigungen geplant.

Wichtig war weiters die Aufnahmen der Personen nach einem entsprechenden Aufwärmprogramm in annähernd ermüdungsfreiem Zustand durchzuführen.

¹⁰ Bei einer Rotpunktbegehung einer Route handelt es sich um sturzfremde Durchsteigung mit Informationen, sowie vormaligen Versuchen. Das Rotpunktniveau beschreibt das Kletterkönnen eines Kletterers / einer Kletterin. Es wird in der jeweiligen Landesschwierigkeitsskala angegeben (siehe Seite. 15)

6.3.2 Allgemeine Situation und Aufnahmeort

Die Aufnahmen wurden in der Kletterhalle Südwand in Perchtoldsdorf durchgeführt.

In der Planung der Studie war die Halle erst in Bau und noch nicht fertig gestellt. Ziel war es, die Aufnahmen an einer Systemwand durchzuführen. Zum Zeitpunkt der Zusage der Halle war zwar fix, dass eine Systemwand eingebaut werden wird, allerdings war der genaue Einbauort noch nicht geklärt.

Als die Halle fertig gestellt wurde, wurde sogleich eine Besichtigung der Räume durchgeführt.

Zur Wahl standen drei unterschiedliche Boulderräume, welche auf Abbildung 15 zu sehen sind. In einem dieser Räume befand sich eine Systemwand.

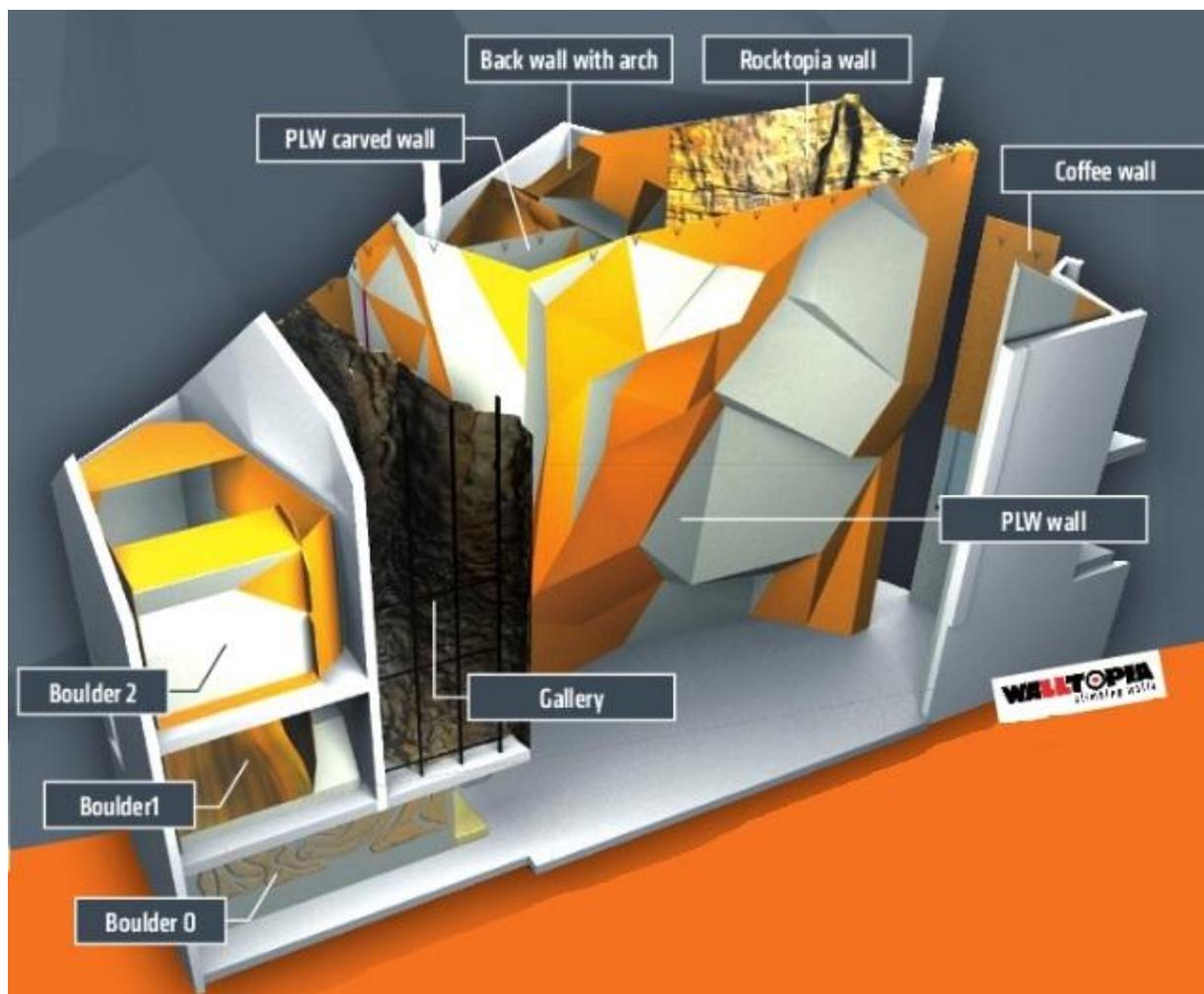


Abbildung 15: Hallenplan Kletterhalle Südwand (Zugriff unter <http://www.suedwand.at/uploads/assets/image/events/opening/flyer2.jpg> am 15.06.2010.)

Boulderraum 0 im Keller besaß eine Kletterfläche von 3,7m/ 3,0m (Höhe/ Breite) und damit eben diese Aufnahmefläche. Boulderraum 1 im Erdgeschoss besaß 2,3m/ 1m Aufnahmefläche mit einer Systemwand und Boulderraum 2 im Obergeschoss 3,6m/ 3,6m.

Leider stellte sich heraus, dass die Systemwand nur auf Therapieklettern ausgerichtet war und in der Neigung zwar verstellbar, jedoch sich nur flacher und nicht steiler stellen ließ.

Somit wurde die Idee von zwei Aufnahmen in zwei unterschiedlichen Neigungen verworfen, da eine Aufnahme in einem Gelände mit einer Neigung kleiner als 90° sinnlos gewesen wäre.

Die Wahl fiel in Ermangelung optimaler Möglichkeiten auf Boulderraum 2 im Obergeschoss. Der Raum bot den Vorteil einer relativ großen Kletterfläche und vor allem konnte man dort die Kameras wesentlich weiter von der Aufnahmeebene entfernt aufstellen als in allen anderen Boulderräumen. Dies ist für die Minimierung des Parallaxenfehlers von größter Bedeutung. Des Weiteren bestand in diesem Raum die Möglichkeit das Set-Up über 3 Tage lang aufgebaut zu lassen und so eine absolute Vergleichbarkeit der Aufnahmen an den unterschiedlichen Tagen zu ermöglichen.

Die Erstellung der Standardsituation erfolgte unter Berücksichtigung der Knotenpunkte der Eindrehbewegung, wie sie in Kapitel 4.2 beschrieben werden.

Die verwendeten Griffe entsprachen gewöhnlichen Standardgriffen, wie sie von diversen Firmen angeboten werden. Sie wurden von der Tiroler Firma ArtRock hergestellt und bestanden zum Großteil aus dem Therapiegriffbestand. Um vom verwendeten Startgriff ein besseres Bild zu erhalten, wurde er, wie auf Abbildung 16 zu sehen, mit Hilfe des Computers dreidimensional gezeichnet.

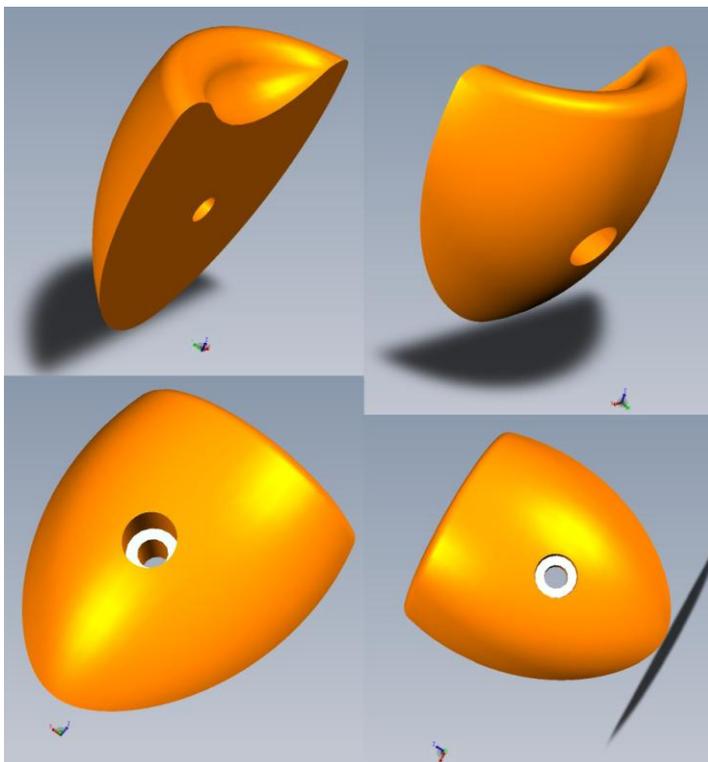


Abbildung 16: Startgriff der Haltehand links und rechts

Die Griffe, welche auf Abbildung 17 zu erkennen sind, wurden für die Aufnahmen eindeutig markiert. Für die Tritte wurde lediglich ein Bereich eingegrenzt, in welchem die Probanden ihre Tritte frei wählen konnten, um bei der folgenden Studie auch das Wahlverhalten der Tritte analysieren zu können. Sowohl die Trittwechsel, wie auch die endgültige Trittwahl spielen in der Auswertung des Videomaterials eine Rolle.



Abbildung 17: Anordnung der Griffe am Aufnahmeort

6.3.3 Kamerasetup und Kalibrierungsobjekt

Die verwendeten Kameras¹¹ wiesen eine Verschlusszeit von 1/1500 s bzw. 1/2500 und eine Bildaufnahmefrequenz von 30fps auf, was den Anforderungen durch Bartlett (2007, S. 120) genügt.

Die Kameras wurden soweit wie möglich von der Bewegungsebene entfernt auf Stativen aufgestellt. Um die Eigenbewegung der Kameras zu Minimieren, wurde jene Kamera, die auf der Matte platziert werden musste, auf einem Holzbrett aufgestellt. Stative und Kameras wurden mit einer Wasserwaage kontrolliert um zu garantieren, dass sie auch normal auf die Bewegungsebenen stehen.

Um den Parallaxenfehler zu minimieren, wurde soweit wie möglich in die Bewegungsebene hinein gezoomt. Während der gesamten Aufnahmen wurde die Zoomeinstellung nicht verändert um eine optimale Auswertung der Videoaufnahmen möglich zu machen.

Für beide Kameras wurde die Bewegungsebene kalibriert. Für jede Kamera wurden hier 4 Kalibrierungspunkte im Raum angebracht, wie es in Abbildung 19 erkennbar ist.

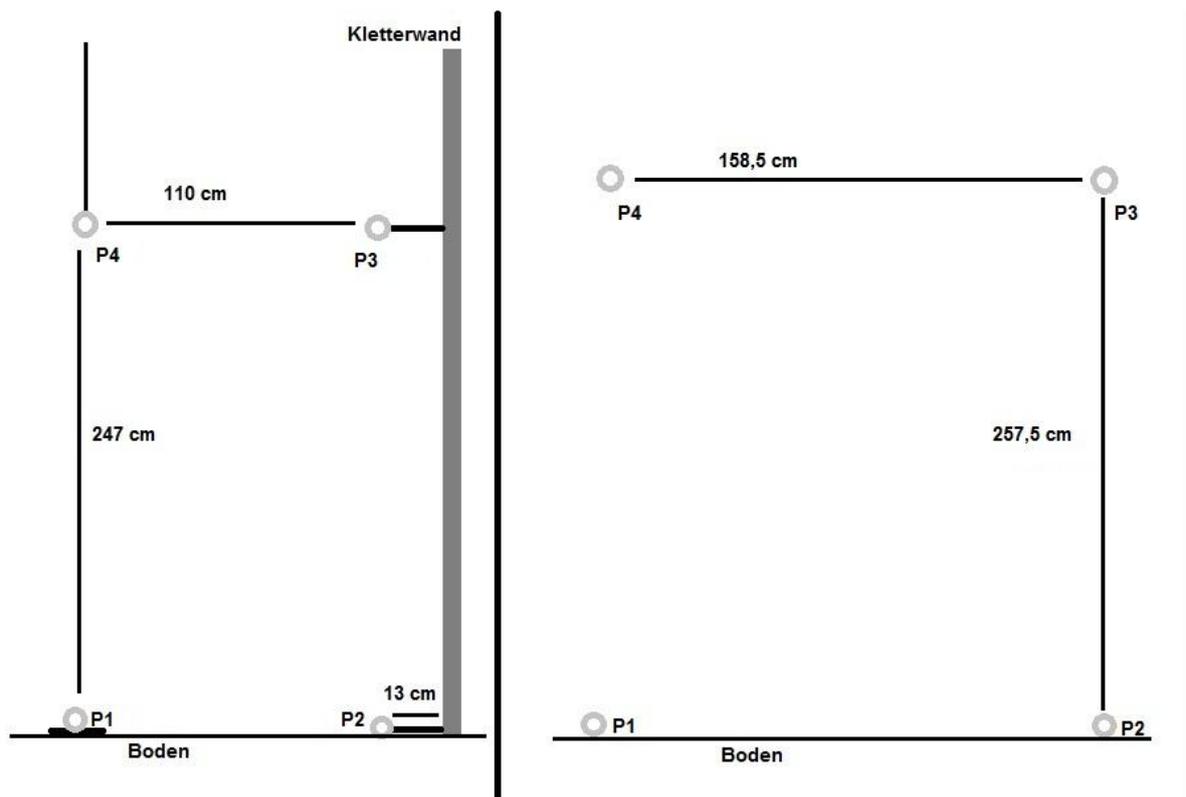


Abbildung 19: Kalibrierungsanordnung seitlich und frontal

Für eine entsprechende Ausleuchtung sorgten zwei Scheinwerfer, welche jeweils hinter den Kameras aufgestellt wurden.

¹¹ Es handelt sich um digitale Kompaktkameras mit Videofunktion von Canon. Kamera1: Canon PowerShot A620, 640 x 480 Bildpunkte; Kamera 2: Canon Digital IXUS 100 IS, 1280 x 720

Da die beiden Kameras jeweils autonom die Aufnahmen vornahmen, wurde für die Synchronisation ein einfaches Blitzlicht einer Fotokamera zu Hilfe genommen. So konnten die Videos zeitlich eindeutig zueinander in Beziehung gestellt werden.

6.3.4 Markersetup

Um in der Auswertung einen großen Bereich an Möglichkeiten zu behalten, wurde ein Markersetup für den ganzen Körper gewählt. Auf Abbildung 20 kann man, um sich ein allgemeines Bild über ein bewährtes und professionelles Markersetup zu machen, ein gängiges Modell, welches im klinischen Bereich der Ganganalyse angewandt wird, sehen. Für die folgende Studie habe ich mich an ähnlichen Modellen orientiert und diese dann optimal an meine Zielvorstellungen angepasst.

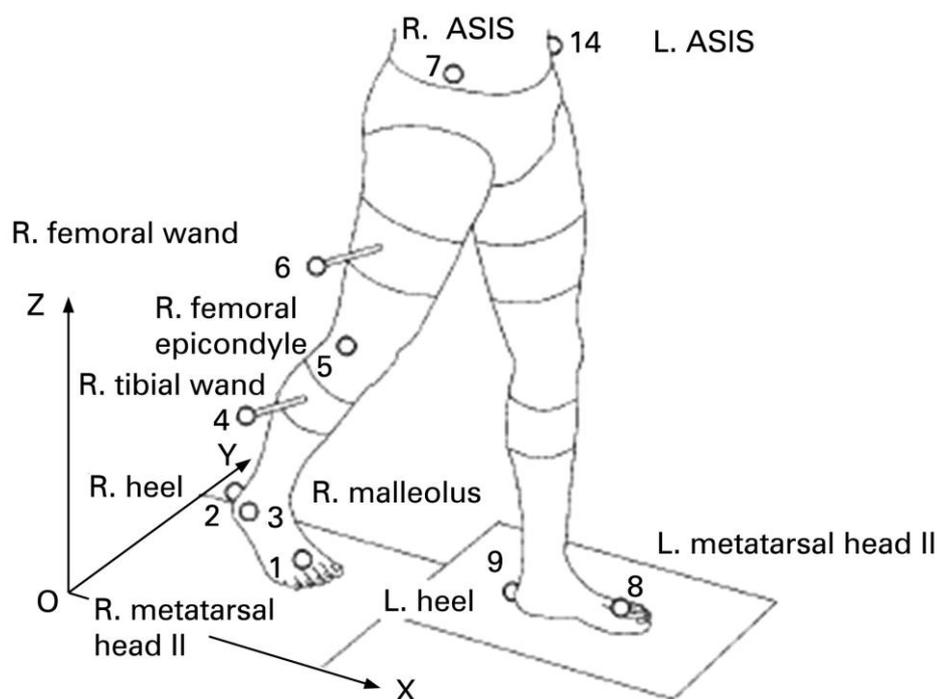


Abbildung 20: Helen Hayes Marker Modell für den Beinbereich nach Azevedo et al. (2009).

Folgende Punkte wurden innerhalb des Marker setups ausgewählt:

- Vertebra prominens
- Acromion links und rechts
- Olecranon links und rechts
- mittig auf Höhe des Processus styloideus links und rechts
- Bereich des Vertebra thoracica 12
- Spina iliaca anterior superior links und rechts

- Trochanter major links und rechts
- Condylus lateralis der Tibia links und rechts
- Malleolus lateralis der Fibula links und rechts
- Calcaneus links und rechts

Dieses Modell besteht also aus 18 Markerpunkten. Auf der Vorderseite des Körpers wurden keine Punkte angebracht, da diese nicht von den Kameras aufgezeichnet werden konnten.

Die Marker selbst waren kommerzielle Marker der Firma Vicon. Durch ihre optimal reflektierende Oberfläche sollte das automatische Tracking des Auswertungsprogrammes besser funktionieren. Auf Abbildung 21 kann man das Markersetup direkt an einem Probanden erkennen.

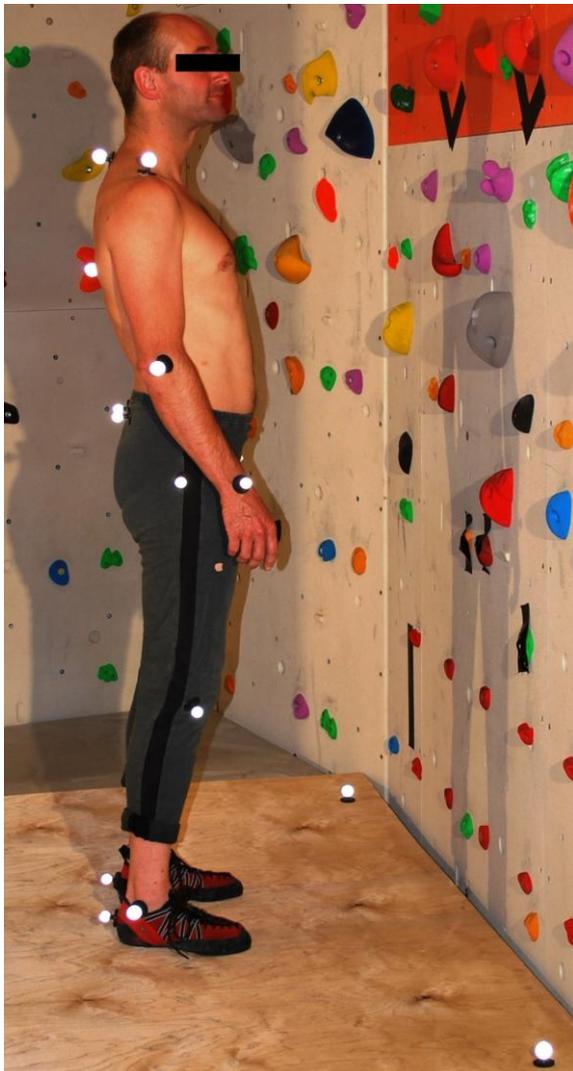


Abbildung 21: Aktuelles Markersetup der Studie

6.3.5 Ausgewählte Parameter

Buchner (2009, S.12) betont, dass selbst bei einer qualitativen Eindrucksanalyse, welche ebenfalls mittels Videobeobachtung durchgeführt werden kann, ein standardisierter Wertungskatalog für optimale Ergebnisse notwendig ist. Nur wenn die Beobachter und Beobachterinnen geschult und mit diesem Katalog vertraut sind, kann der subjektive Anteil auf ein Minimum reduziert werden.

Umso wichtiger ist es also bei dem Versuch Normwerte in der Standardbewegung herauszufinden vorher eine entsprechende Auswahl an Parametern zu treffen.

Letzelter und Letzelter (1983, S. 18) erstellte hierzu Stufen zur Bestimmung relevanter biomechanischer Beschreibungsmerkmale für eine Technikdiagnose.

- Zuerst müssen *leistungsbestimmende Merkmale* aus Trainingspraxis abgeleitet werden. Diese werden dann als hypothetische Merkmale bezeichnet.
- Hierauf werden *logische Leistungsmerkmale*, bei welchen der Einfluss auf die Leistung unmittelbar verständlich ist, herausgefiltert.
- Nach einer Studie, kommt es dann zur Untersuchung *statistische Zusammenhänge* dieser Merkmale mit der sportlichen Leistung. Sind die Merkmale statistisch relevant für die tatsächliche Leistung, so sind sie auch für eine Technikdiagnostik geeignet.

Da es sich hierbei um eine biokinematische Analyse handelt, ist man auf das Wissen biomechanischer und sportartenbasierter Hintergründe angewiesen.

Um die Parameter in eine logische Gliederung zu fassen, werden sie nach den unterschiedlichen Phasen der Kletterbewegung aufgeteilt.

Die *Vorbereitungsphase* wird von dem Zeitpunkt weg definiert, an dem keine Extremität mehr den Boden berührt bis zu dem Zeitpunkt, an dem sich der Proband zu einer Position entschließt, von welcher er aus weitergreifen möchte, also bis er die Positionen von Füßen und Händen nicht mehr verändert.

Die *Hauptphase* beginnt mit jenem Zeitpunkt, an dem das Becken nach oben beschleunigt wird und endet mit dem Erreichen des Zielgriffes.

Die *Endphase* beginnt mit dem Ende der Hauptphase und dauert bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Proband den Abschlussgriff erreicht und sich die Position der Füße nicht mehr verändert.

Jeder einzelne Parameter wurde unter der Prämisse gewählt, dass dieser in irgendeiner Form eine ökonomische und daher gute Eindrehtechnik beschreibt. In Kapitel 4.2

„Klettertechniken“ wurde unter einer Vielzahl von Bewegungstechniken im Sport auch besonders die untersuchte Bewegungstechnik des Eindrehens erläutert. In den einzelnen Tabellen wird in der letzten Spalte erklärt, wieso gerade dieser Parameter in der Eindrehtechnik wichtig ist, wie er sich auf die Bewegung auswirkt und es wird auch auf die entsprechende Seite aus dem Kapitel der Klettertechniken in dieser Arbeit verwiesen.

Da dies die erste Studie zu dieser Thematik ist, wurden die Parameter von mir als ausgebildete Instruktorin Klettern Breitensport gewählt und unter Absprache mit anderen Trainern und Trainerinnen überarbeitet.

In Tabelle 9 werden zunächst die Parameter innerhalb der Vorbereitungsphase vorgestellt.

Tabelle 9: Analyseparameter der Vorbereitungsphase

Parameter- Bezeichnung	Parameterbeschreibung	Inwiefern ist dieser Wert wichtig für die Eindrehbewegung?
Dauer der Vorbereitungsphase	Hier wird die Zeitdauer von dem Zeitpunkt an, an dem das letzte Bein den Boden verlässt, bis zu dem Zeitpunkt gemessen, an dem die Positionen der Haltehand und der Beine sich nicht mehr verändern.	Je kürzer die Vorbereitungsphase, desto geringer ist der Kraftaufwand. Es ist zu erwarten, dass fortgeschrittene Kletterer die Situation schneller erfassen. (S. 22)
Armwinkel	Gemessen wird der Winkel, welcher durch den Oberarm und den Unterarm der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase eingeschlossen wird.	Die Technik des Eindrehens verfolgt unter anderem das Ziel eines kraftsparenden Bewegungsmusters. Je gestreckter der Haltearm gehalten wird, desto weniger Kraft muss aufgewendet werden um die Bewegung durchzuführen. (S. 34)
Oberkörper – Armverhältnis	Hier wird der Winkel zwischen dem Haltearm und der Oberkörperachse am Ende der Vorbereitungsphase aus den Aufnahmen herausgelesen.	Dieser Winkel wird vor allem durch die Wahl der Tritte und die Position des Beckens beeinflusst. Der Winkel wird umso kleiner, je weiter die Tritte vor der Haltehand

		<p>liegen und je näher das Becken in Richtung Haltehand geschoben wird und umso größer, je weiter die Tritte hinter der Haltehand liegen und je weiter das Becken von der Haltehand entfernt positioniert wird. Bei einer optimalen Trittwahl und Körperpositionierung, wie sie in dieser Klettertechnik empfohlen ist, ist der Winkel geringer, als bei einer fehlerhaften Ausführung. (S. 33)</p>
<p>Oberkörper Beinverhältnis</p>	<p>– Hier wird der Winkel zwischen dem Oberkörper und dem Oberschenkel des Spielbeines am Ende der Vorbereitungsphase aus den Aufnahmen herausgelesen.</p>	<p>Auch dieser Winkel ist von der Wahl der Tritte abhängig. Ist der Fuß sehr weiter vorne gesetzt, so kann er nicht mehr belastet werden und dient nur der Stabilisation, der Winkel wird hierbei kleiner. Wird der Fuß belastet wird automatisch auch der Winkel größer. (S. 33)</p>
<p>Beckenposition Wand</p>	<p>– Gefragt ist der Wert, der die Entfernung des Beckens von der Wand am Ende der Vorbereitungsphase bestimmt. Achtung: Dieser Wert kann nur beim Zug nach rechts ausgewertet werden!</p>	<p>Durch das Eindrehen wird das Becken und damit der KSP näher an die Wand gebracht. Je näher sich der KSP an der Wand befindet, desto geringer wird die Abzugskraft und damit auch der Kraftaufwand beim Halten eines Griffes. (S. 34)</p>

<p>Beckenposition – Haltehand</p>	<p>Die Position des Beckens in Bezug auf die Haltehand wird hierfür am Ende der Vorbereitungsphase ausgemessen.</p>	<p>In der Endposition der Vorbereitungsphase sollte das Becken schon relativ nah am Lot der Haltehand positioniert sein. So wird die anschließende Hubarbeit aus den Beinen verringert. (S. 34)</p>
<p>Spielbeinwinkel</p>	<p>Gemessen wird der Winkel, welcher durch den Oberschenkel und den Unterschenkel des Spielbeines am Ende der Vorbereitungsphase eingeschlossen wird.</p>	<p>Wird das Bein zu hoch gesetzt, so ist es auch stärker abgewinkelt und der Spielbeinwinkel wird kleiner. (S. 33)</p>
<p>Fersenposition</p>	<p>Gefragt ist der Wert, der die Entfernung der Ferse von der Wand am Ende der Vorbereitungsphase bestimmt. Achtung: Dieser Wert kann nur beim Zug nach rechts ausgewertet werden!</p>	<p>Optimaler weise sollten beim Eindrehen alle Körpersegmente mit gedreht werden, also auch die Fersen. (S. 33)</p>
<p>Fußposition</p>	<p>Hier wird der Abstand der Ferse des Standbeines zur Falllinie der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase gemessen.</p>	<p>Der Fuß des Standbeines sollte in etwas in der Falllinie der Haltehand liegen. Ist dieser Wert sehr hoch, so wird die Technik nicht optimal umgesetzt, wobei ein Ausweichen nach vorne in Richtung Spielbein noch eher in Ordnung ist. (S. 33)</p>
<p>Trittwechsel</p>	<p>Gezählt wird hierbei die Anzahl der Trittwechsel von der ersten Wandberührung bis sich der Proband zu einer Position entschließt, von welcher aus er weitergreift.</p>	<p>Gute Kletterer können Bewegungssituationen sehr gut einschätzen und brauchen erfahrungsgemäß weniger Trittwechsel, bevor sie sich für eine Position</p>

		entscheiden. Der Minimalwert kann 2 betragen. (S. 22)
--	--	---

Die Vorbereitungsphase ist für eine gute Technik die wichtigste Phase aller drei Bewegungsphasen. Sie bildet die Basis für die darauf folgende Zielbewegung und ist für das Endergebnis der Bewegung ausschlaggebend. Aus diesem Grund ist in diesem Abschnitt der Bewegung das größte Potential in einer Bearbeitung, aber auch im Techniktraining selbst.



Abbildung 22: Parameter

Auf Abbildung 22 sind einige ausgewählte Parameter eingezeichnet. Bei Nummer eins handelt es sich um den Armwinkel, Nummer zwei beschreibt das Verhältnis des Oberkörpers zu den Beinen über den eingeschlossenen Winkel, Nummer drei ist der Abstand des

Beckens zur Wand, Nummer vier gibt die Position des Beckens im Vergleich zur Haltehand an, Nummer fünf den Winkel zwischen Oberschenkel und Unterschenkel des Spielbeines, Nummer sechs die Position des Standbeines im Bezug auf die Haltehand, Nummer sieben gibt den Fersenabstand zur Wand an und Nummer acht den Abstand des Beckens zur Haltehand.

Tabelle 10 beschreibt die Analyseparameter während der Hauptphase.

Tabelle 10: Analyseparameter der Hauptphase

Parameter- Bezeichnung	Parameterbeschreibung	Inwiefern ist dieser Wert wichtig für die Eindrehbewegung?
Dauer der Hauptphase	Hier wird die Zeitdauer vom Beginn der Beckenbeschleunigung in Richtung Zielgriff bis zur Berührung des Zielgriffes mit der Greifhand gemessen.	Je kürzer die Hauptphase, desto geringer ist der Kraftaufwand. Es ist zu erwarten, dass fortgeschrittene Kletterer schneller arbeiten. (S. 22)
Armwinkel	Gemessen wird der Winkel, welcher durch den Oberarm und den Unterarm der Haltehand am Ende der Hauptphase eingeschlossen wird.	Je gestreckter der Haltearm auch während der Hauptphase gehalten wird, desto weniger Kraft muss aufgewendet werden um die Bewegung durchzuführen. (S. 34)
Beschleunigung der weitergreifenden Hand	Der höchste gemessene Wert der Beschleunigung der Greifhand wird hier zur weiteren Auswertung herausgelesen.	Nicht nur wie lange die Phase an sich dauert, nein, auch wie schnell der Proband die Greifbewegung durchführt ist bedeutend. Je kürzer die Phase, in der nur eine Hand halten muss, desto besser. Ist die Beschleunigung hoch, so versucht der Kletterer diesen Zeitraum kurz zu halten. (S. 34, 35)

Beschleunigung des KSP	Der höchste gemessene Wert der Beschleunigung des KSP wird hier zur weiteren Auswertung herausgelesen.	Durch einen hohen Beschleunigungswert des Beckens und damit des KSP kann darauf geschlossen werden, dass der Hub speziell auch aus den Beinen durchgeführt wird. (S. 34)
Becken – Haltehand	Gemessen wird der Abstand der Beckenmarker zur Haltehand zum Zeitpunkt des Weitergreifens, wenn die Greifhand den Ausgangsgriff verlässt.	Je höher das Becken mit Hilfe der Beine nach oben in Richtung Greifhand vor dem eigentlichen Weitergreifen gebracht wird, desto geringer ist der Kraftaufwand in der Haltehand. (S. 34)
Beckenposition – Wand	Gefragt ist der Wert, der die Entfernung des Beckens von der Wand am Ende der Hauptphase bestimmt. Achtung: Dieser Wert kann nur beim Zug nach rechts ausgewertet werden!	Durch das Eindrehen wird das Becken und damit der KSP näher an die Wand gebracht. Je näher sich der Schwerpunkt an der Wand befindet, desto geringer wird die Abzugskraft und damit auch der Kraftaufwand beim Halten eines Griffes. (S. 34)

In der Hauptphase wird das Bewegungsziel erreicht, das Halten eines Zielgriffes. Meist ist die Zeitspanne dieser Phase wesentlich kürzer und Fehler entwickeln sich aus der Vorbereitungsphase.

Schließlich werden in Tabelle 11 die Parameter der Endphase vorgestellt.

Tabelle 11: Analyseparameter der Endphase

Parameter- Bezeichnung	Parameterbeschreibung	Inwiefern ist dieser Wert wichtig für die Eindrehbewegung?
Dauer der Endphase	Hier wird die Zeitdauer vom Erreichen des Zielgriffes bis zum Halten des Endgriffes gemessen.	Auch hier ist eine möglichst kurze Zeitspanne am besten, denn erst wenn der Endgriff gehalten und voll belastet wird ist das Gewicht auf alle 4 Extremitäten aufgeteilt. (S. 22)
Trittwechsel	Gezählt wird hierbei die Anzahl der Trittwechsel von der ersten Wandberührung bis sich der Proband zu einer Endposition entschließt.	Analog zur Dauer der Endphase ist eine geringere Anzahl an Trittwechseln besser, da so schon früh das Gewicht auf die beiden Beine übertragen werden kann. (S. 22)

Die Endphase geht in einer Abfolge von Zügen fließend in die Vorbereitungsphase des nächsten Zuges über und ist daher in der Auswertung der Gesamtbewegung am wenigsten von Bedeutung.

Neben diesen rein quantitativen Parametern wurden auch einige weitere qualitative Parameter hinzugefügt, wie sie in Tabelle 12 beschrieben werden. Die Grundsätze dieser Parameter liegen in den auf Seite 22 beschriebenen Fehlern in der Lernphase der Grobkoordination.

Tabelle 12: Qualitative Analyseparameter

Parameter- Bezeichnung	Parameterbeschreibung	Inwiefern ist dieser Wert wichtig für die Eindrehbewegung?
Eindrehbewegung	Proband führt die Bewegungsaufgabe als eingedrehte Bewegung aus.	Da sich die Probanden aus fortgeschrittenen Kletterern und Anfängern

		zusammensetzen ist nicht vorauszusehen, ob die Bewegungsaufgabe überhaupt als solches erfüllt wurde bzw. eine fehlerhafte Bewegungsausführung zu sehen war.
Bewegungsfluss	Die Bewegung wird fließend oder eher stockend durchgeführt.	Bewertet wird hier auf einer Skala von 1-5, wobei 1 stark stockend und 5 ausgeprägt fließend bedeutet. Je fließender die Bewegung durchgeführt wird, desto eher ist der Proband mit dem Bewegungsmuster auch vertraut.
Bewegungspräzision	Proband steigt mit der Zehenspitze auf den Tritt.	Fortgeschrittene Kletterer steigen eher gezielt mit der Spitze auf einen Tritte, während Anfänger dazu neigen mit dem Fußballen zu steigen.

Zusätzlich zu diesen Werten, welche aus den Aufnahmen herausgelesen wurden, wurden auch noch Werte aus dem vor der Aufnahme ausgefüllten Datenblatt für die Auswertungen herangezogen.

6.4 Durchführung der Studie

Der Aufnahmeort war schon lange vor der eigentlichen Studie fixiert. Daher war vor den eigentlichen Aufnahmen insbesondere die Suche von geeigneten Probanden notwendig.

6.4.1 ProbandInnensuche

Erster Schritt der ProbandInnensuche war die Eingrenzung der ProbandInnen auf eine Gruppe, in welcher man sinnvolle Vergleiche ziehen kann.

Als Voraussetzungen für die Teilnahme an der Studie wurden daher folgende Parameter fixiert.

- männliche Probanden
- Größe 172 – 188cm
- annähernd normalgewichtig (BMI zwischen 18 und 25)
- jegliche Könnensstufe
- Alter 15 – 60 Jahre

Männer und Frauen haben im Allgemeinen eine unterschiedliche Anthropometrie, welche einen Vergleich zwischen den Geschlechtern als nicht sinnvoll erscheinen lässt. Allgemein sagt man Frauen außerdem nach, dass sie technisch schöner Klettern. Die Unterschiede zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen lassen sich auf Grund dieser Tatsache daher besser bei Männern aufdecken. Auch über die Einschränkung der Größe und der unteren Altersgrenze lassen sich Technikunterschiede, welche auf Grund der Anthropometrie zustande kommen, verringern. Die obere Altersgrenze bezieht sich auf den Abbau der Kraft der oberen Extremität, was den Vergleich zwischen den männlichen Individuen wiederum erschweren würde.

Die Einschränkung des Gewichtes wurde mehr aus dem praktischen Grund heraus getroffen, dass die Markerpunkte optimal gesetzt werden können.

Um Probanden für die Studie zu gewinnen, wurden die KursleiterInnen von 11 unterschiedlichen Kursen des Universitätssportinstitut Wien angeschrieben und gebeten ein Informationsblatt, welches sich im Anhang befindet, an ihre Teilnehmer weiterzuleiten. Weiters wurden die Kursteilnehmer persönlich durch mich in den Kursen darauf angesprochen.

Zusätzlich wurde über soziale Netzwerke im Internet ein Aufruf zur Probandensuche gestartet und Informationszettel im Kletterzentrum Südwand ausgelegt.

Ursprünglich meldeten sich 23 Interessierte, wovon 17 auch wirklich zu den Aufnahmen erschienen.

6.4.2 Aufnahmen

Die Aufnahmen für die Studie fanden an drei aufeinanderfolgenden Tagen im Juni des Jahres 2010 statt. Um den Probanden entgegen zu kommen, wurden sowohl Vormittags-, wie auch Nachmittagstermine angeboten.

Mit allen Probanden wurde vor den Aufnahmen ein kurzes, einheitliches Aufwärmprogramm durchgeführt. Ihnen allen war das Informationsblatt bekannt, ansonsten erhielten sie keine weiteren Informationen.

Nach dem Aufwärmen wurden sie mit den Markern beklebt, wobei ich auf Grund meiner langen Arbeit in einem BewegungsanalySELabor sehr viel Erfahrung in diesem Vorgang hatte.

Für die Aufnahmen wurden sie dann in den vorgesehenen Boulderraum gebracht. Direkt davor erhielten sie die Information, welche der Griffe die Startgriffe seien und welche die Zielgriffe. Sie wurden gebeten mit etwa einem Meter Abstand vor der Wand gerade zu stehen und dann auf Kommando die Bewegungssituation einmal nach links und einmal nach rechts aufzulösen.

6.4.3 Probleme im Rahmen der Aufnahmen

Das größte Problem, welches sich im Rahmen der Aufnahmen stellte, war der Ort.

Auf Grund der fehlenden Systemwand musste auf die Aufnahme in einer zweiten Neigung verzichtet werden. Da Eindrehen eine Technik ist, die vor allem im geneigten Gelände zur Anwendung kommt war dies sicherlich das schwerwiegendste Problem.

Der Ortswechsel war leider keine Option, da einerseits die finanziellen Möglichkeiten hierzu fehlten und andererseits viele der Probanden nur aus dem Grund bei der Studie mitmachten, um gratis ein Tagesticket für die gerade erst eröffnete Halle zu bekommen.

Auch die Möglichkeiten der Kamerapositionierung waren eher bescheiden. Wie auf dem weiter vorne in der Arbeit abgebildeten Plan ersichtlich, waren die Boulderräume nur sehr klein und ließen kaum Platz um die Kameras mit genügend Entfernung zur Bewegungsebene aufzustellen.

Auch das Finden von geeigneten Probanden entpuppte sich als relativ schwierig. Gute Kletterer haben „ihre“ Trainingsorte und sind meist nicht mit einem Gratisticket in eine andere Kletterhalle zu locken. Insofern war der Zeitpunkt der Studie direkt bei der Eröffnung der

Halle schlecht gewählt. Ein Jahr später wären auch im Kletterzentrum Südwand häufig sehr gute Kletterer anzutreffen gewesen. Ein weiterer auffälliger Punkt in der Probandensuche war die Jahreszeit. Viele Studenten mussten sich entschuldigen und die Teilnahme zurückziehen, da sie noch für ausstehende Prüfungen lernen mussten, oder sie waren bereits auf Urlaub.

Auch eine Änderung der Aufnahmezeiten war nicht möglich, da die Halle schon lange im Vorhinein reserviert war und ich nur wenige Wochen später meinen Auslandsaufenthalt in den USA antrat.

Alles in allem versuchte ich jedoch mit der Ausrüstung, dem Ort und den Probanden, welche mir zur Verfügung standen das Bestmögliche aus der Arbeit herauszuholen.

6.5 Auswertung der Daten

Die Daten wurden in zwei Schritten ausgewertet. Zuerst wurden die Videos auf den Computer übertragen und mit Hilfe des Programmes Simi Motion die relevanten Parameter herausgelesen. Diese Werte wurden dann mit Hilfe von SPSS¹² weiter verarbeitet, um sie auf signifikante statistische Aussagen hin zu überprüfen.

¹² Statistical Package for the Social Sciences

6.5.1 Simi Motion



Abbildung 23: Getracktes Videobild am Ender der Hauptphase (Simi Motion)

Mit Hilfe von Simi Motion wurden die Parameter zur Untersuchung der Eindrehbewegung, welche im Vorfeld festgelegt wurden, herausgearbeitet.

Der erste Schritt hierbei ist das Tracking, also die Verfolgung der einzelnen Punkte, wie man es in Abbildung 23 erkennen kann. Da sich die automatische Markerverfolgung nicht durchführen ließ, wurden die Punkte zu den entsprechenden Zeitpunkten per Hand durchmarkiert. Die Punkte an Becken und den Händen mussten über längere Zeiträume, meist über die komplette Hauptphase der Bewegung hinweg, markiert werden, um deren Beschleunigung zu eruieren. Die anderen Punkte wurden nur an den Phasenübergängen über 3 Frames hinweg markiert

Abbildung 24 zeigt das Arbeitsfenster am Computer während des Trackings.

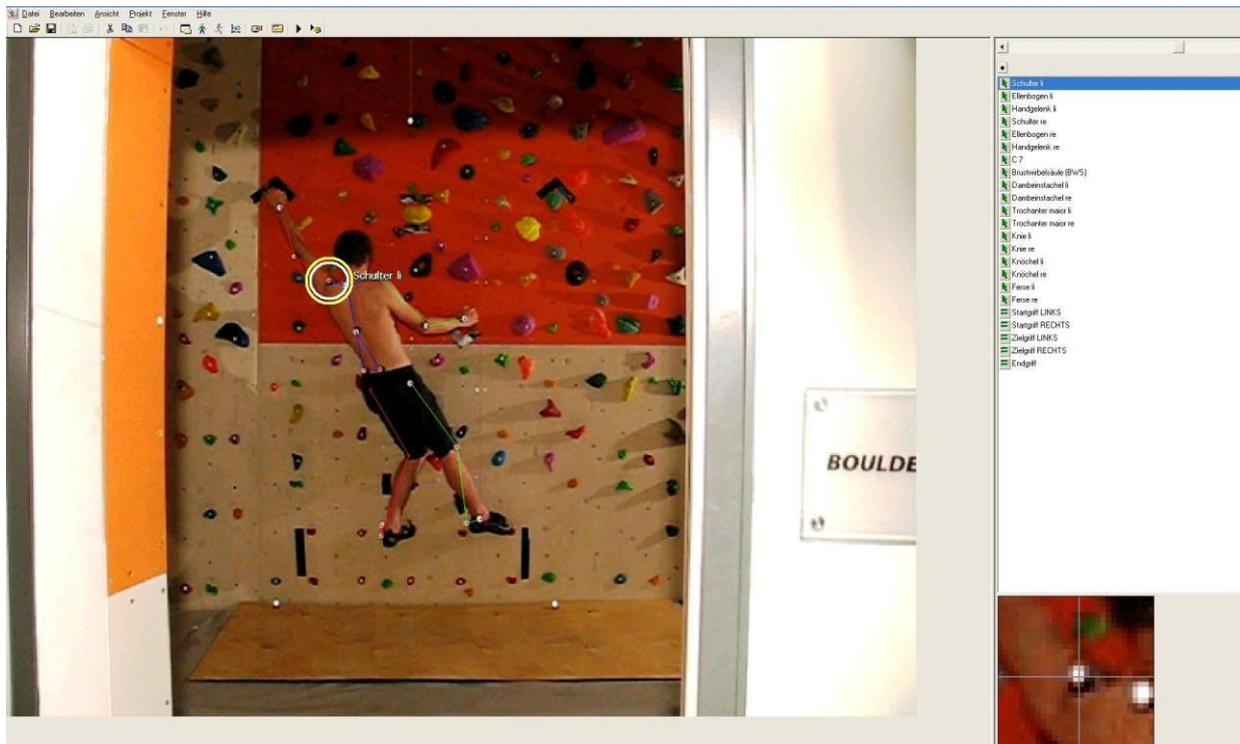


Abbildung 24: Erfassung der Marker (Simi Motion)

Im Anschluss an das Tracking der Marker wurden die Werte der einzelnen Parameter auf unterschiedliche Art und Weise aus den bearbeiteten Videodaten eruiert.

Die Zeitdauern der einzelnen Phasen wurden nach Bestimmung der Phasenübergänge einzeln ausgelesen.

Die Winkel wurden über eine zuvor programmierte Berechnungsvorlage ermittelt und mussten in der Auswertung nur noch zu den betreffenden Zeitpunkten an den entsprechenden Kurven ausgelesen werden. Abbildung 25 zeigt einen der ausgewerteten Winkelverläufe.

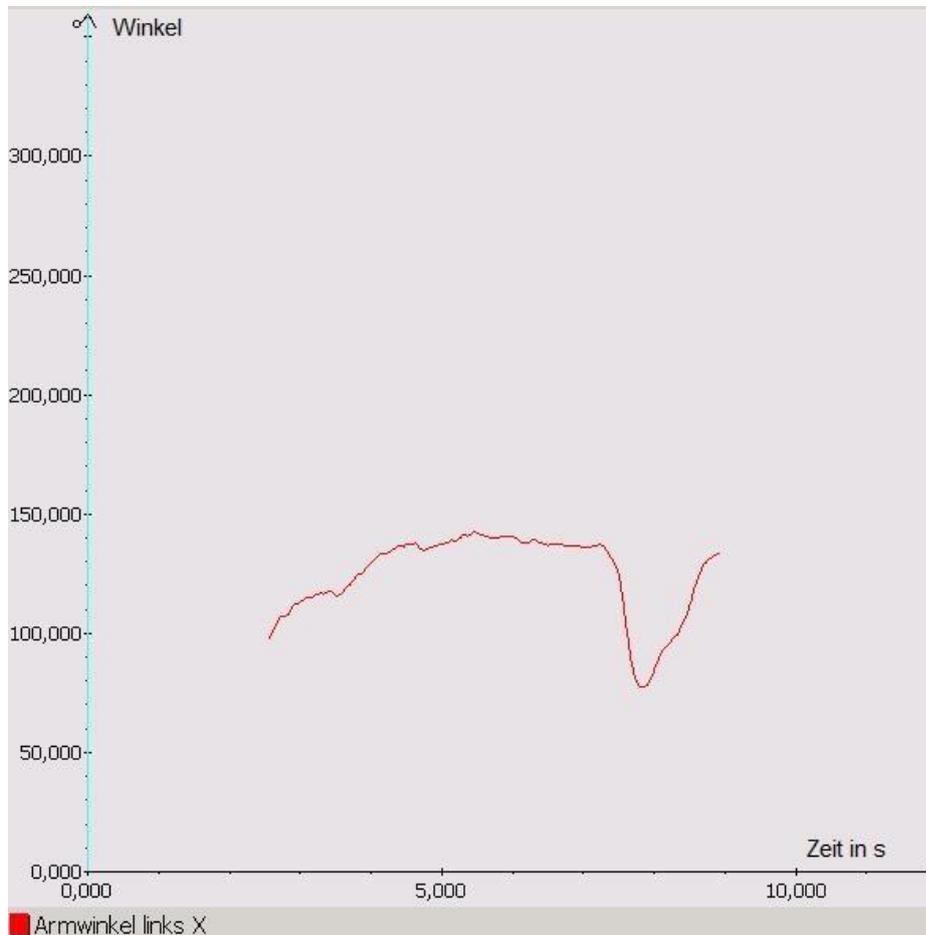


Abbildung 25: Winkelverlauf des linken Armes

Am getrackten Videobild sind die unterschiedlichen Winkel, wie der Armwinkel der Haltehand, der Spielbeinwinkel, der Winkel zwischen Oberkörper und Spielbein und der Winkel zwischen Oberkörper und Haltearm wie auf Abbildung 26 zu sehen.

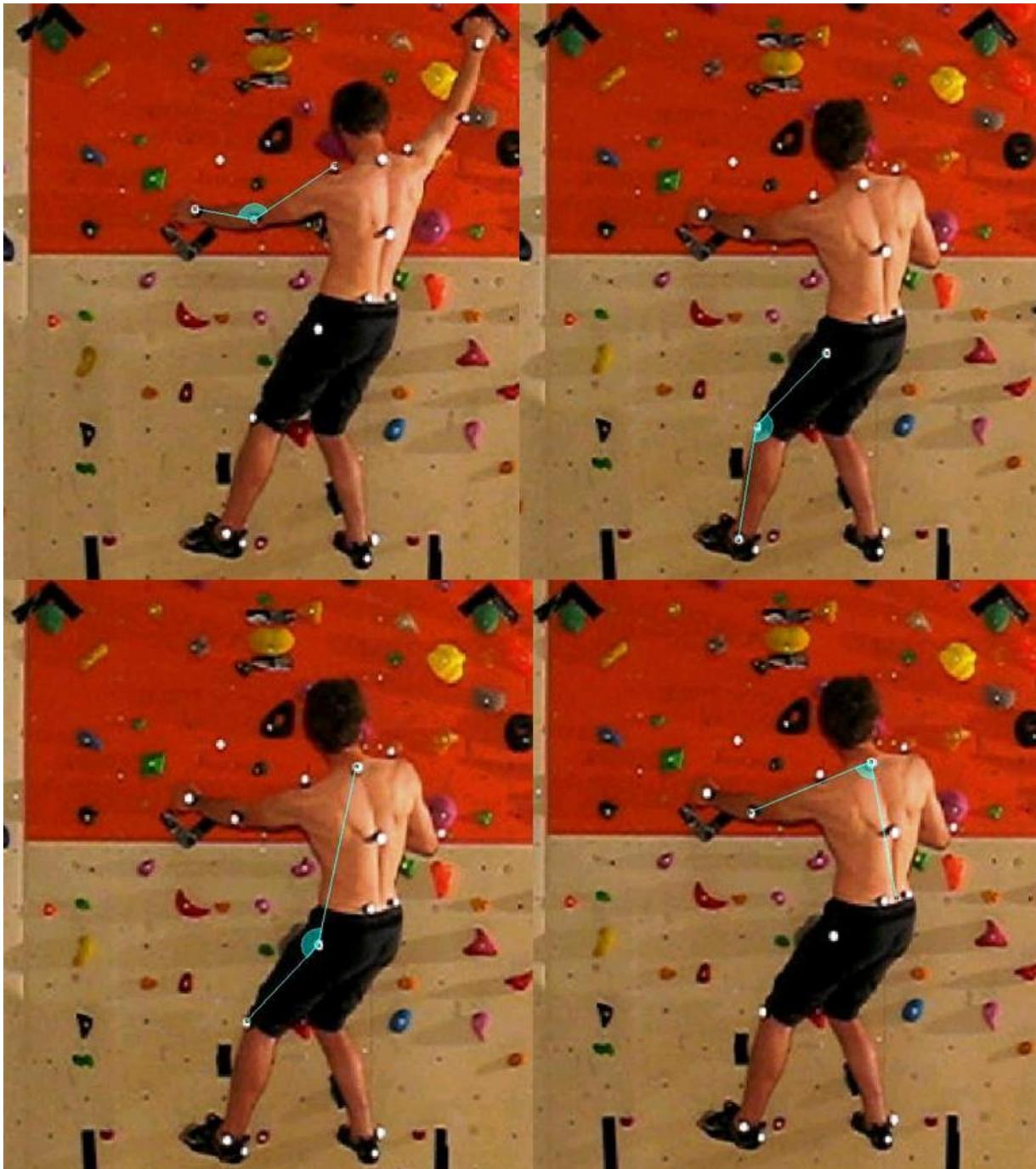


Abbildung 26: Winkel (Simi Motion)

Gewisse andere Werte konnten nicht direkt über Berechnungsvorlagen ausgewertet werden und wurden daher durch die Möglichkeit einer Standbildvermessung erhoben, wie es in Abbildung 27 zu sehen ist.



Abbildung 27: Abstandsvermessungen im Verhältnis zur Haltehand (Simi Motion)

Die Beckenposition, sowie auch die Fußposition im Vergleich zur Haltehand wurden über die Funktion der horizontalen Abstandsvermessung auf Abbildung 28 erhoben.

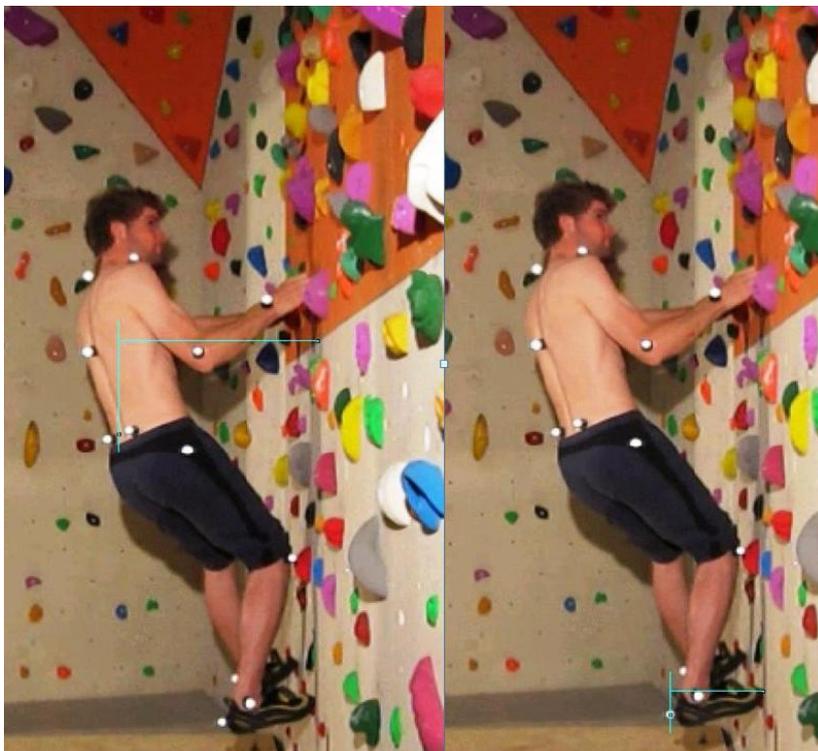


Abbildung 28: Abstandsvermessung zur Wand (Simi Motion)

Auch der Abstand des Beckens und der Ferse zur Wand wurden über die Funktion der horizontalen Abstandsvermessung berechnet.

Die Beschleunigung der weitergreifenden Hand konnte direkt aus dem entsprechenden Diagramm der Punktebeschleunigung ausgelesen werden.

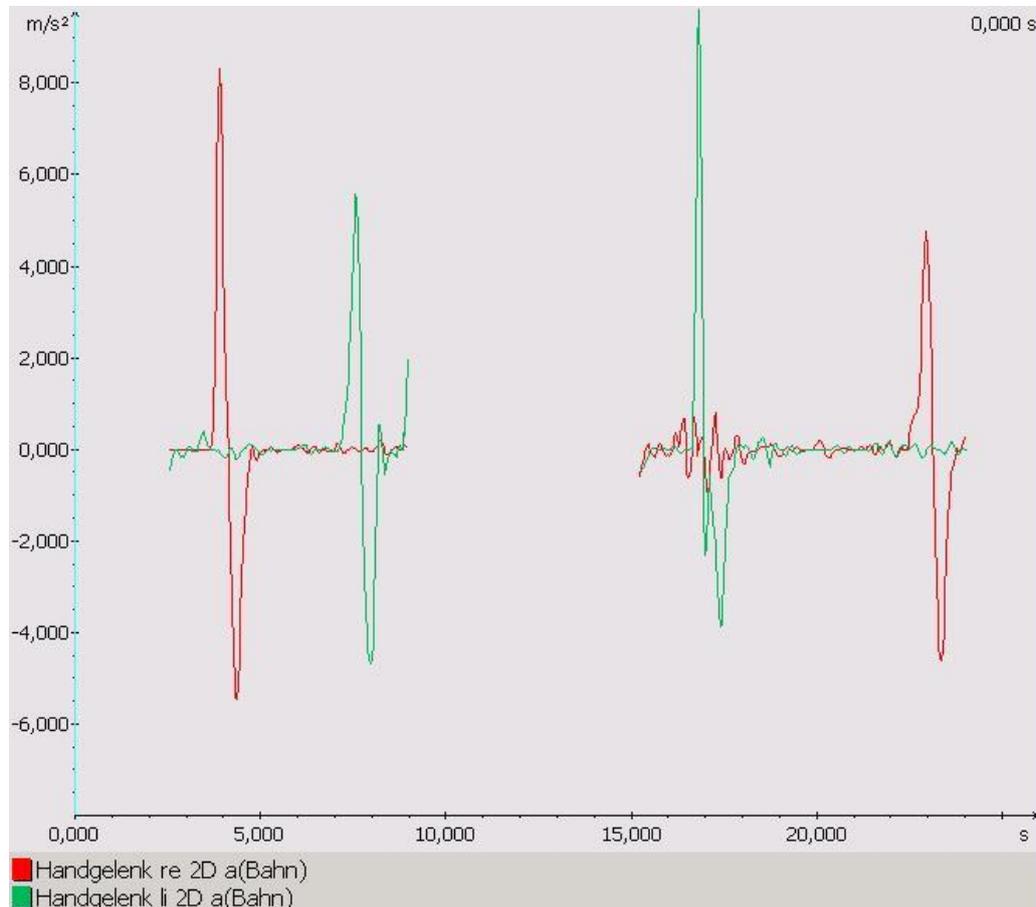


Abbildung 29: Beschleunigung der Hände über deren Handgelenksmarker (Simi Motion)

Auf diesem Diagramm (Abbildung 29) sieht man deutlich, zu welchem Zeitpunkt die linke, wie auch die rechte Hand, zu ihrem entsprechenden Ziel greift.

Für die Beschleunigung des KSP wurde zuerst über die Funktion der KSP-Berechnung ein virtueller Punkt zwischen den beiden Beckenmarkern ermittelt. Dieser Punkt steht stellvertretend für den KSP, da die Beckenmarker für sich genommen auf Grund ihrer Auslenkung von der Körpermitte zu wenig Aussagekraft hätten. Dieser Punkt halbiert die Strecke der beiden Beckenmarker, ist aber nicht der exakte KSP. Aus dem Diagramm für diesen virtuellen KSP, welcher auf Abbildung 30 zu sehen ist, konnte wiederum dessen Beschleunigung zu den gefragten Zeitpunkten herausgelesen werden.

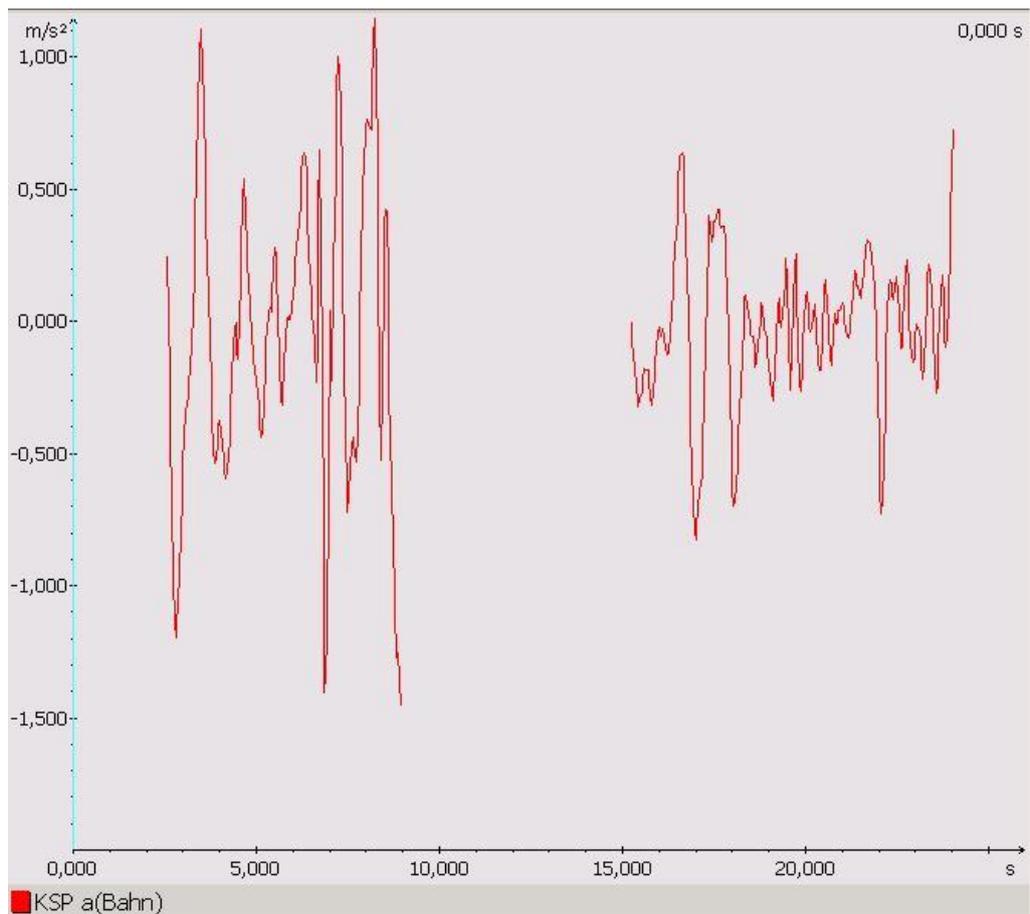


Abbildung 30: Beschleunigung KSP (Simi Motion)

Legt man die Beschleunigungen der beiden Beckenmarker und des virtuellen KSP übereinander, wird auf Abbildung 31 deutlich, dass dieser eben aus den Beckenmarkern berechnet wurde.

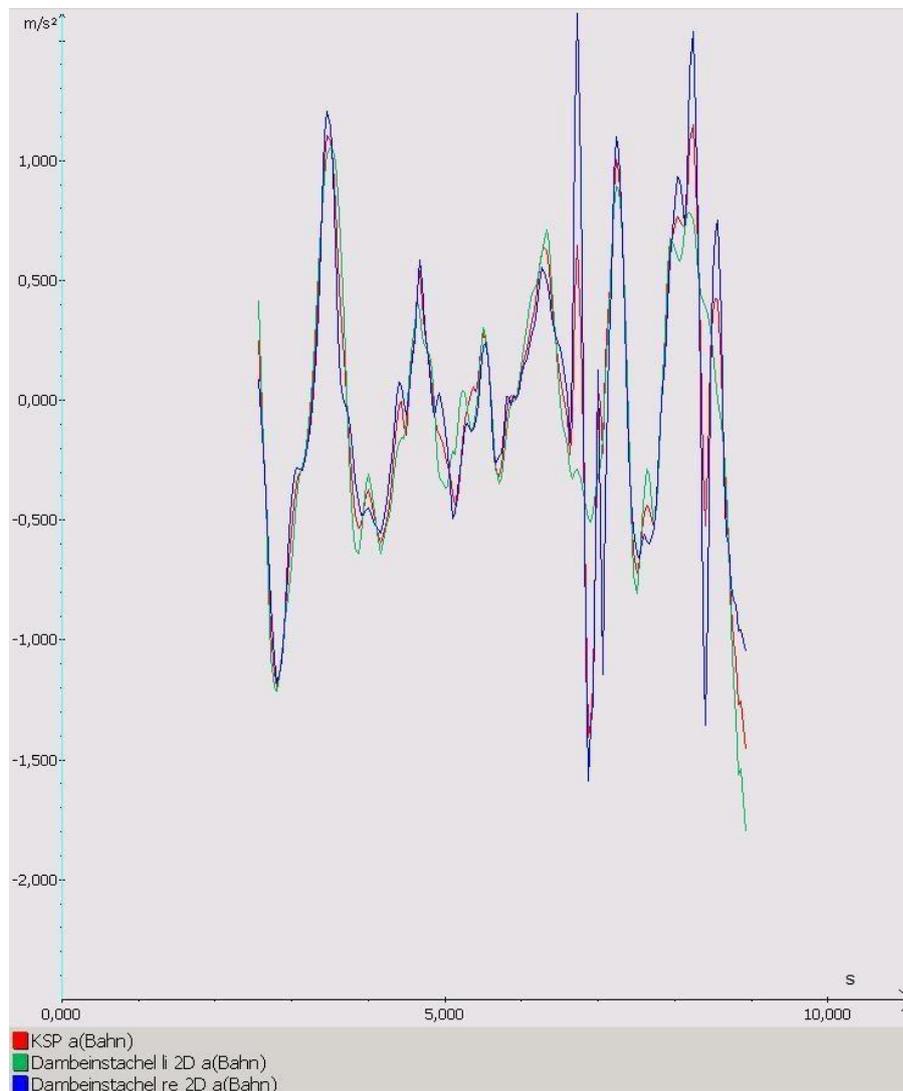


Abbildung 31: Beschleunigung KSP + Becken (Simi Motion)

Neben den gängigen Diagrammen bietet das Programm auch andere Möglichkeiten die Bewegung der einzelnen Punkte zu visualisieren.

Über die Punkteüberlagerung lässt sich der Weg unterschiedlicher Punkte gut darstellen und erhöht so das Verständnis über den Beschleunigungsvorgang, wie man es auf Abbildung 32 und 33 deutliche erkennen kann.

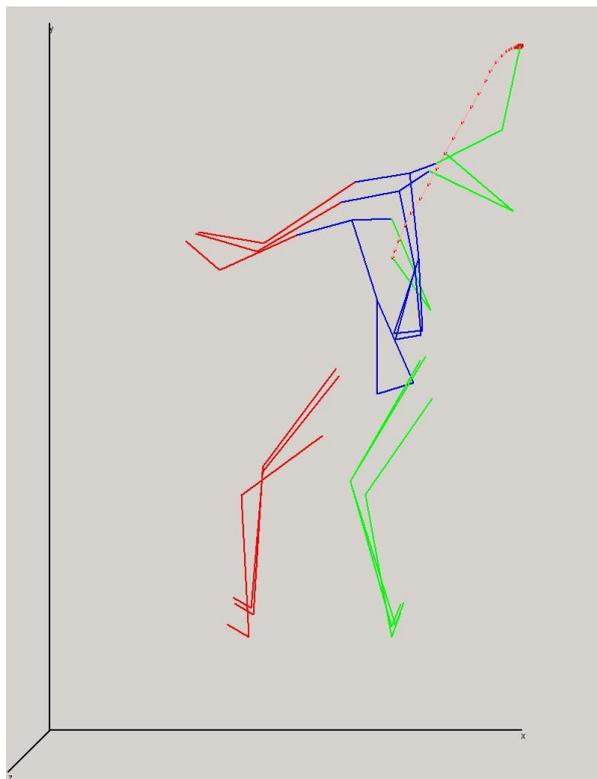


Abbildung 32: Weg des rechten Handgelenksmarkers im Verlauf der Hauptphase (Simi Motion)

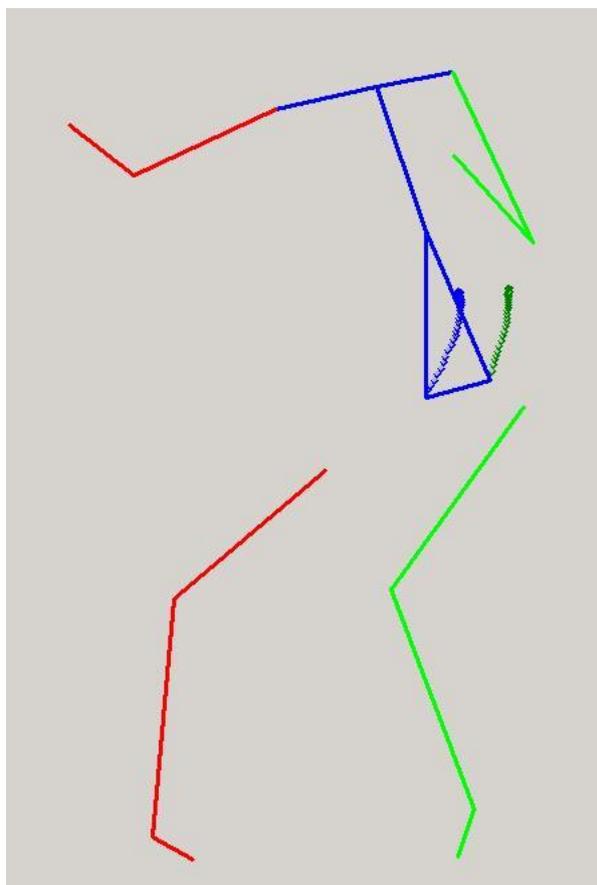


Abbildung 33: Weg der Beckenmarker im Verlauf der Hauptphase (Simi Motion)

Neben den angewendeten Auswertungs- und Darstellungsmöglichkeiten gibt es innerhalb des verwendeten Programmes und auch anderer ähnlicher Programme noch eine Vielzahl von Möglichkeiten, welche jedoch für diese Arbeit nicht relevant waren.

6.5.2 Möglichkeiten der Präsentation der ausgewerteten Videoaufnahmen

Unter anderem war es Ziel dieser Arbeit eine geeignete Stroboskop-Bildreihe zu erstellen, welche in weiterer Folge in der Lehre für zukünftige Sportkletterinstruktoren und Instructorinnen eingesetzt werden kann.

Auch dieses Ziel konnte mit Hilfe des Programmes Simi Motion realisiert werden.

Über eine zeitversetzte Schattenüberlagerung eines komplett durchgetrackten Videos, bei der immer der 15. Frame abgebildet wurde, konnte eine anschauliche Grafik, Abbildung 34 und 35, erstellt werden.

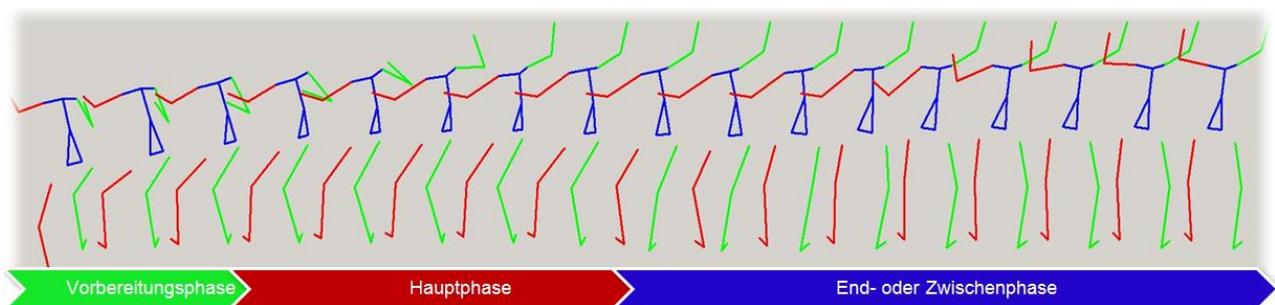


Abbildung 34: Darstellung der Bewegungsphasen beim Eindrehzug nach rechts

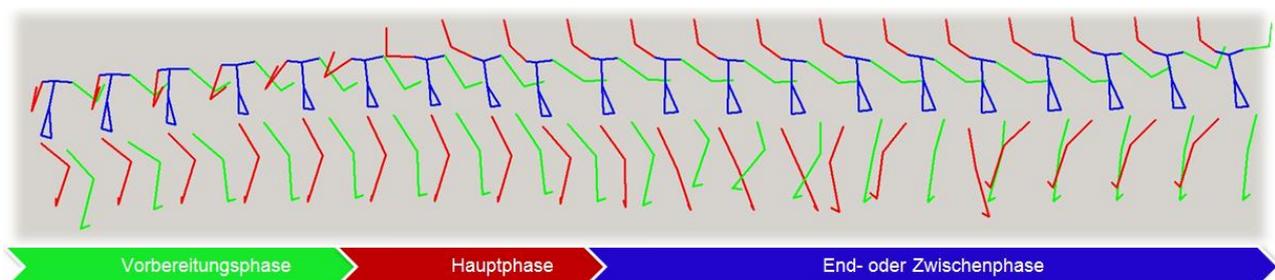


Abbildung 35: Darstellung der Bewegungsphasen beim Eindrehzug nach links

Mit Hilfe dieser abstrakten Darstellung wird die Anwendung der Biomechanik und Bewegungsanalyse im Bereich Sportklettern ausgezeichnet visualisiert.

6.5.3 Probleme im Rahmen der Videoauswertung

Bereits im Anfangsstadium der Auswertung stellte sich heraus, dass das automatische Tracking nicht so, wie erhofft, möglich war.

Die Ursache dieses Problems lag an den verwendeten Kameras beziehungsweise an den verwendeten Komprimierungsalgorithmen, welche durch den Kamerahersteller zum Einsatz kamen.

Durch die Komprimierung des Videomaterials kam es im Bereich der Marker zu einer Artefaktbildung, wie sie auf Abbildung 36 zu sehen ist. Diese machte das automatische Tracking fast unmöglich. Speziell dann, wenn die Probanden über mehrere Sekunden die Position nicht veränderten, konnte das Programm den Marker nicht mehr erkennen.

Dies führte zu einem wesentlich erhöhten Arbeitsaufwand und machte die Auswertung der Daten weitaus aufwändiger.

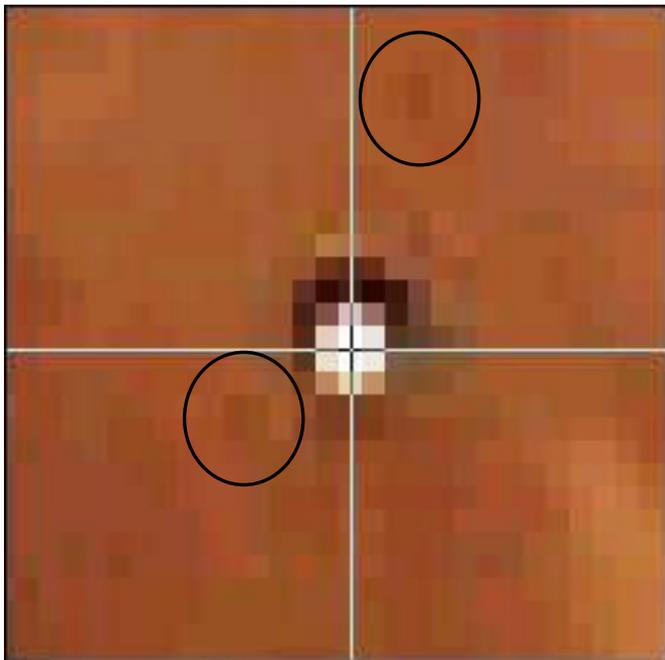


Abbildung 36: Artefaktbildung (Simi Motion)

Eine hochwertigere Kamera hätte diese Probleme weitestgehend verhindern können, war jedoch leider zum Zeitpunkt der Studie nicht verfügbar.

6.5.4 Statistische Analyse

Auf Grund der aufgetretenen Probleme im Laufe der Studie, welche durch den suboptimalen Aufnahmeort hervorgerufen wurden, war von vornherein klar, dass die Ergebnisse mit äußerster Vorsicht für eine allgemeine Bewertung der Eindrehbewegung heranzuziehen

wären. Trotzdem war es möglich, aus den vorliegenden Daten, neue Erkenntnisse zu gewinnen.

- Allgemeine Werte

Die allgemeinen Werte wurden mit Hilfe des von den Probanden ausgefüllten Fragebogens erhoben.

Tabelle 13: Allgemeine Werte

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Alter der Probanden in Jahren	17	17	45	27,35	7,500
Gewicht der Probanden in kg	17	62	85	70,65	7,607
Größe der Probanden in m	17	1,71	1,91	1,7765	,05135
Armspannweite der Probanden in m	17	1,69	1,91	1,8012	,05988
Ape-Index als Verhältnis der Körpergröße zur Armspannweite	17	,98	1,05	1,0139	,01942
Rotpunktniveau UIAA	17	4,0	9,5	6,882	1,4310
Kletterdauer in Jahren	17	,1	27,0	7,594	7,0005

Speziell beim Alter, wie auch beim Gewicht und der Kletterdauer ist, wie anhand von Tabelle 13 zu erkennen, eine große Standardabweichung zu beobachten, während die Größe und Armspannweite, sowie der daraus errechnete Ape-Index, eher eine geringe Standardabweichung aufweisen. Auch beim Rotpunktniveau ist die Standardabweichung auf den ersten Blick gering, was jedoch auf die elfteilige Bewertungsskala der Kletterschwierigkeit zurückzuführen ist.

Neben diesen klassisch intervallskalierten Daten wurden auch weitere Werte auf Nominalskalenniveau erhoben und in Abbildung 37 bis 39 dargestellt.

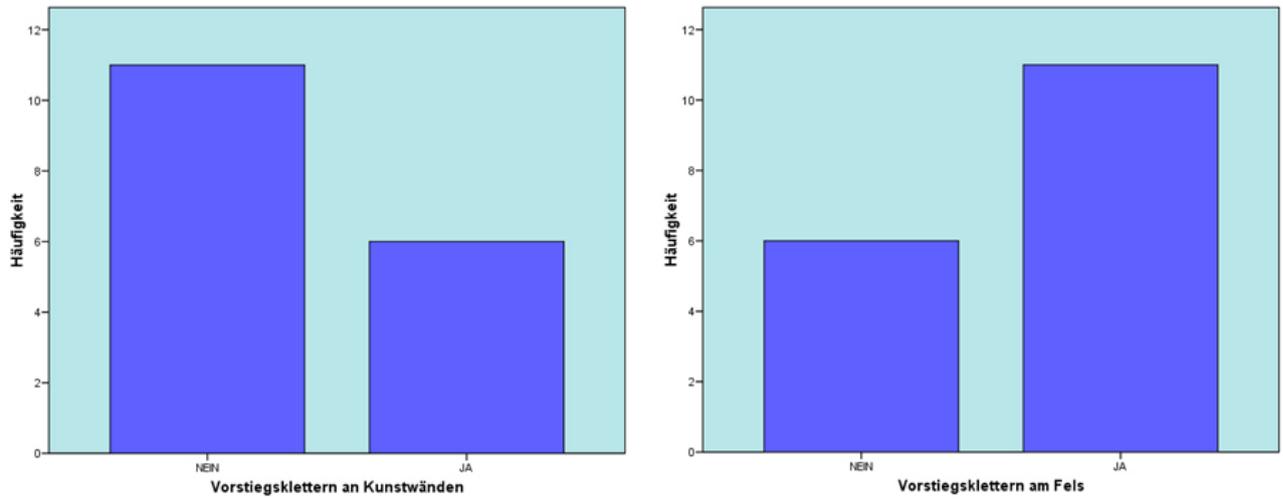


Abbildung 37: Häufigkeiten Vorstiegsklettern

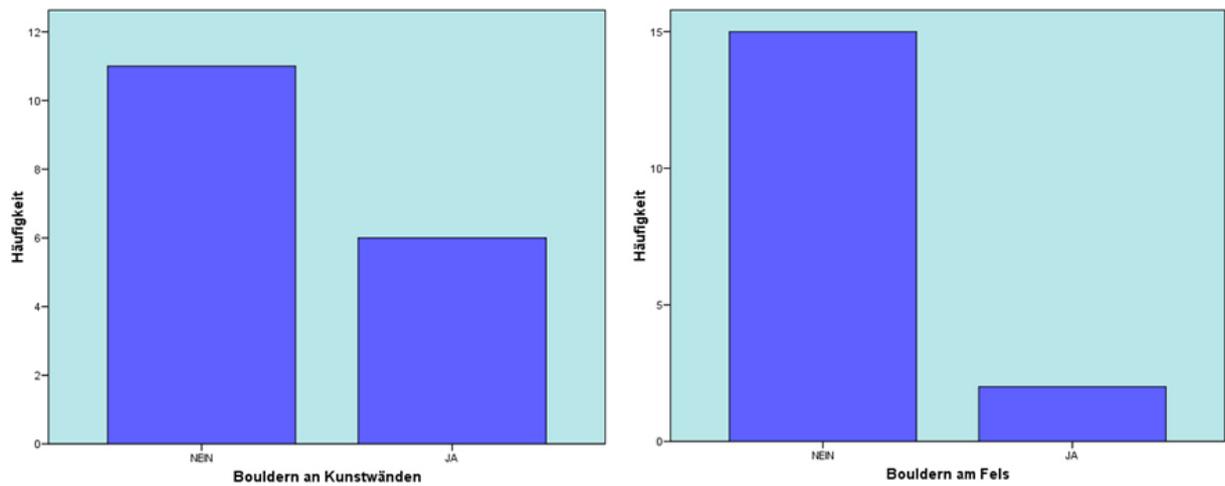


Abbildung 38: Häufigkeiten Bouldern

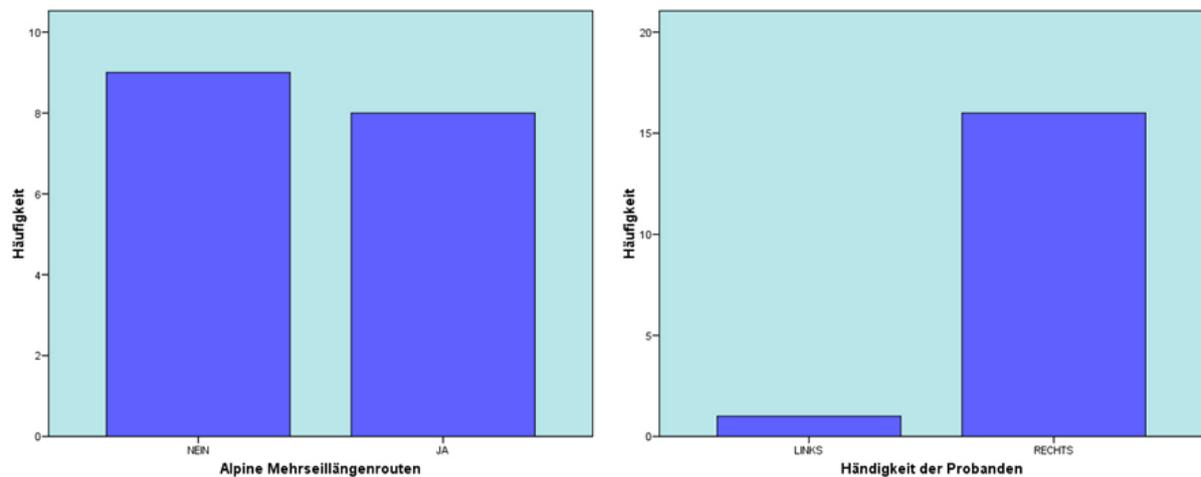


Abbildung 39: Häufigkeiten alpine Mehrseillängenrouten und Händigkeit der Probanden

Aus dem Rotpunktniveau der Probanden wurde eine neue Variable des Könnens berechnet, wobei zwei Gruppen (Anfänger und Fortgeschrittene), wie auf Abbildung 40 ersichtlich, für die Auswertung in Richtung der ursprünglichen Fragestellung bestimmt wurden.

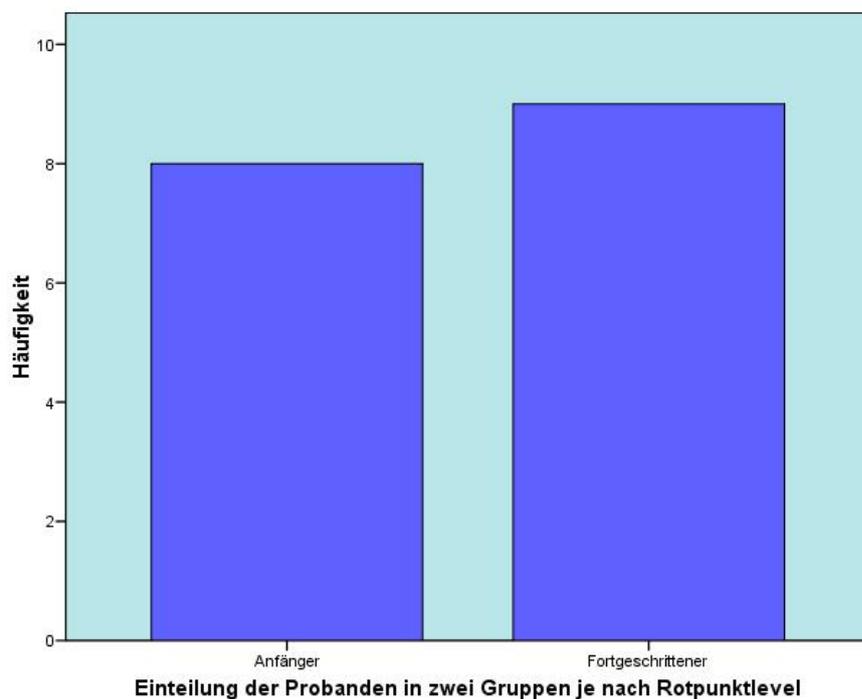


Abbildung 40: Könnergruppen

- Werte beim Zug nach rechts

Die Werte, welche bezüglich der Bewegungen vorliegen, wurden mit Hilfe des Programmes Simi Motion berechnet. Alle Werte wurden sowohl für den Zug nach rechts, wie auch für den Zug nach links separat ausgewertet und in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14: Normalverteilte Werte beim Zug nach rechts

	N		Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
	Gültig	Fehlend				
Dauer der Vorbereitungsphase	17	0	3,7971	2,60672	,53	8,27
Armwinkel der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	102,0029	31,82652	14,71	138,03
Oberkörper-Armverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	83,1588	22,53101	46,10	127,90
Oberkörper-Beinverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	141,0153	29,89773	91,49	189,88
Abstand des Beckens zur Wand am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	,5935	,11747	,33	,78
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	,5959	,13911	,34	,83
Spielbeinwinkel am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	130,1259	31,18764	76,47	187,16
Abstand der Ferse zur Wand am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	,2494	,04465	,17	,32
Abstand des Fußes zum Lot der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	,6318	,15645	,37	,99
Dauer der Hauptphase	17	0	1,4024	,52932	,70	2,27
Armwinkel der Haltehand am Ende der Hauptphase	17	0	140,0094	10,31582	115,22	153,32
maximale Beschleunigung der Greifhand in der Hauptphase	17	0	7,7018	2,32967	3,92	12,50
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand in der Hauptphase	12	5	,6358	,16555	,40	,84
Abstand des Beckens zur Wand am Ende der Hauptphase	17	0	,4035	,07968	,29	,64
Dauer der Endphase	17	0	4,3100	2,13589	1,63	8,83
Gesamtdauer des Zuges	17	0	9,5088	3,81871	4,13	17,20

Die Anzahl der Trittwechsel, sowie die Beschleunigung des KSP weisen keine Normalverteilung auf. Dadurch kann bei einer so kleinen Stichprobe das arithmetische Mittel nicht als Wert ausgewählt werden und der Modalwert tritt in den Vordergrund. In der Vorbereitungsphase machten die Probanden zwischen 2 und 6 Trittwechsel, wobei am häufigsten 4 Trittwechsel gemacht wurden. Die Beschleunigung des Körperschwerpunktes betrug zwischen 0,18 und 2,43 m/s². Jener Wert, der die geordnete Reihe der Messwerte halbiert ist 0,7m/s² und gibt so als Median Auskunft über den mittleren Bereich der Werte. In der Endphase machten sie zwischen 0 und 2 Trittwechsel, wobei der häufigste Wert mit 2 zu Buche schlägt.

Neben diesen quantitativen Daten wurden die Kletterzüge auch qualitativ, durch eine staatliche geprüfte Instruktorin Klettern Breitensport, bewertet und in den Abbildungen 41 bis 43 dargestellt.

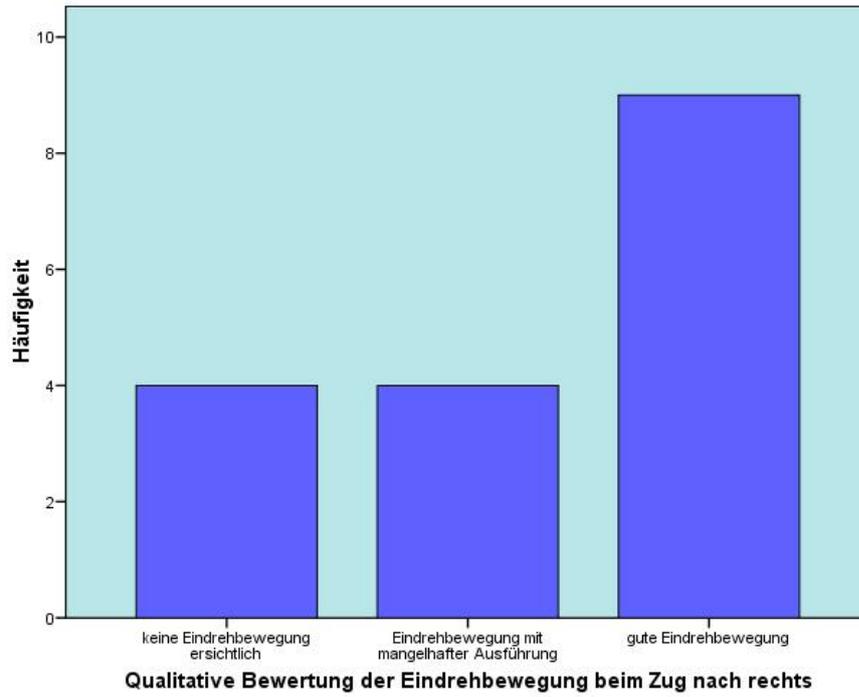


Abbildung 41: Allgemeine Bewertung der Eindrehbewegung rechts

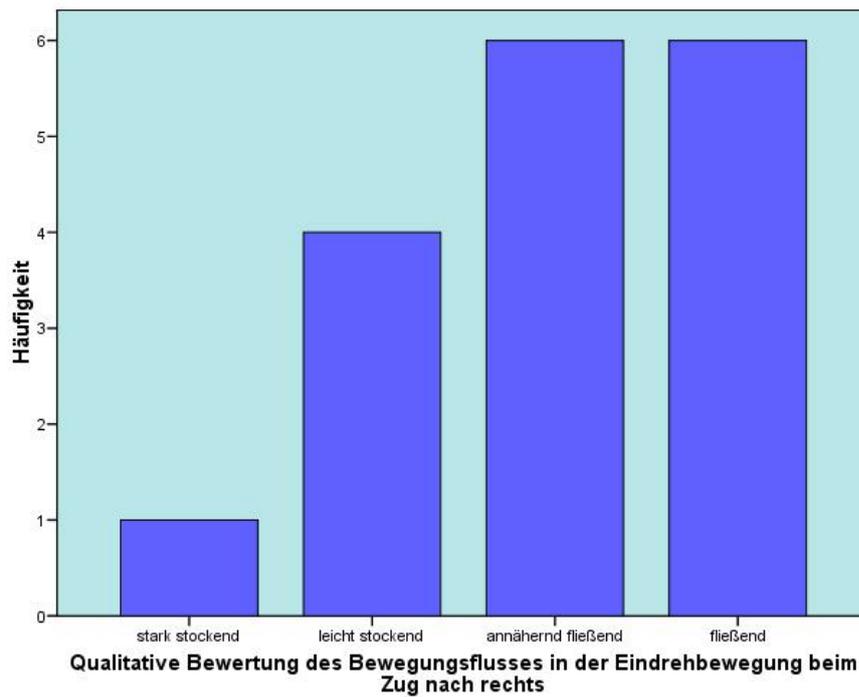


Abbildung 42: Bewegungsfluss rechts

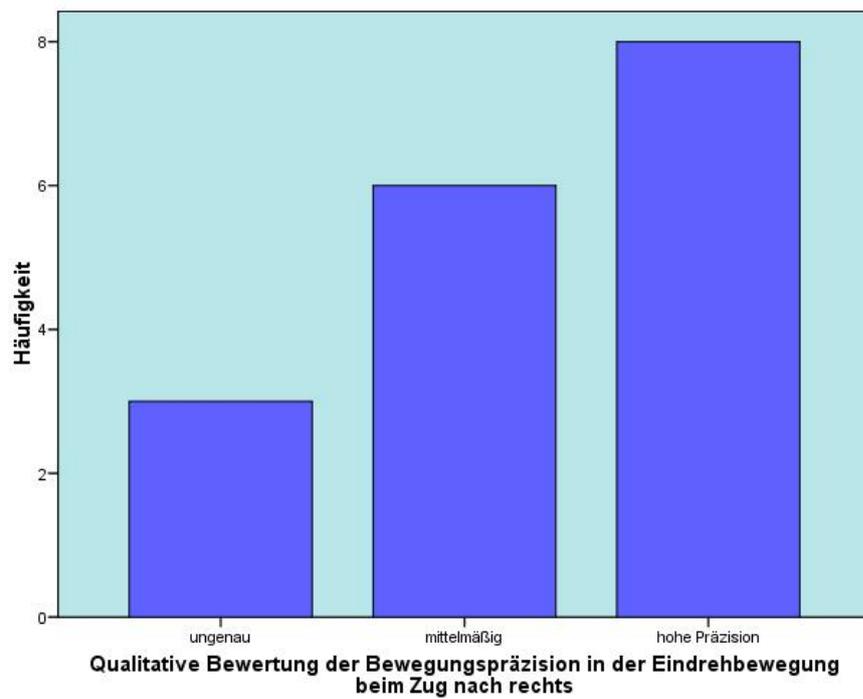


Abbildung 43: Bewegungspräzision rechts

- Werte beim Zug nach links

Beim Zug nach links wurden einige Parameter weniger ausgewertet, da nicht alle Marker durch die seitliche Kamera bei dieser Bewegungsrichtung aufgenommen werden konnten. Diese Werte werden in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Normalverteilte Werte beim Zug nach links

	N		Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
	Gültig	Fehlend				
Dauer der Vorbereitungsphase	17	0	3,8476	3,24753	,67	13,43
Armwinkel der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	90,7724	36,20705	10,34	138,93
Oberkörper-Armverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	78,8824	20,56688	53,90	128,90
Oberkörper-Beinverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	146,0441	32,13124	78,78	193,54
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	,5712	,11313	,40	,85
Spielbeinwinkel am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	137,2912	33,71261	48,63	187,24
Abstand des Fußes zum Lot der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	17	0	,6729	,20624	,36	,99
Dauer der Hauptphase	17	0	1,5506	,73184	,77	3,70
Armwinkel der Haltehand am Ende der Hauptphase	17	0	135,3582	19,04621	101,78	159,53
maximale Beschleunigung der Greifhand in der Hauptphase	17	0	8,8765	2,65556	2,53	12,27
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand in der Hauptphase	12	5	,6175	,13329	,43	,86
Dauer der Endphase	17	0	4,2412	1,53586	1,07	7,07
Gesamtdauer des Zuges	17	0	9,6406	3,66209	5,00	19,00

Auch beim Zug nach links weisen die Anzahl der Trittwechsel in den unterschiedlichen Bewegungsphasen keine Normalverteilung auf. In der Vorbereitungsphase machten die Probanden beim Zug nach links zwischen 2 und 7 Trittwechsel, wobei am meisten 4 Trittwechsel benötigt wurden. Die Beschleunigung des Körperschwerpunktes betrug zwischen 0,26 und 4,17 m/s². Geteilt hier wird die geordnete Reihe der Messwerte bei 1,1m/s². In der Endphase machten sie zwischen 0 und 4 Trittwechsel, wobei 2 der häufigste Wert war.

Die qualitativen Bewertungen sind in den Abbildungen 44 bis 46 dargestellt.

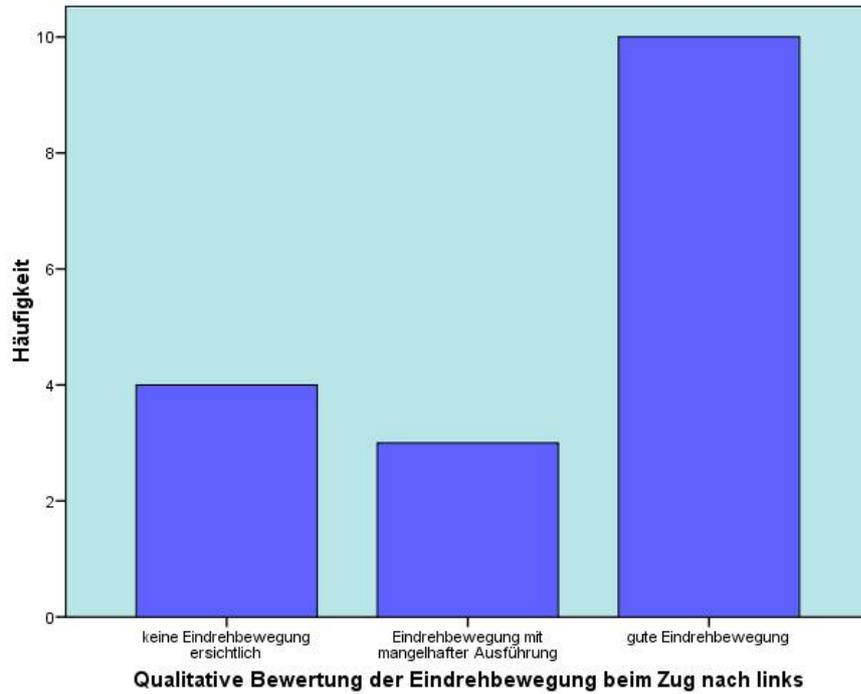


Abbildung 44: Allgemeine Bewertung Eindrehbewegung links

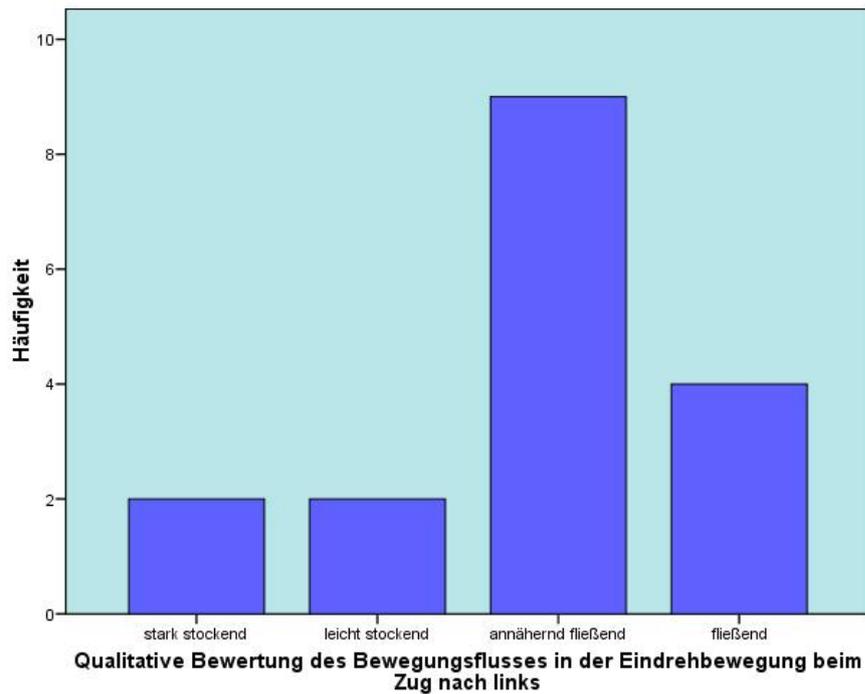


Abbildung 45: Bewegungsfluss links

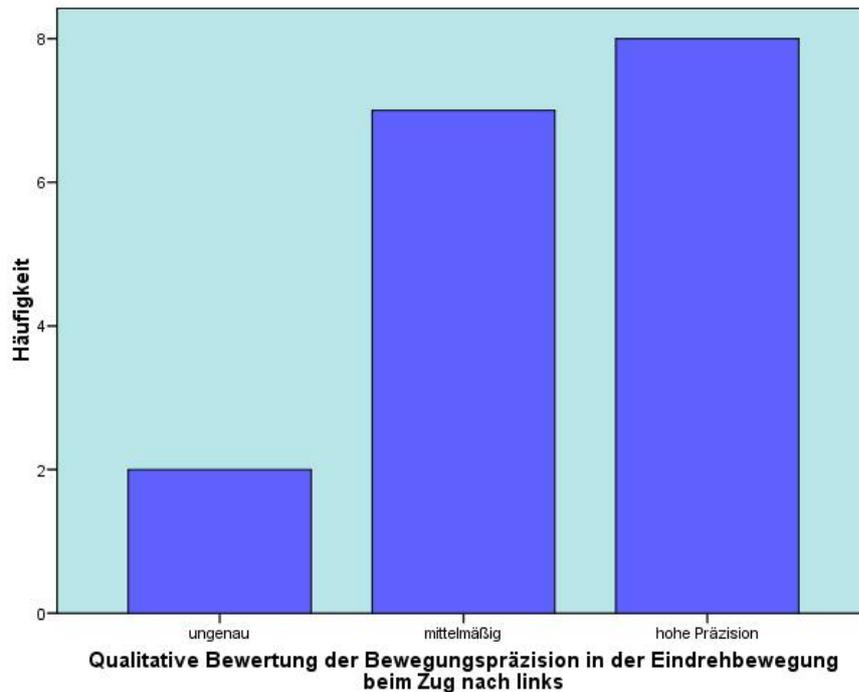


Abbildung 46: Bewegungspräzision links

- Überprüfung auf signifikante Unterschiede

Zielstellung dieser Arbeit war die Aufdeckung der wichtigsten Parameter, welche für eine gute Eindrehbewegung stehen. Um dieser Frage nachzugehen, wurde versucht herauszufinden, welche der erhobenen Parameter sich signifikant zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen unterscheiden und so für eine gute Eindrehbewegung stehen.

H₀: Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen im Bezug auf den erhobenen Parameter x.

H₁: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen im Bezug auf den erhobenen Parameter x.

Als Signifikanzniveau wurde Alpha mit 0,05 gewählt.

Da es sich in diesem Fall um eine unabhängige Stichprobe handelt, kommt für die normalverteilten intervallskalierten Testvariablen der T-Test für unabhängige Stichproben zum Einsatz. Für die qualitativen Daten, welche ordinalskaliert sind und jene, die keine Normalverteilung aufweisen wird auf den U-Test zurückgegriffen.

Vor einer Prüfung auf Unterschiede müssen daher die Anwendungsvoraussetzungen, also die Normalverteilung der einzelnen Testvariablen in den Gruppen, geprüft werden. Dies erfolgt mit dem Kolmogorof-Smirnov Test, der in Tabelle 16 und 17 dargestellt wird.

Tabelle 16: Überprüfung der Normalverteilung beim Zug nach rechts

	Einteilung der Probanden in zwei Gruppen	Kolmogorov-Smirnov		
		Statistik	df	Signifikanz
Dauer der Vorbereitungsphase	Anfänger	,154	8	,200
	Fortgeschrittener	,298	9	,020
Armwinkel der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,195	8	,200
	Fortgeschrittener	,234	9	,169
Oberkörper-Armverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,208	8	,200
	Fortgeschrittener	,318	9	,009
Oberkörper-Beinverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,231	8	,200
	Fortgeschrittener	,208	9	,200
Abstand des Beckens zur Wand am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,223	8	,200
	Fortgeschrittener	,227	9	,200
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand am Ende der VP	Anfänger	,168	8	,200
	Fortgeschrittener	,156	9	,200
Spielbeinwinkel am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,167	8	,200
	Fortgeschrittener	,211	9	,200
Abstand der Ferse zur Wand am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,159	8	,200
	Fortgeschrittener	,121	9	,200
Abstand des Fußes zum Lot der VP	Anfänger	,231	8	,200
	Fortgeschrittener	,249	9	,114
Anzahl der Trittwechsel in der Vorbereitungsphase	Anfänger	,290	8	,046
	Fortgeschrittener	,344	9	,003
Dauer der Hauptphase	Anfänger	,279	8	,067
	Fortgeschrittener	,237	9	,155
Armwinkel der Haltehand am Ende der Hauptphase	Anfänger	,221	8	,200
	Fortgeschrittener	,165	9	,200
maximale Beschleunigung der Greifhand in der Hauptphase	Anfänger	,250	8	,152
	Fortgeschrittener	,176	9	,200
maximale Beschleunigung der Körperschwerpunktes in der HP	Anfänger	,277	8	,071
	Fortgeschrittener	,201	9	,200
Abstand des Beckens zur Wand am Ende der Hauptphase	Anfänger	,275	8	,075
	Fortgeschrittener	,185	9	,200
Dauer der Endphase	Anfänger	,174	8	,200
	Fortgeschrittener	,258	9	,086
Anzahl der Trittwechsel in der Endphase	Anfänger	,235	8	,200
	Fortgeschrittener	,519	9	,000
Gesamtdauer beim Zug nach rechts	Anfänger	,236	8	,200
	Fortgeschrittener	,217	9	,200

Tabelle 17: Überprüfung der Normalverteilung beim Zug nach links

		Kolmogorov-Smirnov		
		Statistik	df	Signifikanz
Dauer der Vorbereitungsphase	Anfänger	,273	8	,081
	Fortgeschrittener	,204	9	,200
Armwinkel der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,164	8	,200
	Fortgeschrittener	,208	9	,200
Oberkörper-Armverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,189	8	,200
	Fortgeschrittener	,221	9	,200
Oberkörper-Beinverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,189	8	,200
	Fortgeschrittener	,163	9	,200
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand am Ende der VP	Anfänger	,148	8	,200
	Fortgeschrittener	,173	9	,200
Spielbeinwinkel am Ende der Vorbereitungsphase	Anfänger	,128	8	,200
	Fortgeschrittener	,202	9	,200
Abstand des Fußes zum Lot der Haltehand am Ende der VP	Anfänger	,201	8	,200
	Fortgeschrittener	,211	9	,200
Anzahl der Trittwechsel in der Vorbereitungsphase	Anfänger	,374	8	,002
	Fortgeschrittener	,344	9	,003
Dauer der Hauptphase	Anfänger	,219	8	,200
	Fortgeschrittener	,242	9	,137
Armwinkel der Haltehand am Ende der Hauptphase	Anfänger	,181	8	,200
	Fortgeschrittener	,207	9	,200
maximale Beschleunigung der Greifhand in der Hauptphase	Anfänger	,199	8	,200
	Fortgeschrittener	,180	9	,200
maximale Beschleunigung der Körperschwerpunktes in der HP	Anfänger	,294	8	,041
	Fortgeschrittener	,192	9	,200
Dauer der Endphase	Anfänger	,244	8	,179
	Fortgeschrittener	,284	9	,035
Anzahl der Trittwechsel in der Endphase	Anfänger	,327	8	,012
	Fortgeschrittener	,389	9	,000
Gesamtdauer beim Zug nach links	Anfänger	,221	8	,200
	Fortgeschrittener	,184	9	,200

Hier sind deutlich jene Werte markiert, welche nicht einer normalverteilten Gesamtheit unterliegen. Sie weisen eine Signifikanz von unter 0,1 auf und müssen daher gesondert mittels U-Test geprüft werden. Auch der Abstand des Beckens zum Lot der Hand in der Hauptphase unterliegt sowohl beim Zug nach rechts, wie auch nach links, einer Normalverteilung.

Hierauf werden die Werte in Tabelle 18 bis 21 auf ihre Unterschiede geprüft.

Auf Grund der Durchführung eines multiplen Testens ist die Gefahr die H_0 zu verwerfen, obwohl sie gilt, erhöht. Es handelt sich hierbei um einen Fehler 1. Art, den α -Fehler. Um diesem Vorkommen entgegen zu wirken werden die Ergebnisse mit Hilfe der Bonferroni-Korrektur, wie sie Bortz und Schuster (2010, S. 232) vorstellen, im Anschluss überarbeitet.

Hierbei wird das gewählte Signifikanzniveau durch die Anzahl der durchgeführten Tests (n) dividiert, um ein neues und gültiges Signifikanzniveau zu erhalten.

Ein Test ist also nur dann signifikant, wenn das Ergebnis der Vorgabe $\leq \frac{\alpha}{n}$ folgt.

Tabelle 18: T-Test auf Unterschiede - Zug rechts

		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
Armwinkel der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	,556	,467	-1,677	15	,114	-24,57764	14,65732	-55,81897	6,66369
	Varianzen sind nicht gleich			-1,637	11,966	,128	-24,57764	15,01808	-57,30957	8,15429
Oberkörper-Beinverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	1,919	,186	,189	15	,852	2,83750	14,98623	-29,10490	34,77990
	Varianzen sind nicht gleich			,186	12,775	,855	2,83750	15,26847	-30,20708	35,88208
Abstand des Beckens zur Wand am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	,178	,679	-,811	15	,430	-,04681	,05770	-,16979	,07618
	Varianzen sind nicht gleich			-,813	14,891	,429	-,04681	,05756	-,16956	,07595
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	3,340	,088	,247	15	,808	,01722	,06967	-,13127	,16572
	Varianzen sind nicht gleich			,241	11,742	,814	,01722	,07149	-,13893	,17337
Spielbeinwinkel am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	1,713	,210	-,335	15	,742	-5,21972	15,59334	-38,45613	28,01669
	Varianzen sind nicht gleich			-,327	12,227	,749	-5,21972	15,94844	-39,89704	29,45760
Abstand der Ferse zur Wand am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	3,851	,069	-,161	15	,874	-,00361	,02239	-,05133	,04411
	Varianzen sind nicht gleich			-,156	10,658	,879	-,00361	,02314	-,05475	,04753
Abstand des Fußes zum Lot der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	2,568	,130	2,292	15	,037	,15486	,06757	,01083	,29889
	Varianzen sind nicht gleich			2,318	14,950	,035	,15486	,06681	,01243	,29729
Dauer der Hauptphase	Varianzen sind gleich	3,961	,065	2,239	15	,041	,51500	,22996	,02485	1,00515
	Varianzen sind nicht gleich			2,193	12,429	,048	,51500	,23487	,00521	1,02479
Armwinkel der Haltehand am Ende der Hauptphase	Varianzen sind gleich	,490	,495	,745	15	,468	3,78597	5,08385	-7,05000	14,62195
	Varianzen sind nicht gleich			,759	14,543	,460	3,78597	4,98978	-6,87863	14,45058
maximale Beschleunigung der Greifhand in der Hauptphase	Varianzen sind gleich	,292	,597	,481	15	,637	,55861	1,16021	-1,91432	3,03154
	Varianzen sind nicht gleich			,482	14,848	,637	,55861	1,15843	-1,91272	3,02994
maximale Beschleunigung der Körperschwerpunktes in der Hauptphase	Varianzen sind gleich	7,839	,013	2,373	15	,031	,65708	,27690	,06688	1,24729
	Varianzen sind nicht gleich			2,277	9,514	,047	,65708	,28863	,00950	1,30467
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand im Moment des Weitergreifens	Varianzen sind gleich	,588	,461	-,592	10	,567	-,05833	,09854	-,27789	,16122
	Varianzen sind nicht gleich			-,592	9,651	,567	-,05833	,09854	-,27897	,16230
Abstand des Beckens zur Wand am Ende der Hauptphase	Varianzen sind gleich	,875	,365	1,117	15	,282	,04292	,03842	-,03898	,12481
	Varianzen sind nicht gleich			1,082	10,910	,302	,04292	,03965	-,04445	,13028
Dauer der Endphase	Varianzen sind gleich	,491	,494	-1,942	15	,071	-1,86056	,95822	-3,90294	,18183
	Varianzen sind nicht gleich			-1,992	13,808	,067	-1,86056	,93391	-3,86622	,14511
Gesamtdauer des Zuges	Varianzen sind gleich	,894	,359	,333	15	,744	,63500	1,90939	-3,43476	4,70476
	Varianzen sind nicht gleich			,341	13,855	,738	,63500	1,86167	-3,36180	4,63180

Tabelle 19: T-Test auf Unterschiede - Zug links

		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
Dauer der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	3,888	,067	2,219	15	,042	3,13764	1,41415	,12345	6,15183
	Varianzen sind nicht gleich			2,122	9,127	,062	3,13764	1,47836	-,19956	6,47483
Armwinkel der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	3,487	,082	-2,250	15	,040	-35,35028	15,71164	-68,83885	-1,86170
	Varianzen sind nicht gleich			-2,175	10,565	,053	-35,35028	16,25381	-71,30505	,60450
Oberkörper-Armverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	,010	,922	-,896	15	,384	-9,00972	10,05588	-30,44333	12,42389
	Varianzen sind nicht gleich			-,906	14,970	,380	-9,00972	9,94981	-30,22095	12,20151
Oberkörper-Beinverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	2,218	,157	1,636	15	,123	24,29514	14,85482	-7,36716	55,95744
	Varianzen sind nicht gleich			1,674	14,081	,116	24,29514	14,51129	-6,81176	55,40204
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	3,871	,068	1,321	15	,206	,07097	,05374	-,04356	,18551
	Varianzen sind nicht gleich			1,262	8,990	,239	,07097	,05624	-,05626	,19821
Spielbeinwinkel am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	2,824	,114	1,228	15	,238	19,80514	16,12731	-14,56941	54,17969
	Varianzen sind nicht gleich			1,271	12,500	,227	19,80514	15,57640	-13,98285	53,59313
Abstand des Fußes zum Lot der Haltehand am Ende der Vorbereitungsphase	Varianzen sind gleich	,030	,864	3,662	15	,002	,27542	,07520	,11513	,43571
	Varianzen sind nicht gleich			3,636	14,195	,003	,27542	,07574	,11318	,43765
Dauer der Hauptphase	Varianzen sind gleich	1,712	,210	,385	15	,706	,14056	,36548	-,63844	,91955
	Varianzen sind nicht gleich			,371	10,334	,718	,14056	,37870	-,69957	,98068
Armwinkel der Haltehand am Ende der Hauptphase	Varianzen sind gleich	,371	,552	-,305	15	,764	-2,90792	9,52877	-23,21802	17,40218
	Varianzen sind nicht gleich			-,308	14,979	,762	-2,90792	9,43268	-23,01563	17,19979
maximale Beschleunigung der Greifhand in der Hauptphase	Varianzen sind gleich	10,397	,006	-,581	15	,570	-,76542	1,31796	-3,57457	2,04374
	Varianzen sind nicht gleich			-,555	8,988	,592	-,76542	1,37929	-3,88625	2,35542
Abstand des Beckens zum Lot der Haltehand im Moment des Weitergreifens	Varianzen sind gleich	1,297	,281	-,480	10	,641	-,03833	,07979	-,21613	,13946
	Varianzen sind nicht gleich			-,480	9,034	,642	-,03833	,07979	-,21874	,14207
Gesamtdauer des Zuges	Varianzen sind gleich	2,604	,127	,785	15	,445	1,41319	1,80122	-2,42603	5,25241
	Varianzen sind nicht gleich			,756	10,110	,467	1,41319	1,86938	-2,74592	5,57231

Auch hier sind jene Werte, welche von Bedeutung sind und eine Signifikanz nach dem unkorrigierten α -Niveau ausdrücken, markiert.

Für jene Werte, die nicht der Normalverteilung unterlagen, wird ein U-Test durchgeführt.

Tabelle 20: U-Test für nicht normalverteilte Daten

	Dauer der Vorbereitungsphase: rechts	Oberkörper-Armverhältnis am Ende der Vorbereitungsphase: rechts	maximale Beschl. der KSP in der Hauptphase: links	Dauer der Endphase: links
Mann-Whitney-U	20,000	33,000	34,500	9,000
Wilcoxon-W	65,000	69,000	70,500	45,000
Z	-1,541	-,289	-,145	-2,598
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,123	,773	,885	,009

Auch die qualitativen Daten wurden einer Überprüfung unterzogen.

Tabelle 21: U-Test für qualitative Daten

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Eindrehbewegung allgemein links	17,500	53,500	-2,015	,044
Bewegungsfluss links	22,000	58,000	-1,471	,141
Bewegungspräzision links	3,000	39,000	-3,491	,000
Eindrehbewegung allgemein rechts	13,000	49,000	-2,432	,015
Bewegungsflusses rechts	15,500	51,500	-2,077	,038
Bewegungspräzision rechts	9,500	45,500	-2,767	,006

6.5.5 Ergebnisinterpretation

Trotz aller einschränkenden Umstände werden aus den Ergebnissen der statistischen Analyse folgende Schlüsse gezogen:

Einer der Werte weist sowohl beim Zug nach links, wie auch nach rechts, unter Berücksichtigung des unkorrigierten α -Niveaus, signifikante Unterschiede zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen auf. Unter Zuhilfenahme der neuen Signifikanzniveaus rechts $\alpha_{rk} = 0,00264$ und links $\alpha_{lk} = 0,00313$ bleibt trotzdem beim Zug nach links eben dieser Wert signifikant. Der Abstand des Standbeines zum Lot der Haltehand dürfte demnach dafür ausschlaggebend sein, ob ein Kletterer/eine Kletterin die Eindrehtechnik gut beherrscht oder nicht. Die Annahme, dass der Abstand des Standbeines möglichst gering zum Lot der Haltehand ausfallen sollte, wird in dieser Arbeit hiermit eindeutig bestätigt.

Des weiteren wird durch die Auswertung der qualitativ erhobenen Werte mit einem korrigierten Signifikanzniveau von 0,0083 deutlich, dass ein ausgebildeter Instruktor / eine ausgebildete Instruktorin an Hand der Bewegungspräzision nur eines Zuges bestimmen kann, ob jemand eher ein fortgeschrittener Kletterer / eine fortgeschrittene Kletterin ist oder mehr in den Anfängerbereich zu zählen ist.

Weitere Versuche, ob es vielleicht mehr signifikante Werte im Bezug auf den Trainingsbereich oder den Ape-Index gibt, ergaben jedoch auch keine weiteren nennenswerten Ergebnisse.

7. Abschluss und Zusammenfassung

7.1 Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen weiteren Beitrag im Bereich der Biomechanik des Sportkletterns zu leisten und hier speziell eine grundlegende Technik, die Eindrehbewegung, zu analysieren.

Der Versuchsaufbau, die Hintergrundrecherche und die erläuterten Erfahrungen werden mit Sicherheit jenen, die dieses Thema weiterhin verfolgen und ausbauen wollen, eine wertvolle Grundlage für zukünftige Arbeiten liefern. Der erstmalige Einstieg in ein neues Thema ist immer mühevoll und mit jeder weiteren Untersuchung wird es leichter, eindeutige Ergebnisse zu erzielen.

Auch die Aufbereitung der Daten und die Erstellung einer Stroboskop-Bildreihe stellt eine wertvolle Grundlage für die Lehre dar, da es in dieser Form bis zum heutigen Tag noch nicht veröffentlicht wurde.

Diese Studie geschah auch unter der Prämisse, dass sich zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen im Klettern ein überzufälliger Unterschied nachweisen lässt. Auch hier konnten wesentliche, wenn auch nur wenige, Ergebnisse erzielt werden. Insbesondere in flacheren Kletterpassagen ist die Wahl des Trittes für das Standbein für eine gute Eindrehtechnik ausschlaggebend. Andere signifikante Werte müssten in weiteren Studien an einer geneigten Wand eruiert werden.

Leider war es nicht möglich echte Normwerte für eine optimale Eindrehbewegung zu eruiieren, da diese nur an einer geneigten Wand sinnvoll bewertet werden können.

7.2 Fazit

Rückblickend gibt es einige Knotenpunkte, welchen in zukünftigen Studien vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

Die Aufnahmen sollten nur an einer Kippwand durchgeführt werden, an welcher der exakte Neigungswinkel eingestellt werden kann. Die Eindrehbewegung ist und bleibt eine Technik die vermehrt in steilem Klettergelände zur Anwendung kommt und auch nur dort optimal eingesetzt werden kann. Die Analyse dieser Bewegung an einer senkrechten Wand führt, wie hier eingehend beschrieben, nicht zu den erhofften Ergebnissen.

Des Weiteren sollten die Aufnahmen in einer größeren, gut ausleuchtbaren, Halle stattfinden. Nur so kann gewährleistet sein, dass das Bild hell genug ist und der Abstand zur Bewegungsebene groß genug ist um den Parallaxen- und Perspektivenfehler zu minimieren.

Um das Material gut auswerten zu können sollten vorzugsweise qualitativ hochwertige Hochgeschwindigkeitskameras verwendet werden. Falls diese nicht zu Verfügung stehen, sollten Camcorder namhafter Hersteller aus dem mittleren Preissegment mit maximaler Auflösung verwendet werden. Kameras mit voller HD Auflösung sind hierbei eindeutig vorzuziehen. Vorher sollte auch abgeklärt werden mit welchen Codecs die Videos intern komprimiert werden und ob dies zu Problemen im Laufe der Auswertung führen kann.

Die Auswertung würde wesentlich mehr Möglichkeiten bieten, wenn die Aufnahmen mit Hilfe von drei Kameras, wie es in Abbildung 47 dargestellt wird, durchgeführt werden würden.

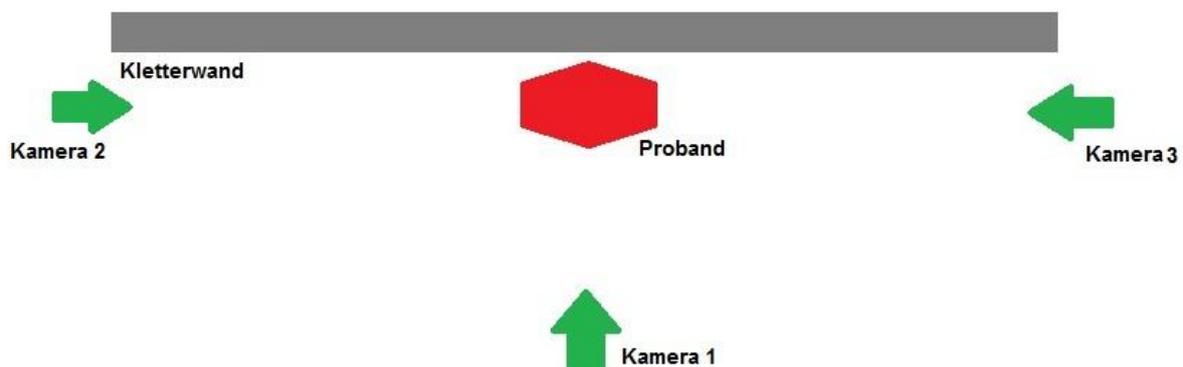


Abbildung 47: Empfohlener Versuchsaufbau

Nur so kann man neben der Auswertung von 2D Bildern auch dreidimensional arbeiten und alle Bewegungen nach links und nach rechts gleichermaßen auswerten.

Es sollte eine größere Anzahl an Probanden und/oder Probandinnen für eine solche Studie heran gezogen werden, um aussagekräftigere Aussagen erzielen zu können.

Auch sollte statt einer Einzelbewegung die Eindrehsituation innerhalb eines kurzen, einfachen Boulders eingebaut sein. Meiner Meinung nach reichen maximal vier Züge aus. Zwei Züge sollten vor der analysierten Eindrehbewegung ausgeführt werden und ein Zug danach. Weniger Züge würden den Fluss der echten Kletterbewegung stören, während mehr Züge bereits zur Ermüdung führen und es schwer wird, Leistungsgruppen rein nach der Kletterschwierigkeit zu vergleichen.

Dieser Boulder sollte vorher außerdem von mindestens 5 Kletterern und Kletterinnen getestet werden, welche nicht zu den Versuchspersonen zählen. Erst dann kann man optimal beurteilen, ob die Eindrehbewegung auch so durchgeführt wird, wie es gewünscht ist.

Auch innerhalb der Parameter sollten die Ideen überdacht werden. Während einige Parameter wohl außer Acht gelassen werden könnten, wie zum Beispiel das Oberkörper – Armverhältnis und das Oberkörper – Beinverhältnis, sollten andere einer Überprüfung

unterzogen werden. Einige der ausgewerteten Winkel entsprachen auf Grund der Verschiebung der Ebene durch die aufgetretene Körperdrehung nicht den optimalen biomechanischen Vorbildern. Auch wenn alle Probanden nicht komplett in der Auswertungsebene agieren so gibt es doch immer noch Unterschiede in der Beckenpositionierung und damit in der Entfernung zur Ebene. Wären innerhalb dieser Winkel Signifikanzen aufgetreten, so könnten diese im Endeffekt eventuell nur bedingt bewertet werden.

Diese Probleme würden durch den Versuchsaufbau mit drei Kameras und damit der Möglichkeit einer dreidimensionalen Auswertung besser gemeistert werden.

7.3 Aussicht

Nach wie vor ist der Klettersport davon geprägt, immer mehr Ausübende zu locken, insofern wäre es von Nöten, noch weitere Untersuchungen in diesem Bereich durchzuführen.

Mit dem Wissen und den Erfahrungen aus dieser Arbeit ist es möglich eine verbesserte Analyse der Eindrehbewegung und auch anderer Techniken durchzuführen. Die Ergebnisse könnten dann auch im Techniktraining von Anfängern und Fortgeschrittenen oder in einer wertebasierte Videoanalyse für Spitzensportler Anwendung finden.

Ich als Sportwissenschaftlerin und Instruktorin Breitensport hoffe, dass weitere Studien zu dieser speziellen Thematik durchgeführt werden.

8. Literaturverzeichnis

- Azevedo, L. B.; Lambert, M. I.; Vaughan, C. L.; O'Connor, C. M.; Schweltnus, M. P. (2009). Biomechanical variables associated with Achilles tendinopathy in runners. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 288 - 329.
- Bortz, J.; Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 7. Auflage. Berlin – Heidelberg: Springer Verlag.
- Ballreich, R. [Hrsg.] (1988). *Grundlagen der Biomechanik des Sports: Probleme, Methoden, Modelle*. Stuttgart: Enke.
- Bartlett, R. (2007). *Introduction to Sports Biomechanics. Analysing Human Movement Patterns. (2nd Edition)*. London: Routledge.
- Baumgartner, M. (2003). *Computer – Videosysteme im Sport*. Wien: Universität Wien, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften.
- Bernstädt, W.; Kittel, R. (2007). Kletterspezifische Grundlage. In D. Lazik (Hrsg.), *Therapeutisches Klettern*. Stuttgart: Thieme.
- Brent, S.; Draper, N.; Hodgson, C.; Blackwell, G. (2009). Development of a performance assessment tool for rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 9 (3), 159-167.
- Buchner, M. (2009). *Quantifizierung sportlicher Bewegungsabläufe. Entwicklung und Evaluation eines Diagnosemoduls für die Sportart Schwimmen*. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
- Burmester, S. (19.02.2010). *Schritt Richtung Olympia: Sportklettern vom IOC anerkannt*. Zugriff am 12.11.2012 unter <http://www.klettern.de/news/sonstiges/schritt-richtung-olympia-sportklettern-vom-ioc-anerkannt.392190.5.htm> .
- Custer, D. (2006). An Estimation of the Load Rate Imparted to a Climbing Anchor During Fall Arrest. In: Fozzy Moritz, E. & Haake, S. (Eds.), *The Engineering of Sport 6. Volume1: Developments for Sports*. (pp. 45-50). New York: Springer.
- Donskoi, D.D. (1975). *Grundlagen der Biomechanik*. Berlin: Sportverlag.
- Filzwieser, I. (2008). *Einführung in die spezielle Bewegungslehre des Sportkletterns*. Lehrwarteausbildung an der Bundesanstalt für Leibeserziehung Graz. Graz: Bundessportakademie Graz.
- Fozzy Moritz, E.; Haake, S. (Eds.) (2006). *The Engineering of Sport 6. Volume1: Developments for Sports*. New York: Springer.
- Fuss, F. & Niegl, G. (2006). Instrumented Climbing Holds and Dynamics of Sport Climbing. In: Fozzy Moritz, E. & Haake, S. (Eds.), *The Engineering of Sport 6. Volume1: Developments for Sports*. (pp. 57-62). New York: Springer.
- Gallonetto, M. (1992). *Biokinematische Analyse von Klettertechniken*. Innsbruck: Lepold – Franzens – Universität, Institut für Sportwissenschaften.
- Gauster, H.; Hack, J. (2011). *Handbuch Sportklettern*. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.
- Gerbert, W. (1994). *Three Dimensional Analysis of Rock Climbing Techniques*. Innsbruck: Universität Innsbruck Geisteswissenschaftliche Fakultät Institut für Sportwissenschaften.
- Hepp, T. (1993). *Wolfgang Güllich. Leben in der Senkrechten. Eine Biographie*. Rosenheim: Rosenheimer Verlagshaus.
- Hepp, T., Güllich, W., Heidorn, G. (1992). *Faszination Sportklettern. Ein Lehrbuch für Theorie und Praxis*. München: Wilhelm Heyne Verlag.
- Hochmuth, G. (1981). *Biomechanik sportlicher Bewegung. 4. Stark überarbeitete Auflage*. Berlin: Sportverlag.
- Hochmuth, G. (1982). *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. Berlin: Sportverlag.
- Hoffmann, M. (2008). *Sportklettern. Technik – Taktik – Sicherung*. Köngen: Panico Alpinverlag.
- Hohmann, A.; Lames, M.; Letzelter, M. (2003). *Einführung in die Trainingswissenschaft (3., korr. und erw., Auflage)* . Wiebelsheim: Limpert Verlag GmbH.

<http://www.simi.de/de/markets/sport/index.html>

Kauer, B. (1995). *Dreidimensionale Analyse des Gesamtkörperschwerpunktverlaufes beim Überqueren einer Dachkante im Sportklettern*. Innsbruck: Lepold – Franzens – Universität, Institut für Sportwissenschaften.

Keller, P.; Schweizer, A. (2009). *Vertical Secrets. Technik – Training – Medizin. Fundiertes Wissen = Erfolgreicher Klettern*. Zürich: turntillburn GmbH.

Kirtley, C. (2006). *Clinical Gait Analysis: Theory and Practice*. Edinburgh [u.a.]: Elsevier Churchill Livingstone.

Knabl, H. (13.12.2007). *Klettern olympisch?* Zugriff am 12.11.2012 unter <http://www.klettern.de/news/wird-das-klettern-olympisch.176204.5.htm>.

Knudson, D. V.; Morrison, C. S. (2002). *Qualitative Analysis of Human Movement (Second Edition)*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Letzelter, H. & Letzelter, M. (1983). *Leistungsdiagnostik. Beispiel Eisschnelllauf*. Niedernhausen: Schors-Verlag.

Meinel, K. & Schnabel, G. (1998). *Bewegungslehre – Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Methodik unter pädagogischem Aspekt*. Berlin: Volk und Wissen.

Meinel, K.; Schnabel, G. (1998). *Bewegungslehre / Sportmotorik*. Berlin: Sportverlag.

Meinel, K.; Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre - Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. (11., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.

Neumann, U.; Goddard, D. (1997). *Lizenz zum Klettern*. Köln: Neuland Mediaworks.

Nieberl, F. (1922). *Das Klettern im Fels. (5. überarbeitete Auflage)*. München: Berverlag Rudolf Rother.

Nigg, B. M.; Herzog, W. (2007). *Biomechanics of the Musculo-skeletal System. (Third Edition)*. Chichester: Wiley.

Olivier, N.; Rockmann, U. (2003). *Grundlagen der Bewegungswissenschaft und -lehre*. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.

Pflügl, T. (16.10.2010). *UIAA Grade*. Zugriff am 12.11.2012 unter <http://www.alpenverein-freistadt.at/UIAAskala.htm>.

Rainey, A. (08.09.2010). *The Rock Climbing Ape Index: How to Measure It and Why It Matters*. Zugriff am 22.11.2012 unter <http://suite101.com/article/the-rock-climbing-ape-index-how-to-measure-it-and-why-it-matters-a254703>.

Roth, K.; Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft*. Reinbeck: Rowohlt Verlag.

Scherer, R. (2002). *Sportklettern. Skriptum zur LW-Ausbildung Sportklettern an der BAFL Innsbruck*. Innsbruck: Bundessportakademie Innsbruck.

Schmidt, U. (2009). *Professionelle Videotechnik: Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, DI, 3D*. Berlin: Springer Verlag.

Schnabel, G. (1998). Allgemeine Bewegungsmerkmale als Ausdruck der Bewegungskoordination. In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre – Sportmotorik: Abriß einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (S. 50-89). Berlin: Volk und Wissen.

Schnabel, G. (1998). Motorisches Lernen. In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre – Sportmotorik: Abriß einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (S. 146-205). Berlin: Volk und Wissen.

Sibella, F.; Frosio, I.; Schena, F.; Borghese, N.A. (2007). 3D analysis of the body center of mass in rock climbing. *Human Movement Science*, 26, 841-852.

SIMI Reality Motion Systems (02.03.2010). *Simi Motion*. Zugriff am 22.11.2012 unter <http://www.simi.de/de/products/motion/overview/index.html>.

Weiß, O. (1999). *Einführung in die Sportsoziologie*. Wien: UTB für Wissenschaft.

Magisterarbeit: Sportklettern
Betreuer: Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Arnold Baca

Wick, D. (2005). *Biomechanische Grundlagen sportlicher Bewegung. Lehrbuch der Biomechanik*. Balingen: Spitta Verlag.

Wick, D. (2009). *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegungen. (2. Und erweiterte Auflage)*. Balingen: Spitta Verlag.

Willimczik, K. (1992). *Statistik im Sport. Grundlagen, Verfahren, Anwendungen*. Ahrensburg bei Hamburg: Verlag Ingrid Czwalina.

Wollny, R.; (2007). *Bewegungswissenschaft. Ein Lehrbuch in 12 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.

9. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Stefan Glowacz am Fitz Roy (Foto: Klaus Fengler , Zugriff unter http://www.outdoor-magazin.com/sixcms/media.php/6/Fitz_Roy_2010_5.jpg am 04.12.2012.)	10
Abbildung 2: Alpenskala (Zugriff unter http://www.alpenverein-freistadt.at/images/Welzenbachskala.jpg am 12.11.2012.)	14
Abbildung 3: Phasenstruktur der Kletterbewegung (Gauster & Hack, 2011, S. 119)	22
Abbildung 4: Beachtung der Dreipunkt-Regel und der richtigen KSP Positionierung in der Kletterbewegung (Gauster & Hack, 2011, S.125)	28
Abbildung 5: Lot des KSP durch Stützfläche	29
Abbildung 6: Physikalische Betrachtung der KSP-Lage beim Klettern	31
Abbildung 7: Stabile Position, gerade noch stabile Position, instabil, stabile Position auf einem Bein (Gauster & Hack, 2011, S. 124)	32
Abbildung 8: Diagonale Belastung beim eingedrehten Klettern	34
Abbildung 9: Optimale Belastungsrichtung	36
Abbildung 10: Kartesisches Koordinatensystem	41
Abbildung 11: Auswertungssoftware für videogestützte Bewegungsanalyse (Wick, 2009, S. 139)	47
Abbildung 12: Modulübersicht Simi Motion (Zugriff unter http://www.simi.de/typo3temp/dbb1acd8ad.png am 22.11.2012.)	48
Abbildung 13: Verschlusszeiten in Sekunden für Bewegungsanalyse im Sport (Knudson & Morrison, 2002, S. 207)	53
Abbildung 14: Schematischer Versuchsaufbau	55
Abbildung 15: Hallenplan Kletterhalle Südwand (Zugriff unter http://www.suedwand.at/uploads/assets/image/events/opening/flyer2.jpg am 15.06.2010.)	56
Abbildung 16: Startgriff der Haltehand links und rechts	57
Abbildung 17: Anordnung der Griffe am Aufnahmeort	58
Abbildung 18: Ausgemessene Griffanordnung	59
Abbildung 19: Kalibrierungsanordnung seitlich und frontal	60
Abbildung 20: Helen Hayes Marker Modell für den Beinbereich nach Azevedo et al. (2009).	61
Abbildung 21: Aktuelles Markersetup der Studie	62
Abbildung 22: Parameter	67
Abbildung 23: Getracktes Videobild am Ender der Hauptphase (Simi Motion)	75
Abbildung 24: Erfassung der Marker (Simi Motion)	76
Abbildung 25: Winkelverlauf des linken Armes	77
Abbildung 26: Winkel (Simi Motion)	78
Abbildung 27: Abstandsvermessungen im Verhältnis zur Haltehand (Simi Motion)	79
Abbildung 28: Abstandsvermessung zur Wand (Simi Motion)	79
Abbildung 29: Beschleunigung der Hände über deren Handgelenksmarker (Simi Motion) ...	80
Abbildung 30: Beschleunigung KSP (Simi Motion)	81
Abbildung 31: Beschleunigung KSP + Becken (Simi Motion)	82
Abbildung 32: Weg des rechten Handgelenksmarkers im Verlauf der Hauptphase (Simi Motion)	83
Abbildung 33: Weg der Beckenmarker im Verlauf der Hauptphase (Simi Motion)	83
Abbildung 34: Darstellung der Bewegungsphasen beim Eindrehzug nach rechts	84
Abbildung 35: Darstellung der Bewegungsphasen beim Eindrehzug nach links	84
Abbildung 36: Artefaktbildung (Simi Motion)	85
Abbildung 37: Häufigkeiten Vorstiegsklettern	87
Abbildung 38: Häufigkeiten Bouldern	87
Abbildung 39: Häufigkeiten alpine Mehrseillängenrouten und Händigkeit der Probanden	87
Abbildung 40: Könnertypen	88
Abbildung 41: Allgemeine Bewertung der Eindrehbewegung rechts	90
Abbildung 42: Bewegungsfluss rechts	90

Abbildung 43: Bewegungspräzision rechts	91
Abbildung 44: Allgemeine Bewertung Eindrehbewegung links.....	93
Abbildung 45: Bewegungsfluss links.....	93
Abbildung 46: Bewegungspräzision links.....	94
Abbildung 47: Empfohlener Versuchsaufbau.....	101
Tabelle 1: Kletterarten	11
Tabelle 2: Begehungsstile	13
Tabelle 3: Schwierigkeitsskalen.....	15
Tabelle 4: Morphologische Bewegungsmerkmale.....	18
Tabelle 5: Phasenstruktur der sportlichen Bewegung.....	20
Tabelle 6: Phasenstruktur der Kletterbewegung	22
Tabelle 7: Klettertechniken	27
Tabelle 8: Elementare Tritttechniken	37
Tabelle 9: Analyseparameter der Vorbereitungsphase	64
Tabelle 10: Analyseparameter der Hauptphase.....	68
Tabelle 11: Analyseparameter der Endphase	70
Tabelle 12: Qualitative Analyseparameter	70
Tabelle 13: Allgemeine Werte.....	86
Tabelle 14: Normalverteilte Werte beim Zug nach rechts	89
Tabelle 15: Normalverteilte Werte beim Zug nach links	92
Tabelle 16: Überprüfung der Normalverteilung beim Zug nach rechts	95
Tabelle 17: Überprüfung der Normalverteilung beim Zug nach links.....	96
Tabelle 18: T-Test auf Unterschiede - Zug rechts.....	97
Tabelle 19: T-Test auf Unterschiede - Zug links	98
Tabelle 20: U-Test für nicht normalverteilte Daten.....	98
Tabelle 21: U-Test für qualitative Daten	99

10. Anhang

10.1 Fragebogen für Probanden

Erhebung relevanter Daten zum Thema kinematische Analyse im Sportklettern

Information: Jegliche Inhalte, welche im Rahmen der Testung erhoben werden, werden anonym und vertraulich behandelt. Niemand wird namentlich erwähnt, ohne dass hierbei vorab eine persönliche Anfrage erfolgt! Daher bitte ich Sie eindringlich die Daten korrekt anzugeben.

1.) Testdatum: _____

2.) Zu- und Vorname: _____

3.) Geschlecht: weiblich männlich

4.) Alter in Jahren: _____

5.) Größe in cm: _____

6.) Körpergewicht in kg: _____

7.) Armspannweite in cm: _____

8.) Rotpunktniveau franz.: _____

9.) Bevorzugte Kletterei: Vorstiegsklettern an Kunstwänden

Bouldern an Kunstwänden

Sportklettern am Fels

Bouldern am Fels

Alpine Mehrseillängenrouten

10.) Prozentuelle Aufteilung der Kletterei über das Jahr (Summe: 100%):

_____% Vorstiegsklettern an Kunstwänden

_____% Bouldern an Kunstwänden

_____% Sportklettern am Fels

_____% Bouldern am Fels

_____% Alpine Mehrseillängenrouten

11.) Ich klettere nun seit _____ Jahren.

10.2 *Information Probandensuche*

Info: Probandensuche für Diplomarbeit

Thema der Diplomarbeit: „Kinematische Analyse der Zeit- Wegparamter während der Standardbewegung beim Sportklettern: Vergleich von Anfängern und Fortgeschrittenen bei der Bewegungstechnik Eindrehen.“

Ziel: Welche Unterschiede kann man in der Eindrehbewegung zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen mittels Bewegungsanalyse (Kameras) erkennen?

Voraussetzungen für die Teilnahme:

- männliche Probanden
- Größe 175 – 185cm +/- 3cm
- annähernd normalgewichtig (BMI zwischen 18 und 25)
- jegliche Könnensstufe
- Alter 15 - 60

Termine: Mittwoch, 23.06.2010 ab 17:00
Donnerstag, 24.06.2010 ab 8:30
Samstag, 26.06.2010 ab 8:30 und ab 17:00

Ort: Kletterzentrum Südwand: Plättenstraße 2; 2380 Perchtoldsdorf
<http://www.kletterzentrum-suedwand.at/>

Ablauf: Nach einem kurzen Aufwärmen werden die Probanden beim Lösen einer einfachen Bewegungsaufgabe an der Boulderwand gefilmt. Danach kann jeder, der gerne möchte, *gratis* noch in der Kletterhalle bleiben.

Ausrüstung: Kletterschuhe, enge Hose, enges T-Shirt (oder freier Oberkörper), Klettersachen für nachher

Magisterarbeit: Sportklettern
Betreuer: Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Arnold Baca

Bitte unbedingt Anmeldung unter niki.k@schmelzweb.at mit Bekanntgabe von Namen, Handynummer und Terminwunsch! Leitet diese Info an ALLE weiter, die ihr kennt und die noch Interesse haben könnten und die Voraussetzungen erfüllen!

DANKE!!!

10.3 *Ablaufplan Aufnahmetage*

1.) Aufbau

- a. Griffe bunt markieren
- b. Brett aus Halle nach oben
- c. Kamera auf Brett positionieren
- d. Brettposition, Stativposition und Stativhöhe markieren und ausmessen
- e. hinter Kamera Scheinwerfer 1 positionieren
- f. Marker an Wand anbringen + Markierung
- g. Gerüst aufbauen
- h. Markierung für Marker an Schnur
- i. Marker an Schnur
- j. Gerüst weg
- k. Marker auf Boden
- l. Kalibrierungsaufnahme Kamera seitlich
- m. Kamera in Gang aufstellen und Position Stativ, Stativhöhe markieren
- n. hinter Kamera Scheinwerfer 2
- o. Marker auf Wand umkleben und Punkte markieren
- p. Kalibrierungsaufnahme Kamera vorne

2.) Aufnahmen

- a. Zettel an Probanden austeilen, Armspannweite und Größe messen
- b. Leute mit Markern bekleben
- c. Situation erläutern
- d. Leute in Grundposition vor Wand schicken
- e. Kamera an
- f. Blitz für Synchronisation
- g. Start der Eindrehbewegung bis stabile Endposition erreicht
- h. Abklettern in Grundposition
- i. Start Eindrehbewegung andere Richtung bis Endposition

- j. Kamera aus
- k. Probanden bitten vorsichtig wieder von der Wand wegzugehen
- l. Marker auf nächsten Probanden umkleben

3.) Abbau

- a. Scheinwerfer
- b. Marker
- c. Kameras

10.4 Lebenslauf

Werdegang:

Name	Nicole KAUPA, Bakk.
Geburtsdatum	16.09.1985 in Wien
10.2010 – 05.2011	Kurse am Raritan Valley Community College in New Jersey, USA, im Bereich Marketing und Ernährung
10.2008 – 04.2013	Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport Studienrichtung: Magisterstudium Sportwissenschaft
Seit 10.2007	Universität Wien Studienrichtung: Lehramtsstudium Bewegung und Sport & Physik
10.2004 – 07.2008	Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport Studienrichtung: Bakkalaureat Sportmanagement
09.2000 – 06.2004	Neusprachliches Gymnasium St. Ursula Wien Schwerpunkt: Sprachen (Deutsch, Englisch, Italienisch, Latein) Abschluss: Reifeprüfung mit gutem Erfolg

Weitere Ausbildungen:

09. 2009	Ausbildung zur staatlich geprüften Instruktorin Sportklettern Breitensport an der BAFL Graz
09. 2007	Ausbildung zur diplomierten Masseurin im Massageinstitut Herricht, Wien
2004 – 2007	Begleitlehrerin Schilaf und Snowboarden, Übungsleiter Sportklettern
Seit 09. 2005	Ausbildung zur Jugendleiterin beim ÖAV, in Folge jährliche Fortbildungen im Bereich Outdooraktivitäten und Erlebnispädagogik

Auslandserfahrung:

08.2010 – 09.2011	Arbeit bei Cultural Care als AuPair in den USA, New Jersey
-------------------	--

Relevante Berufserfahrung:

- | | |
|-------------------|---|
| 05.2012 – 11.2012 | Trainerin und Ernährungsberaterin im Fitnessstudio Lifestyle Ladies Mödling |
| 05.2008 – 07.2010 | Arbeit im orthopädischen Spital Speising, Wien
Betreuung der Radanalyse im BewegungsanalySELabor unter Dr. Andreas Kranzl, Mitarbeit im Labor für Bewegungsanalyse |
| 10.2009 – 01.2010 | Studienassistentin am Institut für Sportwissenschaft in der Abteilung für Biomechanik/ Bewegungswissenschaft und Sportinformatik |
| 2006 - 2010 | Mitarbeit in der Studienrichtungsververtretung, sowie Fakultätsvertretung, Sportwissenschaften an der Universität Wien (2 Jahre davon als 1. Vorsitzende) |