

Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Leistungsdiagnostik im Sportklettern: Projektbericht

Claudia Augste, Marvin Winkler, Stefan Künzell

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Augste, Claudia, Marvin Winkler, and Stefan Künzell. 2020. "Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Leistungsdiagnostik im Sportklettern: Projektbericht." Augsburg: Universität Augsburg.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright

Dieses Dokument wird unter folgenden Bedingungen zur Verfügung gestellt: / This document is made available under these conditions:

Deutsches Urheberrecht

Weitere Informationen finden Sie unter: / For more information see:

<https://www.uni-augsburg.de/de/organisation/bibliothek/publizieren-zitieren-archivieren/publiz/>





Institut für Sportwissenschaft



Universität
Augsburg
University



Abschlussbericht
zum Projekt

**„Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Leistungs-
diagnostik im Sportklettern“**

(BISp ZMVI4-070707/18-19)

Claudia Augste, Marvin Winkler und Stefan Künzell

Kooperationspartner:



Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung.....	3
2	Theoretischer Hintergrund.....	4
2.1	Forschungsstand.....	4
2.1.1	Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Leistungsdiagnostik	4
2.1.2	Forschungsstand zur Leistungsdiagnostik im Sportklettern	5
2.1.3	Forschungsdesiderat.....	6
3	Prüfung bisher bestehender leistungsdiagnostischer Tests	7
3.1	Methode	7
3.2	Ergebnisse	7
4	Entwicklung neuer Tests	9
4.1	Methode	9
4.1.1	Tests	9
4.1.2	Stichprobe und Durchführung.....	11
4.2	Ergebnisse	11
4.2.1	Koordinationstest	11
4.2.2	Taktiktest.....	12
4.2.3	Bewegungsvorstellungstest.....	12
4.2.4	Kletterspezifischer Sprungkrafttest.....	12
4.2.5	Fingerkrafttest an schmaler Leiste.....	12
4.2.6	Test der maximalen Zugkraft bei gebeugtem Arm	13
4.2.7	Intermittierender Fingerkraftausdauerstest.....	13
4.2.8	Körperspannungstest	13
4.2.9	Hüftbeweglichkeitstest.....	13
4.2.10	Zusammenfassung.....	14
5	Erstellung des Leistungsstrukturmodells	15
5.1	Methode	15
5.2	Ergebnisse	17
5.2.1	Deskriptive Ergebnisse.....	17
5.2.2	Empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale	19
5.2.3	Prioritätenkatalog der leistungsrelevanten Merkmale	22
5.2.4	Leistungsstrukturmodelle	23
6	Diskussion.....	27
7	Literaturverzeichnis	30

1 Problemstellung

Am 4. August 2016 traf die Vollversammlung des IOC eine Entscheidung über die fünf neu aufzunehmenden Disziplinen bei den Olympischen Spielen von Tokio 2020. Neben Skateboardfahren, Karate, Base- bzw. Softball und Surfen ist auch das Sportklettern bei den nächsten Spielen dabei.

Im Sportklettern werden zurzeit wettkampfmäßig drei Disziplinen durchgeführt. Im „Lead-“ oder Schwierigkeitsklettern muss eine unbekannte, immer schwerer werdende mindestens 15 m lange Route so hoch wie möglich, im Idealfall bis zum obersten Griff im Vorstieg durchklettert werden. Im „Speedklettern“ muss eine genormte, bekannte Route so schnell wie möglich in Toprope-Sicherung durchklettert werden und beim Bouldern müssen diffizile Kletterprobleme in Absprunghöhe in möglichst wenigen Versuchen gelöst werden. Durch die Vorgabe des IOC, die Anzahl der zu vergebenden Medaillen in neuen Sportarten zu minimieren, wird bei den Olympischen Spielen im Sportklettern eine kombinierte Wertung aller drei Wettkampfformen erfolgen.

Am 11. März 2017 wurde über das endgültige Format des olympischen Kletterwettkampfs entschieden. Im „Olympic Combined“-Wettkampf werden in einer Vorrunde 20 qualifizierte Athleten pro Geschlecht innerhalb von 2 bis 3 Tagen in allen drei Disziplinen antreten. Die jeweiligen Platzierungen werden multipliziert. Der Athlet¹ mit dem kleinsten Wert ist der Bestplatzierte. An einem weiteren Tag wird dann eine Finalrunde der besten Sechs stattfinden, an dem alle drei Disziplinen „en bloc“ geklettert werden.

Vor der Entscheidung des IOC für die kombinierte Wertung bei den Olympischen Spielen war der überwiegende Teil der Sportkletterer spezialisiert. Im Ranking der Weltspitze waren im Bouldern und Lead unter den Top 20 einige Athleten in beiden Disziplinen zu finden, diese tauchten jedoch in den Top 20 im Speed nicht auf. Umgekehrt haben die Top 20 der Weltcups im Speedklettern keine Chance, im Bouldern oder Lead eine vordere Position zu erreichen. Offensichtlich sind die Anforderungen zwischen Speed und den beiden anderen Disziplinen unterschiedlich. Dies ist für die kombinierte Wertung eine große Herausforderung.

Um die Athleten optimal auf den „Olympic Combined“-Wettkampf vorzubereiten ist es dringend erforderlich, Trainingsziele zu definieren. Da bisher weder Leistungsstrukturmodelle der einzelnen Kletterdisziplinen noch für das „Olympic Combined“-Format vorlagen, mussten diese zunächst erarbeitet werden, denn „die Strukturierung sportlicher Leistungen schafft die wichtigste Voraussetzung für die Zielplanung des Trainings“ (Hohmann, Lames & Letzelter, 2010, S. 216). Hohmann et al. sehen es als „eine Hauptaufgabe der trainingswissenschaftlichen Forschung, sportart- geschlechts- alters- und leistungsniveauspezifische Leistungsstrukturmodelle zu erarbeiten“ (ebd.). Die Erstellung dieser Leistungsstrukturmodelle erfolgt über die „trainingswissenschaftliche Leistungsdiagnostik“ (Hohmann et al., 2010, S. 147). Da diese bisher im Sportklettern nicht existierte, war es eine zentrale Problemstellung, eine Testbatterie zu entwickeln, die einerseits der wissenschaftlich fundierten Strukturierung der Kletterleistung dient, die aber auch zur trainingspraktischen Leistungsdiagnostik eingesetzt werden kann. Letztere dient dazu, Stärken und Schwächen der Spitzenathleten zu identifizieren und daraus Trainingsmaßnahmen abzuleiten.

¹ Alle maskulinen Bezeichnungen schließen alle Geschlechter ein. Dies geschieht ausschließlich aus Gründen der besseren Lesbarkeit.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Forschungsstand

2.1.1 Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Leistungsdiagnostik

Die Leistungsdiagnostik hat zwei Hauptaufgaben. Sie soll einerseits Aufschluss darüber geben, was in einer bestimmten Sportart relevante Leistungskomponenten sind, also was diagnostiziert werden muss. Andererseits soll sie über die Stärken und Schwächen der einzelnen Athleten informieren und die Kontrolle des Trainingserfolgs ermöglichen. Sie soll also definieren, wie relevante Leistungskomponenten gemessen werden. Ersteres nennen Hohmann et al. (2010) die „trainingswissenschaftliche Leistungsdiagnostik“, letzteres die „trainingspraktische Leistungsdiagnostik“.

Die leistungsrelevanten Faktoren werden über eine Modellierung der Leistungsstruktur einer Sportart bestimmt. Sportartübergreifend besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass neben Umweltbedingungen die Leistungsvoraussetzungen in Konstitution, Kondition, Technik und Taktik gegliedert werden können (Gundlach, 1980; Schnabel, Harre & Krug, 2008), die die Leistungsfähigkeit bestimmen. Auf diese Voraussetzungen bauen die Wettkampfwirksamkeit und schließlich die Wettkampfleistung auf (Büsch, Heinisch & Lüdemann, 2016; Hohmann & Brack, 1983).

Während für die Strukturierung und die Diagnose der allgemeinen konditionellen Leistungskomponenten in der Sportwissenschaft weitgehende Übereinstimmung herrscht, gibt es für Strukturierung und Diagnostik der koordinativen Leistungskomponenten verschiedene Ansätze, die allesamt in Bezug auf leistungsdiagnostische Verfahren sehr vage bleiben. Nach Neumaier (2003) werden zur Erstellung eines koordinativen Anforderungsprofils für die jeweilige Sportart typische Situationen gefunden und daraufhin analysiert, welche Informationsanforderungen dabei gestellt werden. Hier werden optische, akustische, taktile, kinästhetische und vestibuläre Anforderungen unterschieden. Hinzu kommen die in der Situation vorherrschenden Druckbedingungen. Diese können in Form von Präzisionsdruck, Zeitdruck, Komplexitätsdruck, Situationsdruck und Belastungsdruck auftreten. Allerdings geschieht diese Analyse auf der Grundlage von Plausibilitätsbetrachtungen, sie grenzt sich explizit von „daten-zentrierten, d.h. auf Leistungsdiagnosen basierenden Ansätzen“ ab (Neumaier, Mechling & Strauß, 2002, S. 9). Da explizit nicht von Fähigkeiten ausgegangen wird, kann auch nicht die Fähigkeit zur Bewältigung einzelner Druckbedingungen empirisch-statistisch diagnostiziert werden, sondern sie muss in der konkreten Bewegungssituation der jeweiligen Sportart diagnostisch festgestellt werden.

Nach einem Vorschlag von Büsch et al. (2016, S. 7) sollen für die Entwicklung eines sportartspezifischen Leistungsstrukturmodells „die impliziten, plausiblen und in der Praxis bewährten Herangehensweisen der Trainer in den einzelnen Sportarten sowie die theoretisch-inhaltlich hergeleiteten Leistungsstrukturmodelle der Trainingswissenschaft zusammengeführt werden“. Zur Identifikation der leistungsrelevanten Merkmale und ihrer Priorisierung müssen nach Hohmann et al. (2010) zunächst die hypothetisch leistungsrelevanten Merkmale bestimmt und daraus die logisch leistungsrelevanten ausgewählt werden. Um die Leistungsrelevanz logisch zu begründen ist die Analyse der Belastungsstruktur des Wettkampfs erforderlich. Nach dieser Auswahl sollen mit Varianz- oder Korrelationsanalytischen Kriterien diejenigen empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale identifiziert werden, die Leistungsstärkere von Leistungsschwächeren überzufällig unterscheiden. Hohmann et al. (2010) gehen davon aus, dass die Höhe der Korrelationskoeffizienten die Reihenfolge dieser Merkmale im Prioritätenkatalog

bestimmt. Zuletzt werden über die interne Ordnung Beziehungen zwischen den Merkmalen dargestellt. So kann man über Faktorenanalysen zusammenhängende Merkmalsgruppen identifizieren (horizontale interne Ordnung) und über Strukturgleichungsmodelle oder multiple Regressionsanalysen die Beziehungen zwischen verschiedenen Modellebenen (vertikale interne Ordnung).

Um empirisch-statistische Überprüfungen des Leistungsstrukturmodells durchzuführen, müssen die entsprechenden Leistungskomponenten gemessen werden. Da es sich häufig um latente, nicht direkt beobachtbare Komponenten handelt, müssen geeignete Indikatoren entwickelt werden, mit deren Hilfe die Ausprägung der relevanten Komponenten bestimmt werden kann. Während die Messung allgemeiner konditioneller Komponenten weitgehend standardisiert ist, stellt die Messung der speziellen konditionellen Leistungskomponenten und der technischen, taktischen und psychischen Leistungskomponenten eine Herausforderung dar.

Zusammenfassend muss für die Entwicklung einer Leistungsdiagnostik in einer Sportart ein Leistungsstrukturmodell der Sportart erarbeitet werden, das die relevanten Leistungskomponenten identifiziert und ihre Einflussgröße bestimmt. Zudem müssen Indikatoren und Messverfahren entwickelt werden, mithilfe derer die individuelle Ausprägung der relevanten Leistungskomponenten bei den Athleten bestimmt werden kann.

2.1.2 Forschungsstand zur Leistungsdiagnostik im Sportklettern

Wie bereits oben erwähnt, plädieren Büsch et al. (2016) dafür, das für die trainingswissenschaftliche Leistungsdiagnostik erforderliche Leistungsstrukturmodell unter Einbeziehung der Expertise von Trainern zu erstellen. Von Augste und Künzell (Augste & Künzell, 2017) wurde in einem qualitativen Verfahren das Expertenwissen über die Leistungskomponenten von Spitzenkletterern von fünf deutschsprachigen Nationaltrainern sowie einer Landestrainerin erhoben und analysiert. Dabei wurde explizit auf die Unterschiede in den verschiedenen Kletterdisziplinen eingegangen, aber auch auf geschlechtsspezifische Unterschiede sowie die praktizierte Anwendung leistungsdiagnostischer Maßnahmen. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Kletterleistung als ein sehr komplexes Gefüge aus verschiedenen Anforderungen angesehen wird und dass keine standardisierte, wissenschaftlich abgesicherte Leistungsdiagnostik existiert. In den Leistungskadern Deutschlands, Österreichs und der Schweiz werden „selbstgestrickte“ leistungsdiagnostische Tests verwendet, die sich vor allem auf die Kraft und die Kraftausdauer beziehen. Die Wichtigkeit technischer und psychischer Leistungskomponenten wurde aber betont.

In den letzten zehn Jahren wurden mehrere Untersuchungen publiziert, die den Zusammenhang von vermuteten einzelnen Leistungskomponenten und der Kletterleistung analysierten. Die bisher am meisten berücksichtigte Leistungskomponente ist die relative isometrische Maximalkraft von Finger- und Armbeugern. Regelmäßiges Ergebnis der Untersuchungen dazu ist, dass Elite-Kletterer über ein besseres Fingerkraft-Gewichts-Verhältnis verfügen als fortgeschrittene Kletterer, Kletteranfänger und Nicht-Kletterer (Baláš, Pecha, Martin & Cochrane, 2012; Laffaye, Collin, Levernier & Padulo, 2014; Macdonald & Callender, 2011; MacLeod, Sutherland, Buntin, Whitaker, Aitchison, Watt, Bradley & Grant, 2007; Wall, Starek, Fleck & Byrnes, 2004). Die eingesetzten Testverfahren sind insgesamt sehr vielfältig und reichen von isolierten Maximalkrafttests (Fanchini, Violette, Impellizzeri & Maffiuletti, 2013; Macdonald & Callender, 2011; Vigouroux, Goislard de Monsabert & Berton, 2015) über Kraftausdauer tests (Deyhle, Hsu, Fairfield, Cadez-Schmidt, Gurney & Mermier, 2015; Michailov, Morrison, Ketentliev & Pentcheva, 2015; Philippe, Wegst, Müller, Raschner & Burtscher, 2012) bis hin zu praxisnahen Feldtests (Amca, Vigouroux, Aritan & Berton, 2012; Bertuzzi, Franchini, Tricoli, Lima-Silva, Pires, Okuno & Kiss, 2012; Brent, Draper, Hodgson & Blackwell, 2009; Donath & Wolf,

2015). Am besten ausgearbeitet ist eine Testbatterie der International Rock Climbing Research Association (IRCRA), die aus zehn Tests zur Bestimmung der kletterspezifischen Beweglichkeit, Kraft- und Ausdauerleistung besteht (2015).

Aus drei Gründen können diese Untersuchungen lediglich als Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Leistungsdiagnostik dienen. Erstens beschränken sich die Validierungen der Tests häufig auf eine Disziplin des Sportkletterns. Meist lag der Forschungsfokus bislang auf dem Lead-Klettern (Donath & Wolf, 2015; Magiera, Rocznio, Maszczyk, Czuba, Kantyka & Kurek, 2013; Philippe et al., 2012), wenngleich auch zum Bouldern inzwischen einige Studien veröffentlicht wurden (Fanchini et al., 2013; Laffaye et al., 2014; Macdonald & Callender, 2011). Speedklettern ist wissenschaftlich bis auf wenige Ausnahmen (Fuss & Niegl, 2006; Lau, 2010) bislang ein weitgehend unbeschriebenes Blatt. Zweitens beschränken sich die Publikationen auf einzelne, sehr spezielle Leistungsvoraussetzungen, vornehmlich auf die Kraft- und Ausdauerfähigkeiten speziell der Arme, Hände und Finger (Baláš et al., 2012; Deyhle et al., 2015; Laffaye et al., 2014; Philippe et al., 2012; Vigouroux et al., 2015). Hier ist vor allem das Ausklammern der koordinativ-technischen und psychischen Leistungsvoraussetzungen problematisch. Drittens sind die für die Validierung der Tests untersuchten Personengruppen nur in einigen Fällen hochklassige Kletterer (Donath & Wolf, 2015; Michailov et al., 2015), bestehen aber des Öfteren nur aus Anfängern und Fortgeschrittenen. Darüber hinaus sind deutlich häufiger Studien zu männlichen Kletterern als zu weiblichen Kletterinnen zu finden.

Während es also durchaus einige Untersuchungen zum Zusammenhang von einzelnen Leistungskomponenten und der Kletterleistung gibt, sind Magiera et al. (2013) bisher die Einzigen, die eine datenbasierte Leistungsstrukturanalyse des Kletterns publiziert haben. In ihrer Untersuchung konnten 7 Eigenschaften 77% der Varianz in der Lead-Kletterleistung zwischen 30 sehr guten männlichen Kletterern (Onsight-Kletterleistung zwischen 7a und 8a) aufklären: Fingerkraft, Mentale Ausdauer, Technik, isometrische Kraftausdauer der Finger, Fehler in einem komplexen Reaktionstest und Verhältnis von Armspannweite zu Körperlänge. Leider geben die Autorinnen und Autoren keine Auskunft über die Messverfahren, so dass die Validität der Ergebnisse nicht eingeschätzt und auch nicht überprüft werden kann.

2.1.3 Forschungsdesiderat

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bisher weder ein Leistungsstrukturmodell des Sportkletterns, noch eine wissenschaftlich fundierte Leistungsdiagnostik für das Sportklettern existierten. Um diese Lücke zu schließen, sind einige Arbeitsschritte nötig. Hierzu gehört zunächst das Evaluieren von Tests leistungsrelevanter Merkmale, die bereits im Spitzenbereich angewendet werden. Für alle Leistungskomponenten, für die noch keine Diagnosetools existieren, die aber nach Expertenmeinung oder als Ergebnis von Wettkampfanalysen relevant für die Kletterleistung sind, müssen neue Tests entwickelt werden. Auch diese müssen vor ihrem Einsatz im Spitzenbereich auf ihre Messgüte hin überprüft werden. Mit der so gewonnenen Testbatterie muss dann eine Datenerhebung mit Kletterern verschiedener Leistungsklassen durchgeführt werden, um die empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale zu identifizieren. Der nächste Arbeitsschritt besteht in der Bestimmung der internen Ordnung dieser Merkmale über Faktorenanalysen und Regressionsanalysen. Auf dieser Basis können dann in allen drei Disziplinen geschlechtsspezifische Leistungsstrukturmodelle erstellt werden. Ist die Leistungsstruktur ermittelt, können im Anschluss für die Leistungsdiagnostik die Tests ausgewählt werden, mit denen die Komponenten der Kletterleistung gemessen werden.

3 Prüfung bisher bestehender leistungsdagnostischer Tests

3.1 Methode

Im ersten Arbeitsschritt wurde die vom internationalen Fachgremium, der IRCRA, entwickelte Testbatterie auf ihre Testgüte hin überprüft. Die Testbatterie besteht aus insgesamt 10 Tests zur Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer der Finger, oberen Extremitäten und des Rumpfes sowie der Hüftbeweglichkeit (2015).

Für den Test wurde eine Klumpenstichprobe herangezogen. Diese bestand aus 12 Augsburger Stützpunktathleten (8 weiblich, 4 männlich), die auf Bayerischen Meisterschaften starten. Diese kamen in kleinen Gruppen (2 - 3 Personen) zu separaten Testterminen in die Räumlichkeiten der Universität Augsburg. Die Athleten waren durchschnittlich 15,6 Jahre alt ($\pm 3,2$ Jahre) und gaben auf der IRCRA Reporting Scale eine Kletterbestleistung von 19,5 ($\pm 2,6$) an. Die Stichprobe ist repräsentativ für die Spitze der bayerischen Nachwuchskletterer in den jeweiligen Altersklassen.

Zur Bestimmung der Objektivität, insbesondere der Durchführungsobjektivität, wurden bei der Datenerhebung jeweils zwei unabhängige Rater eingesetzt und daraufhin der Objektivitätskoeffizient ermittelt. Zur Überprüfung der Reliabilität wurde mit einer Woche Abstand ein Retest durchgeführt und der Korrelationskoeffizient berechnet. Dadurch dass die Tests von hochrangigen Trainern und Kletterexperten mit wissenschaftlichem Hintergrund (IRCRA) entwickelt wurden, ist von einer hohen Inhaltsvalidität auszugehen. Die Bestimmung der Kriteriumsvalidität wurde durch eine Korrelation der Testwerte mit der Kletterleistung vorgenommen. Dabei wurde für das Speedklettern die beste bisher erzielte Zeit in der Normspeedroute herangezogen und für das Leadklettern der höchste gekletterte Schwierigkeitsgrad (Rotpunkt) laut IRCRA-Skala. Für das Bouldern wurde eine interne Rangliste der Stichprobe aufgrund der angegebenen schwierigsten gekletterten Boulder in den Augsburger Boulderhallen erstellt. Eine Angabe des IRCRA-Skalenwertes war für das Bouldern nicht möglich, da dieser in den Hallen nicht ausgewiesen ist.

3.2 Ergebnisse

Die deskriptiven Ergebnisse der 10 IRCRA-Tests sind in Tabelle 1 dargestellt. Für die Berechnung der Mittelwerte pro Testaufgabe wurde jeweils der Mittelwert beider Rater pro Versuch ermittelt und anschließend der Bestwert der Versuche herangezogen.

Die Interraterobjektivität wurde für 7 der 10 Tests bestimmt. Die Messung der maximalen Fingerkraft wurde mittels Kraftmessplatte vorgenommen, sodass diese unabhängig vom Untersucher war. Für das Bestimmen des Messwerts beim Powerslap musste der Rater auf eine Leiter steigen und den Wert ablesen. Da bei diesem Test nicht mit Problemen bei der Objektivität zu rechnen war, wurde aus testökonomischen Gründen auf ein doppeltes Ablesen verzichtet. Bei den Klimmzügen waren zwar jeweils zwei Rater zugegen. Bei allen Versuchen war jedoch das Abbruchkriterium so eindeutig, dass hier keine weitere Objektivitätsüberprüfung stattfand. Die Retests fanden analog mit 2 Ratern statt. Aus den Mittelwerten der Rater des Tests und des Retests wurde der Test-Retest-Korrelationskoeffizient berechnet. Die Ergebnisse der Objektivitäts- und Reliabilitätstests sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab 1. Mittelwerte und Standardabweichungen der Stützpunktathleten bei den IRCRA-Tests

Testaufgabe	links		rechts	
	MW	SD	MW	SD
Climbing specific foot-raise with rotation [cm]	173,9	13,7	172,5	14,3
Climbing specific foot-raise without rotation [cm]	128,7	24,2	125,9	21,5
Maximal finger strength (open position) [kg]	47,4	14,8	48,6	18,2
Maximal finger strength (crimp position) [kg]	41,8	15,0	41,7	15,2
Power slap [cm]	12,7	13,1	10,8	13,1
Bent arm hang one arm [s]	13,4	11,9	12,1	9,1
	MW	SD		
Bent arm hang two arms [s]	73,6	39,9		
Finger hang [s]	70,8	18,6		
Pull-up shoulder endurance [Anzahl]	9,8	3,1		
Plank [s]	170,3	88,3		
90° bent leg raise [s]	70,4	20,9		

Tab. 2. Objektivitäts- und Reliabilitätskoeffizienten der IRCRA-Tests

Testaufgabe	Objektivitätskoeffizient	Reliabilitätskoeffizient	Validitätskoeffizient Bouldern	Validitätskoeffizient Lead	Validitätskoeffizient Speed
Climbing specific foot-raise with rotation	,999	,813	,629	,835	,675
Climbing specific foot-raise without rotation	,999	,542	,353	,445	,599
Maximal finger strength		,973	,601	,820	,692
Power slap		,910	,600	,826	,752
Bent arm hang one arm	>,999	,983	-,194	,238	-,428
Bent arm hang two arms	,998	,902	,650	,721	,415
Finger hang	,986	,924	,278	,399	-,155
Pull-ups		,849	,359	,654	,385
Plank	,863	,837	,178	,023	-,056
90° bent leg raise	,998	,668	,267	,420	,154

Der Grad der Objektivität war bei der Aufgabe „Plank“ annehmbar, bei allen anderen Tests ausgezeichnet. Beim Test zur Hüftbeweglichkeit ohne Rotation war die Reliabilität fraglich. Dies führte dazu, dass der Beweglichkeitstest für die weitere Anwendung leicht modifiziert wurde. Für alle anderen Tests war die Test-Retest-Reliabilität annehmbar, sehr gut oder ausgezeichnet, so dass einer weiteren Verwendung aus dieser Sicht nichts im Wege stand. Beim Powerslaptest stellte sich heraus, dass die Reliabilität noch höher war, wenn nicht der Differenzwert aus Reichhöhe und Testhöhe, sondern die absolute Testhöhe herangezogen wurde. Da dies noch dazu testökonomischer ist, wurde der Testwert im Weiteren auf diese Weise bestimmt. Bezüglich der Validität wiesen die Tests zur Hüftbeweglichkeit mit Rotation, zur maximalen Fingerkraft und zum Powerslap mindestens bei einer der Disziplinen einen sehr guten Validitätskoeffizienten auf und verblieben somit im Testpool. Das einarmige Blockieren (bent arm hang one arm) und die „Plank“ erwiesen sich als unbrauchbar. Die Fingerkraftausdauer

(finger hang) zeigte innerhalb der Disziplinen inhaltlich logisch für das Leadklettern den höchsten Validitätskoeffizienten. Da dieser jedoch noch nicht zufrieden stellend hoch war, wurde auch dieser Tests im weiteren Projektverlauf modifiziert. Die beiden Tests beidarmig Blockieren (bent arm hang two arms) und Klimmzüge (pull-ups) wiesen hauptsächlich für das Leadklettern eine zufrieden stellende Validität auf, testeten jedoch eine sehr ähnliche motorische Komponente ab, so dass auch hier über eine testökonomischere Alternative nachgedacht wurde. Aufgrund der Koeffizienten sowie der negativen Rückmeldungen der Athleten zu den beiden Rumpfkraftausdauer Tests Plank und Knieheben (90° bent leg raise) wurde beschlossen, hierfür einen neuen Test zu entwickeln.

4 Entwicklung neuer Tests

Für alle hypothetisch und logisch leistungsrelevanten Leistungskomponenten, für die noch keine Diagnosetools existierten, die aber nach Expertenmeinung oder als Ergebnis von Wettkampfanalysen relevant für die Kletterleistung sind, wurden neue Tests entwickelt. Auch diese Tests sollten hinsichtlich ihrer Testgüte evaluiert werden. Des Weiteren wurden die IRCRA-Tests, die sich als nicht hinreichend objektiv, reliabel oder valide herausgestellt hatten, modifiziert, bzw. für die entsprechenden Leistungskomponenten ersatzweise neue Tests konzipiert.

4.1 Methode

4.1.1 Tests

4.1.1.1 Koordinationstest

Als relevante Leistungsmerkmale wurden von den Nationaltrainern technisch-koordinative Anforderungen genannt (Augste & Künzler, 2017). Zur Überprüfung der kletterspezifischen Koordination wurde als Test ein seitlicher Sprung an die Wand („Wandsprung“) mit möglichst präzisiertem gleichzeitigem Kontakt mit allen vier Extremitäten an die definierten Klettergriffe konzipiert (s. Augste, Winkler & Künzler, 2020). Die drei Sprünge von rechts und links wurden mit Highspeed-Kameras erfasst. Die Testauswertung bezog sich auf die zeitliche Differenz vom ersten bis zum vierten Kontakt.

4.1.1.2 Taktiktest

Für die Leistungskomponente Taktik wurde ein Online-Fragebogen entwickelt, bei dem die Athleten aus fiktiven aktuellen Wettkampfergebnissen ihrer Konkurrenten ableiten sollten, welche Leistungen ihrerseits nötig wären, um eine bestimmte Platzierung zu erreichen. Die Auswertung erfolgte über die absolute Quote der richtigen Antworten sowie die Quote in Relation zur Antwortzeit.

4.1.1.3 Bewegungsvorstellungstest

Für die Erfassung der räumlichen Vorstellungsfähigkeit wurden 4 verschiedene Boulderprobleme fotografiert. Diese Fotos wurden dann mit einer Software bearbeitet, sodass neben dem Original noch 4 weitere fehlerhafte Kopien existierten. Innerhalb des Tests durften die Athleten analog zur Wettkampfsituation jeweils 2 Minuten lang das Original betrachten und mussten dann innerhalb von jeweils 18 Sekunden die Fehler in den Kopien finden und diese markieren. Die 18 Sekunden bezogen sich auf die in eigenen Wettkampfanalysen internationaler Wettkämpfe ermittelte Dauer, bis Athleten nach Ertönen des Startsignals nach einer erneuten kurzen Besichtigung in den Boulder einsteigen. Die Anzahl der gefundenen Fehler stellte den Messwert dar.

4.1.1.4 Kletterspezifischer Sprungkrafttest

Des Weiteren gab es bislang keinen validierten kletterspezifischen Test, der die Schnellkraft der Beine bei dynamischen Zügen und Sprüngen abbildet. Hierfür wurde ein Test entwickelt, bei dem von einer Kraftmessplatte auf einem Sprungtisch einbeinig aus einer kletterspezifischen Position möglichst hoch gesprungen wird („Sprung aus hohem Antreten“) (s. Augste et al., 2020).

4.1.1.5 Fingerkrafttest an schmaler Leiste

In Ergänzung zum IRCRA-Finger-Maximalkraft-Test an der 23-mm-Leiste sollte nach Absprache mit den Trainern analog auch noch ein Test an einer 8-mm-Leiste durchgeführt werden, weil hierbei hypothetisch noch andere Muskeln (m. flexor digitorum superficialis) beansprucht werden und dies auch Auswirkungen auf Trainingsinhalte haben könnte.

4.1.1.6 Test der maximalen Zugkraft bei gebeugtem Arm

Da die IRCRA-Testbatterie keinen Test zur Erfassung der Maximalkraft bei gebeugtem Arm beinhaltete, wurden hierfür zwei mögliche Tests konzipiert. Zum einen sollte das Einerwiederholungsmaximum (1-RPM) im einarmigen dynamischen Klimmzug bestimmt werden. Die andere Alternative bestand aus einem einarmigen statischen Maximalkrafttest gegen einen festen Widerstand (MVIC) mit rechtwinklig gebeugtem Arm („Einarmiges Blockieren“) (s. Augste et al., 2020). Das Protokoll glich hierbei dem der Erhebung der maximalen Fingerkraft.

4.1.1.7 Intermittierender Fingerkraftausdauerstest

Über Wettkampfanalysen bei je einem internationalen Kletterwettkampf pro Disziplin für Männer und Frauen (Bouldern: Weltcup 2018 in Meiringen; Lead und Speed: Weltcup 2018 in Chamonix; kombiniertes Format: Weltmeisterschaft 2018 in Innsbruck) konnten die Belastungsanforderungen des Kletterns objektiviert werden und daraus die Leistungskriterien genauer spezifiziert werden. Die Griffhaltezeit betrug im Leadklettern durchschnittlich 7 Sekunden, gefolgt von einer zweisekündigen Phase, in der die Hand zum nächsten Griff bewegt wurde. Auf dieser Grundlage wurde ein intermittierender Fingerkraftausdauerstest („intermittierendes Leistenhängen“) entwickelt. Die Athleten sollten sich jeweils 7 Sekunden mit beiden Händen an eine Leiste hängen und danach eine kurze Pause von 2 Sekunden machen. Diesen Ablauf sollten sie so oft wie möglich wiederholen. Die Anzahl der vollständig absolvierten Wiederholungen stellte den Messwert der Fingerkraftausdauer dar (s. Augste et al., 2020). Zusätzlich wurden die Athleten bei diesem Test an beiden Unterarmen über dem m. flexor digitorum profundus mit einem Nah-Infrarot-Sensor ausgestattet. Hiermit sollten Daten für eine Beschreibung von Komponenten der lokalen Muskelkraftausdauer erfasst und explorativ analysiert werden.

4.1.1.8 Körperspannungstest

In Bezug auf die Körperspannung ist im Klettern sowohl die Maximalkraft, als auch die Kraftausdauer gefragt. Da weder der IRCRA-Test „Plank“ noch das 90°-Knieheben eine zufrieden stellende Testgüte, insbesondere hinsichtlich der Validität, aufzeigten, wurde für die Körperspannung ein neuer, kletterspezifischer Test entwickelt. An einem Testbrett mit 60 ° negativer Neigung („Überhang“) mussten für den Maximalkrafttest die Füße von den Tritten gleichzeitig gelöst werden, während sich die Athleten mit den Händen an einer Holzstange festhielten. Gemessen wurde der maximale Rückschwungwinkel, der von den Athleten möglichst klein gehalten werden sollte („Schwung abfangen“) (s. Augste et al., 2020). Beim Kraftausdauerstest („Tritte angeln“) sollten die Athleten so oft wie möglich alternierend die Tritte mit den Füßen „angeln“. Gezählt wurde die Anzahl der korrekten Wiederholungen (s. Augste et al., 2020).

4.1.1.9 Hüftbeweglichkeitstest

Der Test zur Messung der Hüftbeweglichkeit „ohne Rotation“, was einem möglichst hohen Anheben des Knies an der Wand entspricht („seitliches Knieheben“), wurde gegenüber dem IRCRA-Test in einem ersten Schritt dahingehend modifiziert, dass der Testwert nicht mehr an einer seitlichen Skala abgelesen wurde, sondern direkt unter dem Kletterschuh. Dies sollte dadurch gewährleistet sein, dass am Kletterschuh ein Stift befestigt wurde, mit dem am höchsten Punkt der Bewegung ein Strich an die Wand „gemalt“ wurde.

4.1.2 Stichprobe und Durchführung

Die Evaluierung der neuen Messverfahren fand wieder anhand von Klumpenstichproben statt. Diesmal nahmen 17 jugendliche Athleten des Augsburger DAV-Stützpunktes sowie weitere 16 Jugendliche des Landeskaders Bayern teil (19 weiblich, 14 männlich). Die Athleten waren durchschnittlich 15,0 Jahre alt ($\pm 2,6$ Jahre) und verzeichneten auf der IRCRA Reporting Scale eine Kletterbestleistung von $21,7 \pm 3,3$. Die Stichprobe ist repräsentativ für die Spitze der bayrischen und deutschen Nachwuchskletterer in den jeweiligen Altersklassen. Die Untersuchung unterlag von den Rahmenbedingungen her hinsichtlich einiger Kriterien gewissen Einschränkungen, so dass sie eher explorativen Charakter hatte. Die Untersuchung fand während der normalen Trainingstermine des Stützpunkts bzw. innerhalb des Landeskadertrainings in der Kletterhalle des Landesleistungszentrums statt. Dadurch stand für die Tests nur ein begrenztes Zeitbudget zur Verfügung. Deshalb wurde der Test so organisiert, dass die Athleten mit einem Laufzettel von Teststation zu Teststation gingen und versuchten, möglichst alle Tests zu absolvieren. Außerdem konnte nicht gewährleistet werden, dass an jeder Station zwei Tester zur Verfügung standen um die Interraterobjektivität bestimmen zu können. Auch kamen nur acht Athleten zu mindestens zwei der möglichen vier Testtermine, so dass die Überprüfung der Test-Retest-Reliabilität kaum möglich war. Des Weiteren kam hinzu, dass bei offensichtlichen Problemen bei der Durchführung des ein oder anderen neuen Tests dieser bereits für den folgenden Testtag modifiziert wurde, um letztlich einen optimalen Test als Resultat dieser Arbeitsphase zu erhalten.

Die Bestimmung der Kriteriumsvalidität wurde, sofern möglich, durch eine Korrelation der Testwerte mit der Kletterleistung vorgenommen. Dabei wurde für das Speedklettern die beste bisher erzielte Zeit in der Normsspeedroute herangezogen und für das Leadklettern und Bouldern der höchste dreimal gekletterte Schwierigkeitsgrad (Rotpunkt) laut IRCRA-Skala.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Koordinationstest

Der Test in seiner ursprünglichen Form sah eine leicht negative Wandneigung vor. Die Griffe für die beiden Hände waren deshalb relativ gut haltbar. Dies führte dazu, dass die Testanweisung, alle Griffe und Tritte gleichzeitig zu berühren, weder funktionell war noch der Kletterrealität entsprach, da sich die Kletterer an den Griffen halten konnten ohne die Füße zu benutzen. Der Test wurde deshalb nach den ersten beiden Testtagen dahingehend verändert, dass die Wand nicht mehr überhängend war, dafür die zu haltenden Griffe aber deutlich schlechter, so dass zur erfolgreichen Lösung der Bewegungsaufgabe auch die Füße gesetzt werden mussten. Somit wurde für eine bessere externe Validität gesorgt, jedoch standen durch die Veränderung des Tests keine Retest-Daten zur Verfügung. Innerhalb der 3 Versuche an einem Testtag wurde die Reliabilität mit 0,86 als ausreichend beurteilt. Der Mittelwert ($n = 15$) vom 1. bis zum 4. Kontakt betrug 1,49 Sekunden ($\pm 0,49$ Sekunden). Etwas überraschend zeigten sich die höchsten Zusammenhänge zwischen Testleistung und Leadkletterleistung ($r = 0,518$) und

etwas geringere Zusammenhänge mit der Leistung im Bouldern und Speedklettern. Nichtsdestotrotz erschien der Test in der modifizierten Version als geeigneter Indikator der Koordination im Klettern.

4.2.2 Taktiktest

Die Athleten ($n = 24$) konnten 47 % (± 26 %) der teilweise kniffligen Taktikaufgaben richtig lösen. Sie benötigten für die richtigen Antworten durchschnittlich 45 Sekunden (± 21 Sekunden). Es ergab sich ein Index von 3,7 ($\pm 2,3$) richtige Antworten pro Minute. Die Speedkletterzeit war von der taktischen Kompetenz erwartungsgemäß unabhängig. Problematisch war bei der Validitätsabschätzung dieses Tests für das Bouldern und Leadklettern, dass aus logischen Erwägungen nicht wie bei allen anderen Tests die höchsten gekletterten Schwierigkeitsgrade relevant waren, sondern die Wettkampfleistung. Aufgrund der vielen verschiedenen Altersklassen pro Geschlecht war es jedoch nicht möglich, eine aussagekräftige Rangfolge der getesteten Athleten zu erstellen. Da des Weiteren für jeden Testdurchlauf aufwändig neue Taktikaufgaben erstellt werden müssten, wurde auf eine Aufnahme des Taktiktests in den Testpool verzichtet.

4.2.3 Bewegungsvorstellungstest

Die Athleten ($n = 25$) fanden 45 % (± 12 %) der Fehler bei den manipulierten Fotos der besichtigten Boulderprobleme. Die Auswertungsobjektivität bei diesem Test war etwas problematisch, da nicht immer ganz klar zu erkennen war, ob die Athleten genau den richtigen Bereich markiert hatten. Dass die Fähigkeit, sich besichtigte Routenabschnitte genau zu merken, relevant für die Kletterleistung ist, zeigte sich durch die Korrelationen mit den Lead- und Boulderschwierigkeitsgraden. Auch hier stellte das Speedklettern an der Normroute die Ausnahme dar, da die Bestzeit völlig unabhängig von der „Merkfähigkeit“ war.

4.2.4 Kletterspezifischer Sprungkrafttest

Beim „Sprung aus hohem Antreten“ zeigte sich, dass die Testanweisung, beim einbeinigen Sprung mit dem anderen Bein keine Ausholbewegung auszuführen, von den Athleten nicht immer umgesetzt wurde und somit die Durchführungsobjektivität eingeschränkt war. Im Durchschnitt sprangen die Athleten ($n = 25$) 14,4 cm ($\pm 3,8$ cm) mit dem linken und 14,7 cm ($\pm 4,3$ cm) mit dem rechten Bein. Die Reliabilität innerhalb der 3 Versuche einer Session war akzeptabel (r zwischen 0,76 und 0,92). Für den Retest zeigte sich jedoch eine unakzeptable Reliabilität. Die Ursachen hierfür wurden darin gesehen, dass einerseits den Retest nur acht Probanden durchgeführt hatten. Andererseits wird die Aufgabe tatsächlich bei etwas anderer Winkelstellung des oberen Beins ungleich leichter bzw. schwieriger. Beim Retest wurde möglicherweise nicht genau dieselbe Ausgangsposition eingenommen. Als Konsequenz sollte dieser Test unter der Prämisse in den Testpool aufgenommen werden, dass die Winkelstellung sowie die Testdurchführung durch den Versuchsleiter genauer kontrolliert werden sollte.

4.2.5 Fingerkrafttest an schmaler Leiste

Beim „einhändigen Leistenziehen“ an der 8-mm-Leiste waren gegenüber dem Test an der 23-mm-Leiste keine Unterschiede bezüglich Objektivität und Reliabilität zu erwarten. Die Athleten ($n = 21$) konnten mit offener Fingerstellung durchschnittlich 30 kg (± 10 kg) „ziehen“, was 53 % (± 12 %) des Körpergewichts entsprach, mit aufgestellter Fingerstellung 30 kg (± 6 kg) bzw. 49 % (± 7 %) des Körpergewichts. Hinsichtlich der Validität zeigten sich für das Leadklettern, das Bouldern und auch für das Speedklettern vor allem bei hängender Fingerstellung leichte bis mittlere positive Zusammenhänge. Obwohl die Kriteriumsvalidität insgesamt nicht so hoch

wie erwartet war, wurde der Test in die Batterie mit aufgenommen, da hypothetisch bei absoluten Spitzenathleten gerade an der kleinen Leiste noch größere Effekte zu erwarten waren.

4.2.6 Test der maximalen Zugkraft bei gebeugtem Arm

Für die Messung der Maximalkraft bei gebeugtem Arm erwies sich die Bestimmung des 1-RPM im einarmigen Klimmzug als sehr zeitaufwändig und deshalb unbrauchbar für eine Testbatterie ($n = 6$, 1-RPM bei durchschnittlich 36 % Körpergewichtsentlastung). Beim „einarmigen Blockieren“ erreichten die Versuchspersonen ($n = 22$) absolute Durchschnittswerte von „gezogenen“ 48,8 kg ($\pm 17,1$ kg) mit dem linken und 48,1 kg ($\pm 18,5$ kg) mit dem rechten Arm, was einem Wert von 85,6 % ($\pm 17,2$ %) bzw. 85,1 % ($\pm 19,6$ %) des Körpergewichts entsprach. Für diesen Test war die Reliabilität zwischen zwei hintereinander durchgeführten Testversuchen mit $r = 0,989$ (rechts) bzw. $r = 0,973$ (links) sehr hoch. Bezüglich der Validität erwies sich letzteres Verfahren als eines der aussagekräftigsten im Hinblick auf die Leistung im Bouldern ($r > 0,8$), Lead- ($r > 0,65$) und Speedklettern ($r > 0,7$). Somit sollte auch dieser Test in die Testbatterie aufgenommen werden.

4.2.7 Intermittierender Fingerkraftausdauerstest

Die Athleten ($n = 20$) schafften beim „intermittierenden Leistenhängen“ durchschnittlich 18 (± 12) Wiederholungen. Im Hinblick auf eine gute Durchführungsobjektivität war bei diesem Test darauf zu achten, dass die Athleten nicht länger als die veranschlagten zwei Sekunden Pause machten, bis sie sich wieder an den Griff hängten. Ansonsten war bei der Objektivität mit keinen Einschränkungen zu rechnen, da das Abbruchkriterium, dass der Griff nicht mehr gehalten werden konnte, eindeutig war. Für diesen recht anstrengenden Test wurde kein Re-test durchgeführt. Da Ausdauerleistungen jedoch grundsätzlich gegenüber einer Merkmalsfluktuation relativ stabil sind und auch die Testbedingungen gut konstant gehalten werden konnten, wird dieser Test als recht reliabel eingeschätzt. Bezüglich der Kletterleistung zeigten sich niedrige bis mittlere Zusammenhänge für alle drei Disziplinen, so dass der Test in den Testpool aufgenommen wurde.

4.2.8 Körperspannungstest

Bei der ersten Testvariante rotierte die Stange, an der sich die Athleten festhielten, nach dem Loslassen der Füße von den Tritten. Die Rotation sollte durch eine maximale Körperspannung möglichst gering gehalten werden. Da diese Art der Bewegung für die Athleten ($n = 9$) ungewohnt war und sich von der realen Situation beim Klettern unterschied, wurde nach den ersten beiden Testtagen auch dieser Test nochmals leicht modifiziert. Die Stange wurde nun fixiert und der Rückschwungwinkel der Athleten ($n = 16$) wurde über eine App auf einem am Rücken befestigten Smartphone gemessen. Dieser betrug durchschnittlich 71° ($\pm 14^\circ$), also schwenkten die Athleten nicht ganz bis zur Senkrechten zurück. Der gefundene Zusammenhang mit der Boulder- und Leadleistung rechtfertigte die Aufnahme des Tests in die Testbatterie.

Dasselbe gilt für den Körperspannungsausdauer-Test „Tritte angeln“ an der gleichen Messapparatur. Bei diesem Test war die Stange von Anfang an fixiert, so dass hier die Messwerte von allen Athleten ($n = 29$) in die Auswertung eingingen. Die Athleten schafften im Schnitt 17 (± 12) Wiederholungen. Der Zusammenhang mit der Leadleistung ($r = 0,739$) war etwas höher als mit der Boulderleistung ($r = 0,647$).

4.2.9 Hüftbeweglichkeitstest

Beim „seitlichen Knieheben“ stellte sich nach den ersten beiden Erhebungstagen heraus, dass in der Praxis das Fixieren des Stiftes am Schuh schwer durchführbar war. Deshalb wurde der

Test für die folgenden Tage nochmals modifiziert. Das letztlich angewendete Verfahren bestand darin, dass der Messwert am höchsten Punkt des Knies abgelesen wurde (s. Augste et al., 2020). Dies war einerseits testökonomisch, andererseits war die Möglichkeit des „Schummeln“ durch ein Lösen des Knies von der Wand minimiert. In der finalen Variante konnten die Athleten ($n = 6$) das Knie durchschnittlich bis auf eine Höhe von 140 cm (± 12 cm) links und von 141 cm (± 11 cm) rechts anheben. Die Reliabilität zwischen zwei hintereinander durchgeführten Testversuchen war mit $r = 0,949$ (rechts) bzw. $r = 0,987$ (links) sehr hoch. Für das Bouldern und das Leadklettern konnten starke Zusammenhänge sowohl mit der absoluten Tritthöhe als auch mit der Tritthöhe relativ zur Körpergröße nachgewiesen werden (alle r zwischen 0,879 und 0,949). Die Speedkletterleistung war dagegen wiederum erwartungsgemäß unabhängig von der Beweglichkeit, da in der Normroute keine durch die Beweglichkeit limitierten Züge zu bewältigen sind. Der modifizierte Test wurde somit als geeigneteres Verfahren im Vergleich zum IRCRA-Test bewertet.

4.2.10 Zusammenfassung

In Tabelle 3 sind die neu entwickelten und modifizierten Tests nochmals abschließend bewertet.

Tab 3. Zusammenfassende Bewertung der neu entwickelten bzw. modifizierten Tests

Testverfahren	Bewertung
Wandsprung Überhang [s]	ungeeignet
Wandsprung vertikale Wand [s]	geeignet
Taktiktest [Index]	unklar
Bouldermerktest Papier [Punkte]	bedingt geeignet
Sprung aus hohem Antreten [cm]	bedingt geeignet
Einhändiges Leistenziehen (8mm) [% des Körpergewichts]	geeignet
1-RPM Klimmzug [% des Körpergewichts]	unpraktikabel
Einarmiges Blockieren [% des Körpergewichts]	geeignet
intermittierendes Fingerhängen [Anzahl]	geeignet
Schwung abfangen [°] rotierende Stange	ungeeignet
Schwung abfangen [°] fixierte Stange	geeignet
Tritte angeln [Anzahl]	geeignet
Seitliches Knieheben – Ablesung an Fußsohle	unpraktikabel
Seitliches Knieheben – Ablesung am Knie	geeignet

Nach Beendigung der empirischen Studien zu den neu entwickelten und modifizierten Tests und der Auswertung zeigte sich, dass trotz sorgfältiger Vorgehensweise noch Modifikationen und Ergänzungen der Testbatterie nötig waren. Deshalb wurden ohne weitere Vorstudien teilweise noch Änderungen bei einzelnen Tests in den Testanweisungen oder bei den Durchführungsmodalitäten vorgenommen, teilweise wurden auch noch zusätzliche Tests in die Testbatterie aufgenommen.

Der Bouldermerktest wurde weiterentwickelt in einen Test, der noch mehr auf die Erfassung der Bewegungsvorstellung der Athleten abzielen sollte. Dieser bestand daraus, dass die Athleten vier Boulder nicht auf dem Papier, sondern direkt an der Wand jeweils zwei Minuten lang besichtigen und in eine Tabelle eintragen mussten, wie sie den Boulder klettern würden („Routenplanung“). Dabei mussten sie angeben, mit welcher Extremität sie welchen Griff bzw. Tritt in welcher Reihenfolge benutzen würden. Im Anschluss mussten sie die Boulder im Wett-

kampfmodus klettern, was per Video aufgezeichnet wurde. Die Übereinstimmung der vorhergesagten mit der tatsächlich gekletterten Route ergab die Leistung in diesem Test (s. Augste et al., 2020).

Da die Werte des Sprungs aus hohem Antreten nicht gänzlich überzeugend waren, wurde einerseits versucht durch Präzisierung der Testanweisung validere Messergebnisse zu erzielen. Andererseits wurden die hoch standardisierten und weit verbreiteten Sprungkrafttests „Counter-Movement-Jump (CMJ)“ und „Squat Jump (SJ)“ ergänzend aufgenommen. Der CMJ sollte dabei sowohl beidbeinig, als auch einbeinig durchgeführt werden (s. Augste et al., 2020).

Bei den Beweglichkeitstests wurde die Leiste zum Festhalten so hoch angebracht, dass die Athleten ihre Arme komplett strecken mussten, da dies laut der Rückmeldung der Athleten wettkampfähnlicher ist.

Als Alternative zum Fingerhängetest aus der IRCRA-Testbatterie, bei dem einzelne Athleten bis zu zwei Minuten an der Leiste hingen, wurde ein 30-Sekunden-all-out-Test in Erwägung gezogen. Bei diesem Test muss der Athlet 30 Sekunden lang so fest er kann mit einer Hand an einer 23-mm-Leiste ziehen („30-Sekunden-Leistenziehen“). Das durchschnittlich gezogene Gewicht wird erfasst (s. Augste et al., 2020).

Zur Erfassung der kletterspezifischen Technik wurde noch ein komplett neuer Test aufgenommen. Bei diesem Test sollte ein „Standard-Kletterzug“ aus einer tiefen Körperposition einmal zu einem Griff rechts oben und einmal gespiegelt nach links oben durchgeführt werden, um so einen Rechts-Links-Vergleich durchführen zu können. Dieser Zug wurde mit vier Kameras aufgezeichnet und sollte einer 3D-Bewegungsanalyse (Fa. Contemplas) unterzogen werden. Dafür wurden die Athleten an 18 Körperpunkten mit reflektierenden Markern versehen. Die zu erfassenden Parameter waren die Verläufe des Körperschwerpunkts im Abstand zur Wand sowie die Winkel-Zeit-Verläufe beim Initiieren der Bewegungen.

Ausführliche Beschreibungen der Tests sind im Testmanual (Augste et al., 2020) dokumentiert.

5 Erstellung des Leistungsstrukturmodells

Der nächste Projektschritt bestand darin, die hypothetisch und logisch leistungsrelevanten Merkmale der drei Sportkletterdisziplinen in empirisch-statistisch leistungsrelevante Merkmale zu überführen und daraus ein Leistungsstrukturmodell zu erstellen.

5.1 Methode

Dazu wurde mit den in Kapitel 4 vorgestellten Messverfahren eine Datenerhebung mit Kletterern verschiedener Leistungsklassen durchgeführt. Ergänzend wurden des Weiteren die konstitutionellen Merkmale Körpergröße und -gewicht, Körperfettanteil und Armspannweite erfasst. Als Stichprobe waren alle Nationalkader-, Jugendnationalkader- und Bayernkaderathleten ab der Jugend A vorgesehen, sowie weitere auf Landesebene startende Wettkampfkletterer. Die Rekrutierung der Stichprobe erfolgte zunächst über die jeweiligen Kadertrainer. Da die Teilnahme freiwillig erfolgte, konnten nicht, wie erhofft, alle Kaderathleten getestet werden. Die Quote lag beim Nationalkader bei 71 % (6 weiblich, 10 männlich), beim Nachwuchsnationalkader bei 40 % (2 weiblich, 4 männlich) und beim Bayernkader bei 45 % (2 weiblich, 3 männlich). Es muss konstatiert werden, dass keiner der 4 Athleten des Olympiakaders (1 weiblich,

3 männlich) an der Untersuchung teilnahm und dadurch Werte der absoluten Topathleten für die Leistungsstrukturanalyse nicht vorliegen. Um die geforderte Stichprobengröße an Landeskaderathleten zu erreichen, wurde der Test zusätzlich mit 9 Athleten des NRW-Kaders (6 weiblich, 3 männlich) sowie 3 Athleten des Hessenkaders (2 weiblich, 1 männlich) durchgeführt. Über Aushänge in Kletterhallen, Ankündigungen in den social media und persönliche Einladungen wurden weitere 22 mindestens auf Landesebene startende Wettkampfkletterer (8 weiblich, 14 männlich) rekrutiert. Somit ergab sich eine Stichprobengröße von 26 weiblichen und 35 männlichen Wettkampfkletterern. Die Stichprobe wurde noch durch 22 regelmäßig trainierende Kletterer, die nicht an Wettkämpfen teilnehmen, auf insgesamt 83 Athleten (31 weiblich, 52 männlich) ergänzt. Deren Werte dienten allerdings nur zur Referenz und wurden bei den Analysen der Wettkampf-Leistungsstruktur nicht berücksichtigt.

Aufgrund unterschiedlichster Ursachen enthalten einige Datensätze fehlende Werte. Bei den Tests musste die maximale Leistung von den Athleten erbracht werden. Wenn ein Athlet eine Blessur, bspw. an einem Finger, hatte oder sich für einen Test nicht hundertprozentig fit fühlte, ließ er den jeweiligen Test aus. In wenigen Fällen reichte die zur Verfügung stehende Zeit nicht aus, um alle vorgesehenen Tests zu absolvieren. Außerdem füllten nicht alle Athleten die Fragebögen vollständig aus. Die fehlenden Werte der unabhängigen Variablen wurden durch multiple Imputationen mit 20 Iterationen (Corbeil, 2016) geschätzt.

Die Kletterleistung als abhängige Variable der Untersuchung wurde folgendermaßen operationalisiert. Für die Wettkampfleistungen im Lead, Bouldern und Olympic Combined wurden die Platzierungen bei allen offiziellen Kletterwettkämpfer der Jahre 2018 und 2019 herangezogen und daraus eine Rangliste der Athleten erstellt. Ein Athlet erhielt dabei einen besseren Ranglistenplatz als ein anderer, wenn er insgesamt häufiger vor diesem platziert war. Als Kriterium für die Leistung im Speedklettern wurde für die persönliche Bestzeit in der Normroute herangezogen. Diese wurde aus den öffentlich zugänglichen Wettkampfergebnissen entnommen und ergänzt mit persönlichen Trainingsbestzeiten, die über offizielle Messanlagen gestoppt wurden.

Die in den Leistungstests mithilfe der Testbatterie erhobenen Daten (s. Tab. 3) wurden herangezogen, um die empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale zu identifizieren. Hierbei muss noch erwähnt werden, dass es Schwierigkeiten bezüglich des Techniktests beim „Standardzug“ gab. Der Aufwand, die Körperpunkte über den Bewegungsverlauf in 3D zu tracken, war so unverhältnismäßig hoch und die Qualität des Outputs demgegenüber so gering, dass der Test nach der Durchführung mit den Landeskaderathleten eingestellt wurde. Für diese Leistungskomponente einen eigenen Test zu entwickeln, könnte in ein eigenes Projekt ausgelagert werden. Bei allen anderen Tests kam es weder bei der Durchführung noch bei der Auswertung zu größeren Problemen.

Zunächst wurde mit T-Tests geprüft, ob sich die Mittelwerte der zu überprüfenden Merkmale bei verschiedenen Leistungsgruppen (bestes Drittel gegenüber schlechtestem Drittel) in den Disziplinen Bouldern, Lead, Speed und Combined signifikant unterscheiden. Anschließend wurde der Zusammenhang zwischen der Merkmalsausprägung und der jeweiligen Kletterleistung berechnet. Dabei wurde für jede Leistungskomponente zunächst die Art des Zusammenhangs überprüft, da nicht immer von einem linearen Zusammenhang auszugehen war. Dabei gingen sowohl die empirische Verteilung der Daten als auch theoretische Vorannahmen und das Expertenwissen in die Modellierung des Zusammenhangs ein.

Als nächster Schritt wurde die horizontale interne Ordnung der identifizierten Leistungskomponenten für die jeweilige Disziplin durch Faktorenanalysen bestimmt. Bei der Selektion hinsichtlich der Faktoranzahl und der Rotationsmethode wurde das sogenannte Interpretierbarkeitskriterium präferiert, bei dem möglichst eine Einfachstruktur erreicht wurde. So konnten auch inhaltlich zusammenhängende Merkmalsgruppen identifiziert werden, was später für die Ableitung von Trainingsmaßnahmen von Bedeutung ist. Auch für die abzuleitende trainingspraktische Leistungsdiagnostik kann darauf basierend das einflussreichste Merkmal jeder Gruppe als Testkriterium ausgewählt werden. Dieses Vorgehen wurde für jede der drei Wettkampfdisziplinen separat durchgeführt sowie in einem weiteren Schritt auch für die kombinierte Wertung.

Für die Überführung aller leistungsrelevanter Merkmale in ein Leistungsstrukturmodell musste nun noch die vertikale interne Ordnung analysiert werden. Dies erfolgte in unserer Studie dadurch, dass multiple Regressionsanalysen mit den aus den Faktorenanalysen hervorgegangenen Prädiktorvariablen berechnet wurden. Auch diese Analysen wurden sowohl für alle drei Disziplinen separat als auch für die kombinierte Wertung durchgeführt.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Deskriptive Ergebnisse

Für die Aussagekraft der Leistungsstrukturmodelle ist es wichtig, die Merkmale der Stichprobe bezüglich des Trainings- und Leistungszustands zu kennen. Diese sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4. Merkmale der Stichprobe für die Datenerhebung zur Erstellung des Leistungsstrukturmodells.

	Damen			Herren		
	N	MW	SD	N	MW	SD
Alter [Jahre]	26	18,1	1,9	35	21,4	6,4
Kletterleistung ¹ Lead	22	19,7	2,1	33	22,4	2,6
Kletterleistung ¹ Bouldern	21	21,1	2,1	32	24,6	2,6
Bestzeit Normroute Speed [s]	22	12,78	2,97	26	11,00	4,49
Trainingseinheiten/Woche ²	21	4,6	1,4	33	5,0	1,9
Dauer/Trainingseinheit ² [min]	21	178	42	32	167	32
Anteil Leadtraining ² [%]	13	39	26	25	36	17
Anteil Bouldertraining ² [%]	9	46	22	21	56	20
Anteil Speedtraining ² [%]	13	12	6	12	8	6
Anteil Indoorklettern ² [%]	21	82	20	31	87	9
Körpergröße [cm]	26	166,0	4,3	35	176,5	6,3
Körpergewicht [kg]	26	58,5	4,9	35	66,3	7,3
Körperfettanteil	26	18,0	3,8	35	8,2	2,9
Armspannweite [cm]	26	168,5	4,9	35	184,1	7,7
Affenindex ³	26	1,02	0,02	35	1,04	0,02

Legende: ¹ 3 x Rotpunkt geklettert in den letzten 3 Monaten lt. IRCRA Reporting Scale, ² innerhalb der letzten 12 Monate („Sonstiges Training“ in der Tabelle nicht angezeigt), ³ Armspannweite/Körpergröße

Die Damen sind mit einem durchschnittlichen Alter von 18 Jahren gerade erst im Seniorenbereich angekommen, wohingegen die Herren mit 21 Jahren schon deutlich routinierter sind. Bezugnehmend auf die internationale Klassifizierung von Kletterern (Draper et al., 2015) fallen

bei den Damen im Bouldern 4 Athletinnen in den Bereich „Advanced“ (Level 3 von 5) und 17 in den Bereich „Elite“ (Level 4), im Leadklettern sind es 14 „Advanced“- und 8 „Elite“-Kletterinnen. Bei den Herren sind im Bouldern 7 Athleten „Advanced“, 18 „Elite“ und 6 „Higher Elite“ (Level 5). Im Leadklettern sind 3 „Intermediate“ (Level 2 von 5), 15 „Advanced“, 13 „Elite“ und ein Athlet ist „Higher Elite“. Bei den Speedzeiten fällt auf, dass keiner der deutschen Athleten mit den Speedspezialisten der Weltspitze auch nur annähernd mithalten kann (getestete deutsche Speedrekordhalterin (6/2019): 9,152 s vs. Weltrekord: 7,101 s). Dies wird untermauert durch den geringen Anteil an Speedtraining (ca. 10 %) bei den untersuchten Athleten. Insgesamt ist der durchschnittliche Trainingsumfang mit 4-5 fast dreistündigen wöchentlichen Trainingseinheiten relativ hoch. Die Körpergröße liegt bei den Frauen genau im deutschen Durchschnitt, bei den Männern geringfügig darunter (NCD Risk Factor Collaboration, 2017). Der Körperfettanteil ist bei beiden Geschlechtern im niedrigen Bereich (NCD Risk Factor Collaboration, 2016). Durchschnittlich ist die Armspannweite etwas größer als die Körpergröße (Affindex > 1).

In Tabelle 5 sind die deskriptiven Ergebnisse aller Tests der Testbatterie dargestellt. Erwartungsgemäß erzielten die Herren in allen kraft- und ausdauerbezogenen Tests höhere Werte als die Damen. Diese schnitten im Beweglichkeitstest „seitliches Knieheben“ besser ab. Keine Unterschiede sind im Koordinationstest zu verzeichnen, jedoch gelingt die Bewegungsvorstellung der zu kletternden Boulder den Herren besser als den Damen.

Tab. 5. Deskriptive Ergebnisse aus der Testbatterie

	Damen			Herren		
	N	MW	SD	N	MW	SD
Einh. Leistenziehen 23 mm offen [%] ¹	19	85,6	11,2	30	97,8	16,9
Einh. Leistenziehen 23 mm aufg. [%] ¹	20	76,4	10,7	29	92,2	12,1
Einh. Leistenziehen 8 mm offen [%] ¹	18	44,3	6,5	23	50,9	10,7
Einh. Leistenziehen 8 mm aufg. [%] ¹	18	43,2	6,6	24	55,6	10,0
Einarmiges Blockieren [%] ¹	22	85,1	12,0	33	106,5	12,7
Schwung abfangen [°]	12	-65,3	18,3	19	-66,3	14,9
Powerslap [cm]	22	80,1	8,7	30	98,3	8,5
Powerslap [%] ²	22	47,7	5,2	29	52,9	3,9
Sprung aus hohem Antreten [cm]	20	11,3	2,3	28	13,9	3,7
CMJ beidbeinig [cm]	20	28,9	3,8	31	37,7	6,0
CMJ einbeinig [cm]	18	13,8	2,1	25	17,2	4,0
Sprunghöhe SJ beidbeinig [cm]	20	26,9	3,5	31	35,4	5,6
Intermittierendes Leistenhängen [WH]	16	11,9	3,9	26	16,3	6,0
30-Sekunden-Leistenziehen [%] ¹	17	55,1	8,2	26	71,5	9,8
Tritte angeln [WH]	20	10,4	6,7	25	27,7	11,6
Seitlich-frontales Beinheben [cm]	22	146,9	26,1	30	129,9	16,6
Seitlich-frontales Beinheben [%] ³	22	89,2	16,7	31	74,7	10,3
Seitliches Knieheben [cm]	21	93,6	6,0	30	98,3	5,1
Seitliches Knieheben [%] ³	21	56,8	3,5	28	55,4	1,9
Wandsprung [s]	20	0,94	0,66	29	1,15	0,52
Routenplanung [%] ⁴	18	48,6	11,3	22	55,5	11,0

Legende: ¹ relativ zum Körpergewicht, ² relativ zur Armspannweite, ³ relativ zur Körpergröße, ⁴ Übereinstimmung mit realem Kletterversuch

5.2.2 Empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale

Zur Bestimmung der empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale wurde nun geprüft, ob zwischen den Kletterern verschiedener Leistungsniveaus signifikante Unterschiede ergeben. Die Ergebnisse zeigen, dass die getesteten Merkmale für die jeweiligen Disziplinen und für die beiden Geschlechter unterschiedlich relevant für die Kletterleistung sind (s. Tab. 6a und 6b).

Tab. 6a. T-Tests für anthropometrische Größen und Testvariablen der Damen

	Bouldern T-Wert	Lead T-Wert	Speed T-Wert	Combined T-Wert
Körpergröße	-1,755	-,924	,909	-2,693*
Armspannweite	-,792	,138	,507	-2,251*
Affenindex	,788	1,341	-,256	,235
Körpergewicht	-,368	-,633	,729	-1,155
Körperfettanteil	-,046	-,627	-1,310	-1,521
Einh. Leistenziehen 23 mm offen	1,023	1,212	-,325	,947
Einh. Leistenziehen 23 mm aufg.	2,146*	,281	,902	2,456*
Einh. Leistenziehen 8 mm offen	2,120	1,473	,583	1,487
Einh. Leistenziehen 8 mm aufg.	1,390	1,258	2,635*	2,328*
Einarmiges Blockieren	3,305**	3,197**	2,440*	4,056**
Schwung abfangen	-1,061	-1,203	-,331	-,554
Powerslap absolut	3,601**	2,602*	2,939*	3,089*
Powerslap relativ	3,526**	2,639*	2,677*	4,208**
Sprung aus hohem Antreten	1,457	,954	1,640	2,613*
CMJ beidbeinig	1,169	,504	1,914	2,072
CMJ einbeinig	,859	,918	2,838*	1,453
SJ beidbeinig	1,666	,608	2,416*	3,521**
Intermittierendes Leistenhängen	2,663*	2,642*	-,958	2,479*
30-Sekunden-Leistenziehen	-1,174	-2,458*	1,061	-,539
Tritte angeln	2,110	1,486	1,597	4,019**
Seitlich-frontales Beinheben abs.	3,370**	1,094	1,037	2,074
Seitlich-frontales Beinheben rel.	3,622**	1,185	,913	2,463*
Seitliches Knieheben absolut	,707	1,437	-,189	,621
Seitliches Knieheben relativ	1,819	1,769	-,516	1,673
Wandsprung	-1,510	,044	-2,738*	-1,635
Routenplanung	1,209	,694	-,028	2,232*

Legende: * p < ,05; ** p < ,01

Tab. 6b. T-Tests für anthropometrische Größen und Testvariablen der Herren

	Bouldern T-Wert	Lead T-Wert	Speed T-Wert	Combined T-Wert
Körpergröße	-,849	,052	-1,148	-,775
Armspannweite	-,386	,59	-,403	-,957
Affenindex	,410	,030	1,238	-,608
Körpergewicht	-,585	,653	-,815	-1,732
Körperfettanteil	-3,148**	-2,483*	,540	-2,092
Einh. Leistenziehen 23 mm offen	1,545	1,640	,081	1,313

Einh. Leistenziehen 23 mm aufg.	2,079*	2,458*	,418	2,661*
Einh. Leistenziehen 8 mm offen	-,230	,099	1,066	,728
Einh. Leistenziehen 8 mm aufg.	1,444	1,944	1,373	1,436
Einarmiges Blockieren	3,429**	2,580*	1,095	2,802*
Schwung abfangen	,123	,836	1,209	,038
Powerslap absolut	3,428**	2,345*	1,984	1,143
Powerslap relativ	4,854**	2,470*	2,284*	1,657
Sprung aus hohem Antreten	3,991**	1,606	2,994**	2,690*
CMJ beidbeinig	3,531**	1,569	1,848	3,459**
CMJ einbeinig	2,724*	1,142	2,321*	2,932*
SJ beidbeinig	4,068**	1,784	2,568*	4,246**
Intermittierendes Leistenhängen	1,574	1,422	2,396*	2,353*
30-Sekunden-Leistenziehen	3,109**	,922	,657	3,317*
Tritte angeln	,745	2,554*	1,787	,084
Seitlich-frontales Beinheben abs.	,554	,585	,278	,269
Seitlich-frontales Beinheben rel.	,743	,533	,601	,458
Seitliches Knieheben absolut	,596	,681	-,574	-,905
Seitliches Knieheben relativ	,818	,643	,405	-,633
Wandsprung	-2,678*	-2,605*	-,090	-1,946
Routenplanung	1,806	2,282*	-1,211	,155

Legende: * p < ,05; ** p < ,01

Auch bei der Betrachtung der Zusammenhänge von anthropometrischen Größen und Testvariablen mit der Kletterleistung ist zu erkennen, dass es zwischen den Geschlechtern und Disziplinen Unterschiede in der Relevanz einzelner Merkmale gibt (s. Tab. 7a und 7b).

Tab. 7a. Korrelationen der anthropometrischen Größen und Testvariablen mit der Kletterleistung der Damen

	Bouldern	Lead	Speed	Combined
	r	r	r	r
Körpergröße	,247	,189	-,041	,438
Armspannweite	,072	-,073	-,196	,397
Affenindex	-,177	-,348	-,204	-,060
Körpergewicht	,061	,035	-,137	,067
Körperfettanteil	,128	,152	,379	,446
Einh. Leistenziehen 23 mm offen	-,066	-,250	,170	-,046
Einh. Leistenziehen 23 mm aufg.	-,208	-,162	-,015	-,400
Einh. Leistenziehen 8 mm offen	-,346	-,275	-,122	-,304
Einh. Leistenziehen 8 mm aufg.	-,238	-,252	-,389	-,491*
Einarmiges Blockieren	-,483*	-,624**	-,543**	-,687**
Schwung abfangen	,208	,305	-,006	,223
Powerslap absolut	-,489*	-,636**	-,564**	-,597*
Powerslap relativ	-,492*	-,624**	-,504*	-,655**
Sprung aus hohem Antreten	-,375	-,315	-,498*	-,560*
CMJ beidbeinig	-,239	-,274	-,601**	-,538*
CMJ einbeinig	-,263	-,336	-,448*	-,424
SJ beidbeinig	-,291	-,323	-,615**	-,732**

Intermitt. Leistenhängen	-,393	-,582**	-,175	-,381
30-Sekunden-Leistenziehen	,179	,423*	-,046	,280
Tritte angeln	-,391	-,279	-,382	-,513*
Seitl.-front. Beinheben abs.	-,524**	-,207	-,308	-,436
Seitl.-front. Beinheben rel.	-,533**	-,225	-,292	-,473
Seitliches Knieheben abs.	-,170	-,216	-,147	-,096
Seitliches Knieheben rel.	-,283	-,299	-,134	-,275
Wandsprung	,327	-,018	,316	,430
Routenplanung	-,116	-,156	-,013	-,460

Legende: * p < ,05; ** p < ,01

Tab. 7b. Korrelationen der anthropometrischen Größen und Testvariablen mit der Kletterleistung der Herren

	Bouldern	Lead	Speed	Combined
	r	r	r	r
Körpergröße	,131	,060	-,009	,108
Armspannweite	,041	,080	-,154	,158
Affenindex	-,132	,060	-,301	,162
Körpergewicht	,155	-,045	,044	,379
Körperfettanteil	,464*	,423*	,090	,485
Einh. Leistenziehen 23 mm offen	-,173	-,209	-,440*	-,255
Einh. Leistenziehen 23 mm aufg.	-,253	-,351	-,442*	-,486
Einh. Leistenziehen 8 mm offen	-,066	-,017	-,523**	-,351
Einh. Leistenziehen 8 mm aufg.	-,131	-,255	-,573**	-,470
Einarmiges Blockieren	-,491**	-,459*	-,481*	-,545*
Schwung abfangen	-,048	-,065	-,003	,108
Powerslap absolut	-,495**	-,383*	-,677**	-,417
Powerslap relativ	-,576**	-,430*	-,628**	-,466
Sprung aus hohem Antreten	-,527**	-,321	-,526**	-,640**
CMJ beidbeinig	-,501**	-,401*	-,529**	-,657**
CMJ einbeinig	-,442*	-,346	-,515**	-,587*
SJ beidbeinig	-,538**	-,467*	-,519**	-,757**
Intermitt. Leistenhängen	-,228	-,301	-,480*	-,589*
30-Sekunden-Leistenziehen	-,437*	-,260	-,459*	-,524*
Tritte angeln	-,116	-,304	-,416*	-,050
Seitl.-front. Beinheben abs.	-,174	-,132	-,202	-,089
Seitl.-front. Beinheben rel.	-,212	-,151	-,222	-,131
Seitliches Knieheben abs.	-,031	-,165	-,197	,188
Seitliches Knieheben rel.	-,077	-,191	-,251	,168
Wandsprung	,426*	,385*	,137	,245
Routenplanung	-,196	-,253	,111	,082

Legende: * p < ,05; ** p < ,01

Zusammenfassend ergab die Analyse viele verschiedene empirisch-statistisch leistungsrelevante Parameter für die drei Kletterdisziplinen, die im Mittelwertvergleich oder in der Korrelation signifikant waren.

5.2.3 Prioritätenkatalog der leistungsrelevanten Merkmale

Die Höhe des Korrelationskoeffizienten ist der Indikator für die Einflusshöhe des jeweiligen Merkmals auf die jeweilige Zielgröße und stellt somit das Kriterium für den Rang im Prioritätenkatalog dar (s. Tab. 8).

Tab. 8a. Prioritätenkatalog der empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale für die Wettkampf-Kletterleistung der Damen.

	Priorität des Merkmals
Bouldern	1. Seitlich-frontales Beinheben
	2. Powerslap
	3. Einarmiges Blockieren
	4. Intermittierendes Leistenhängen
	5. Einhändiges Leistenziehen 23-mm-Leiste aufgestellt
Lead	1. Powerslap
	2. Einarmiges Blockieren
	3. Intermittierendes Leistenhängen
Speed	1. SJ beidbeinig
	2. CMJ beidbeinig
	3. Powerslap
	4. Einarmiges Blockieren
	5. Sprung aus hohem Antreten
	6. CMJ einbeinig
	7. Einhändiges Leistenziehen 8-mm-Leiste aufgestellt
	8. Wandsprung
Combined	1. SJ beidbeinig
	2. Einarmiges Blockieren
	3. Powerslap
	4. Sprung aus hohem Antreten
	5. CMJ beidbeinig
	6. Tritte angeln
	7. Einhändiges Leistenziehen 8-mm-Leiste aufgestellt
	8. Seitlich-frontales Beinheben
	9. Routenplanung
	10. Einhändiges Leistenziehen 23-mm-Leiste aufgestellt

Tab. 8b. Prioritätenkatalog der empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale für mit der Wettkampf-Kletterleistung der Herren.

	Priorität des Merkmals
Bouldern	1. Powerslap
	2. SJ beidbeinig
	3. Sprung aus hohem Antreten
	4. CMJ beidbeinig
	5. Einarmiges Blockieren
	6. CMJ einbeinig
	7. 30-Sekunden-Leistenziehen
	8. Wandsprung
	9. Einhändiges Leistenziehen 23-mm-Leiste aufgestellt

Lead	1. SJ beidbeinig 2. Einarmiges Blockieren 3. Powerslap 4. CMJ beidbeinig 5. Wandsprung 6. Einhändiges Leistenziehen 23-mm-Leiste aufgestellt 7. Tritte angeln 8. Routenplanung
Speed	1. Powerslap 2. Einhändiges Leistenziehen 8-mm-Leiste aufgestellt 3. CMJ beidbeinig 4. Sprung aus hohem Antreten 5. SJ beidbeinig 6. CMJ einbeinig 7. Einarmiges Blockieren 8. Intermittierendes Leistenhängen 9. 30-Sekunden-Leistenziehen 10. Einhändiges Leistenziehen 23-mm-Leiste aufgestellt 11. Einhändiges Leistenziehen 23-mm-Leiste offen 12. Tritte angeln
Combined	1. SJ beidbeinig 2. CMJ beidbeinig 3. Sprung aus hohem Antreten 4. Intermittierendes Leistenhängen 5. CMJ einbeinig 6. Einarmiges Blockieren 7. 30-Sekunden-Leistenziehen 8. Einhändiges Leistenziehen 23-mm-Leiste aufgestellt

Dieser Prioritätenkatalog stellt die Grundlage für die trainingspraktische Leistungsdiagnostik im Sportklettern dar. Aus der vorgestellten Testbatterie sind somit für die Damen aus empirisch-statistischer Evidenz alle Tests außer dem Hüftbeweglichkeitstest bezüglich des seitlichen Kniehebens, den Fingerkrafttests mit offener Fingerstellung und dem Fingerkraftausdauerstest „30-Sekunden-Leistenziehen“ relevant, bei den Herren alle Tests. Bei der Aufstellung des Prioritätenkatalogs wurde auf eine Differenzierung zwischen absoluten und relativen Merkmalen und auf anthropometrische nicht beeinflussbare Merkmale verzichtet, da dieser ja die primär zu *trainierenden* Merkmale enthalten soll. Dies heißt nicht, dass anthropometrische Merkmale für die Leistungsstruktur nicht eine gewisse Bedeutung hätten, weshalb sie für die Leistungsstrukturmodelle im Folgenden natürlich weiterhin berücksichtigt werden.

5.2.4 Leistungsstrukturmodelle

Für die Erstellung der Leistungsstrukturmodelle der einzelnen Kletterwettkampfdisziplinen wurde nun die interne Ordnung der Leistungsmerkmale bestimmt. Dazu wurden zunächst mittels Faktorenanalysen die Zusammenhänge der Merkmale auf einer Ebene berechnet, was die interne horizontale Ordnung darstellt. Die jeweils identifizierten Faktoren sind in den Abbildungen 1-8 in der mittleren Spalte dargestellt. In der linken Spalte befinden sich alle Komponenten der Faktoren mit ihren jeweiligen Faktorladungen. Durch die Berechnung von multiplen linearen Regressionen konnte die interne vertikale Ordnung zwischen den Faktoren und der jeweiligen Wettkampfleistung ermittelt werden. Somit ergeben sich geschlechtsspezifisch für

die deutsche Leistungsspitze die im Folgenden dargestellten Leistungsstrukturmodelle für die drei einzelnen Kletterwettkampfdisziplinen und das Olympic-Combined-Format.

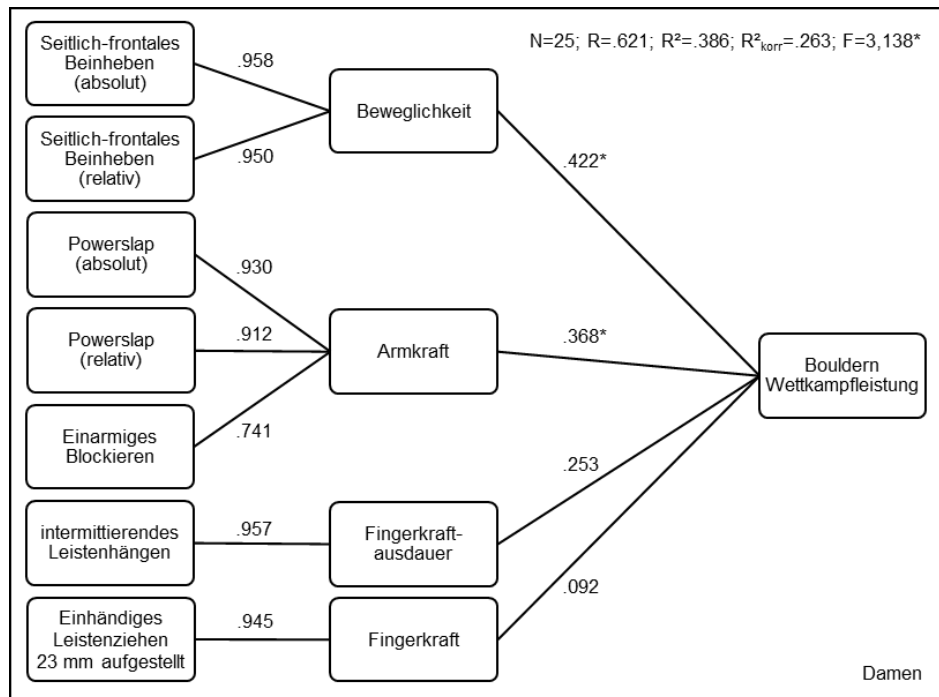


Abb. 1. Leistungsstrukturmodell für das Wettkampf-Bouldern der Damen.

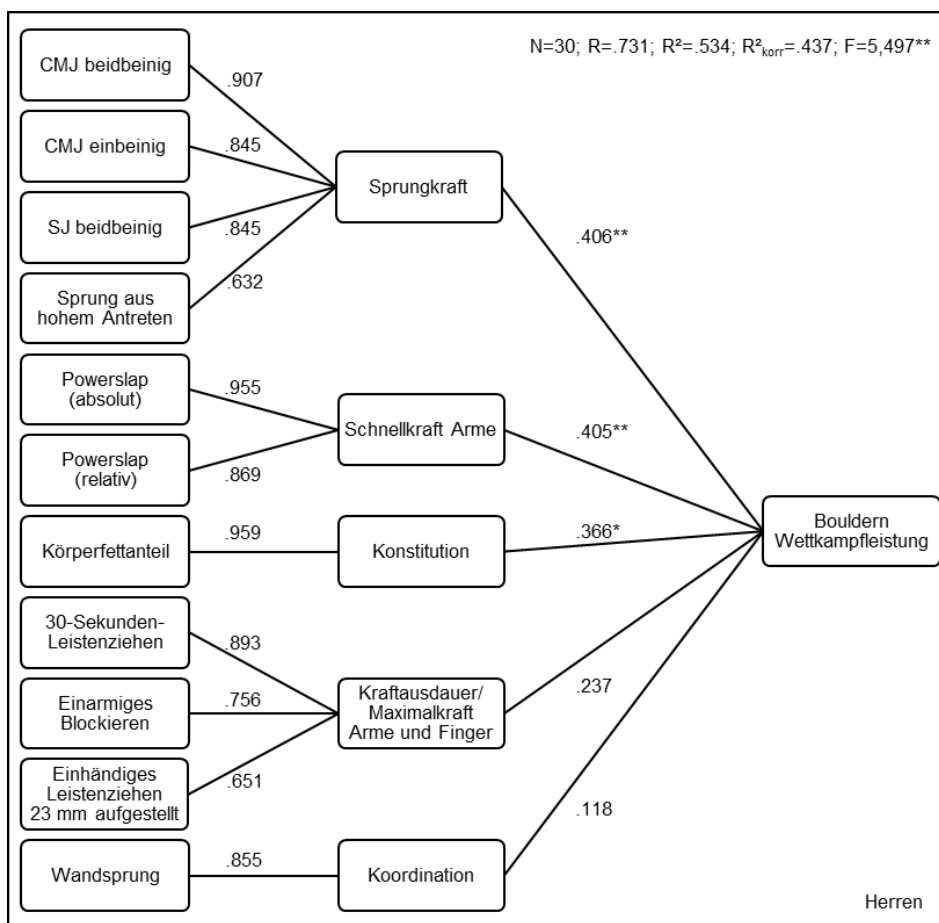


Abb. 2. Leistungsstrukturmodell für das Wettkampf-Bouldern der Herren.

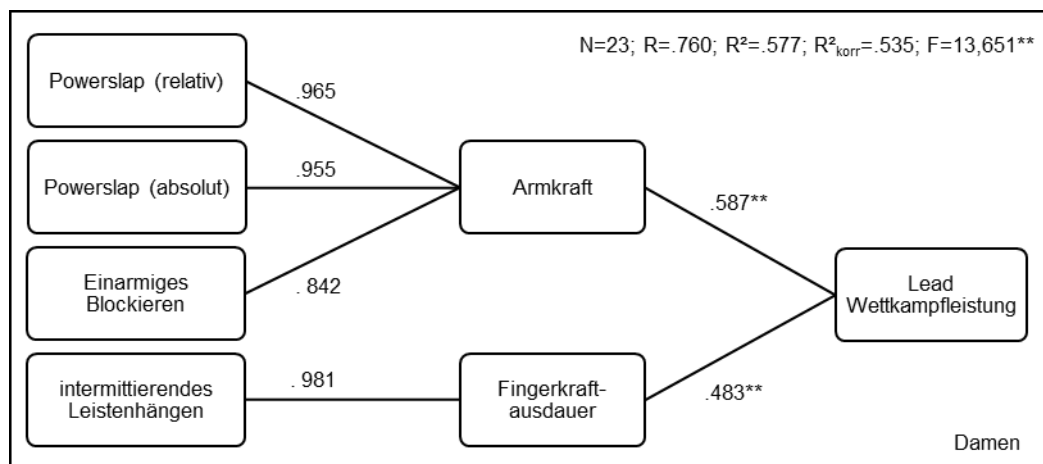


Abb. 3. Leistungsstrukturmodell für das Wettkampf-Leadklettern der Damen.

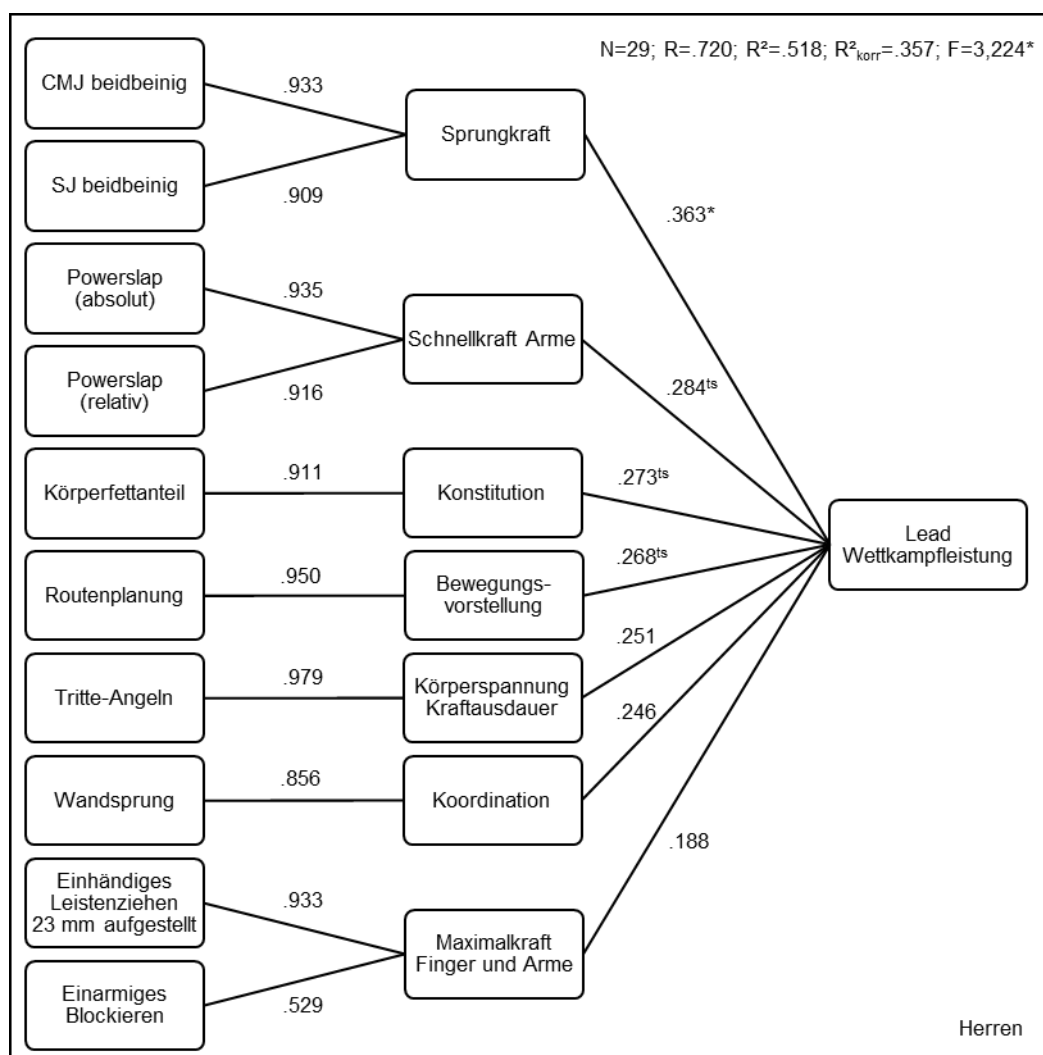


Abb. 4. Leistungsstrukturmodell für das Wettkampf-Leadklettern der Herren.

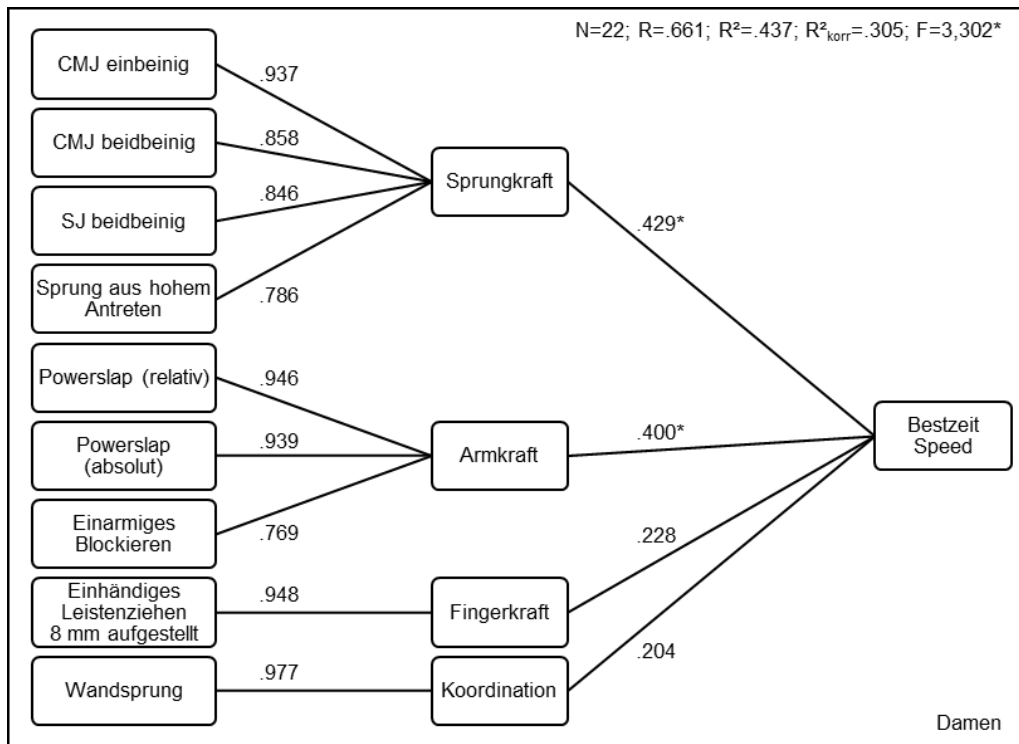


Abb. 5. Leistungsstrukturmodell für das Speedklettern der Damen.

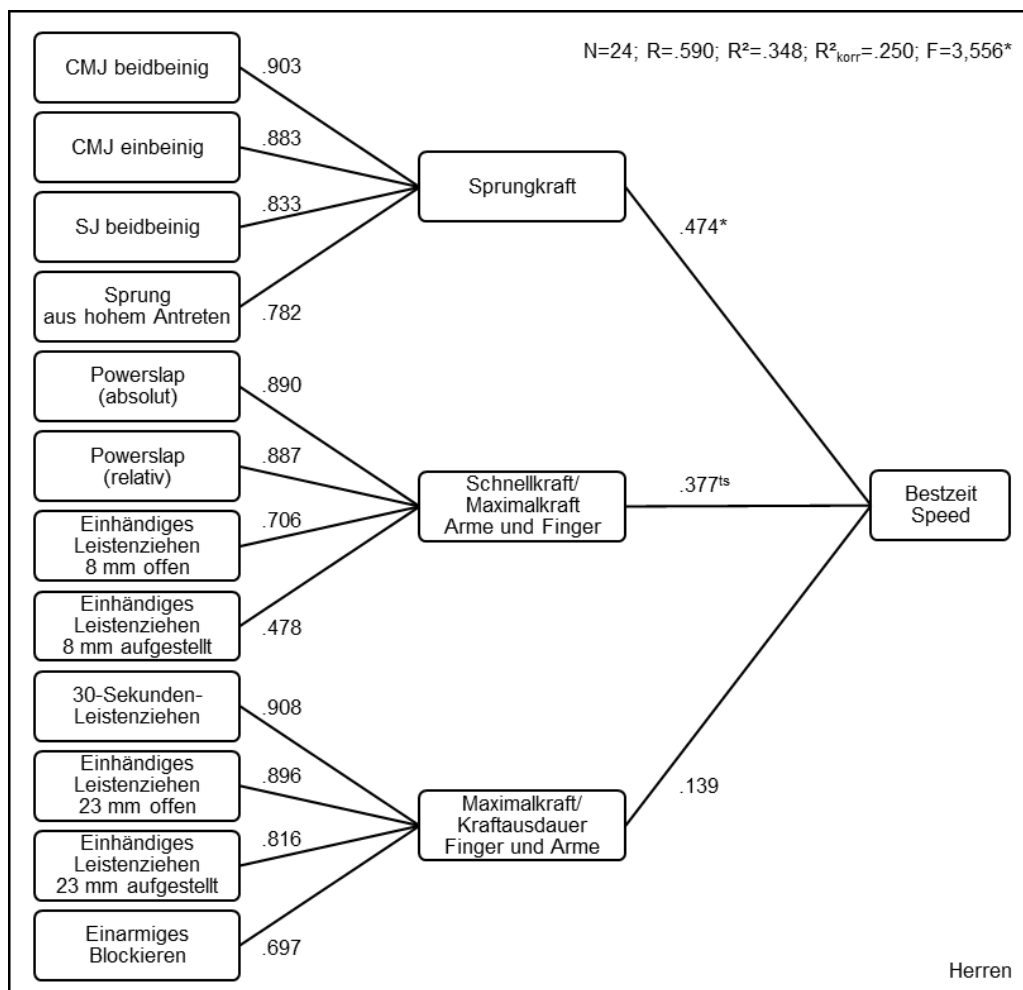


Abb. 6. Leistungsstrukturmodell für das Speedklettern der Herren.

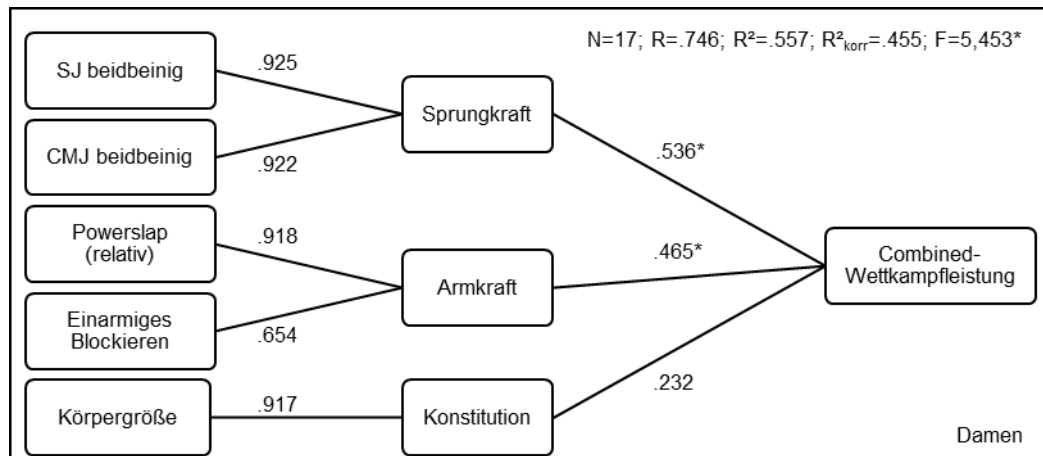


Abb. 7. Leistungsstrukturmodell für das Combined-Klettern der Damen.

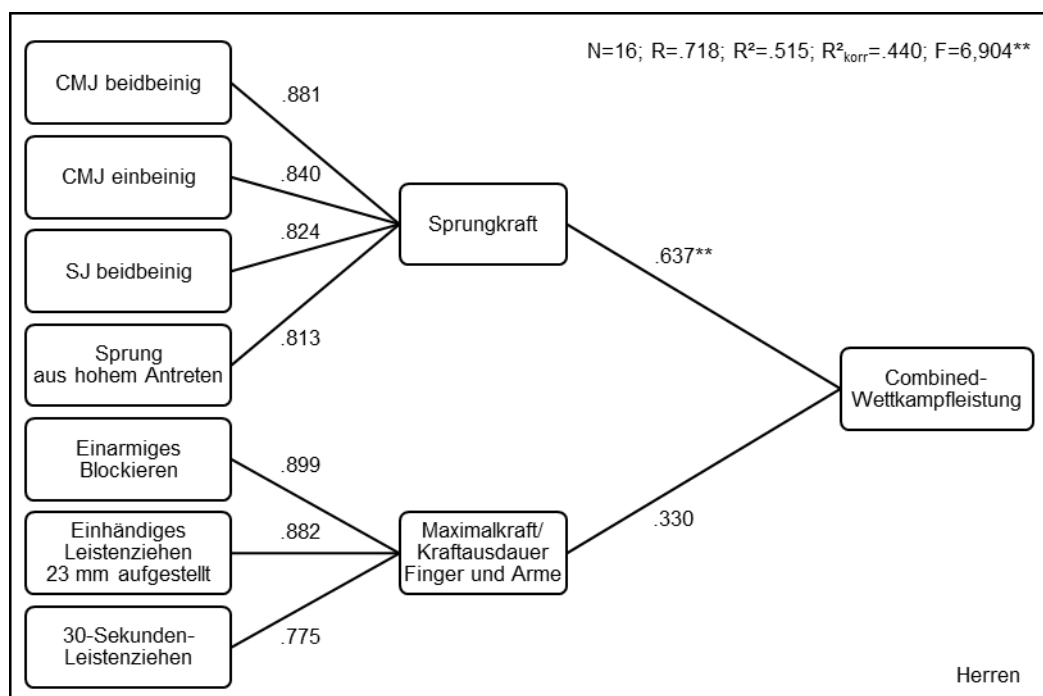


Abb. 8. Leistungsstrukturmodell für das Combined-Klettern der Herren.

6 Diskussion

Zusammenfassend sind hier die Erkenntnisse aller Arbeitsschritte des Projekts diskutiert. Die Prüfung der IRCRA-Testbatterie mit 12 Stützpunkthleten im Test- und Retest zeigte, dass sich einige Tests sehr gut zur Erfassung kletterspezifischer Leistungskomponenten eigneten, andere dagegen für den Spitzenbereich unpraktikabel waren, da beispielsweise bereits jugendliche Stützpunkthleten mehrere Minuten in der Testposition für Kraftausdauer Tests verharren konnten. Manche Tests wiesen Schwächen bei der Reliabilität bzw. Validität auf. Letztlich konnten der Powerslap-Test, der maximale Fingerkrafttest an der 23-mm-Leiste und die Beweglichkeitstests zum seitlich-frontalen Beinheben und zum seitlichen Knieheben fast unverändert übernommen werden. Für das Ermitteln der maximalen Armkraft und der Kraftausdauer der Finger und bezüglich der Körperspannung wurden mithilfe der Erfahrungen bei den IRCRA-Tests neue Tests entwickelt: das maximale einarmige Blockieren gegen einen festen

Widerstand, das intermittierende Leistenhängen, das 30-Sekunden-Leistenziehen und das alternierende Tritte angeln. Für weitere hypothetisch leistungsrelevante Parameter wurden komplett neue Tests entwickelt und anhand von 33 jugendlichen Stützpunkt- und Landeskaderathleten evaluiert. Nicht in die endgültige Testbatterie aufgenommen wurde der Taktiktest. Obwohl sich hier durchaus interessante Ergebnisse gezeigt hatten, war der Test in der aktuellen Version nicht anwendbar. Für detaillierte Erkenntnisse im Bereich der Wettkampftaktik sollte auf jeden Fall an einer Weiterentwicklung gearbeitet werden. Die Tests für die weiteren bisher nicht erfassten Leistungskomponenten konnten dagegen nach teilweise kleineren Modifikationen während und nach der Testphase in den Testpool übernommen werden. Dies waren der seitliche Wandsprung zum Überprüfen der Koordination unter Simultan- und Präzisionsdruck, die Routenplanung zum Test der Bewegungsvorstellung, der Sprung aus hohem Antreten, der Countermovement- und Squat-Jump für die Sprungkraft sowie das Abfangen des Rückschwungs beim Lösen der Füße von der Wand zum Überprüfen der kletterspezifischen maximalen Rumpfkraft. Ein Testverfahren zur Überprüfung der Klettertechnik konnte in diesem Projekt nicht realisiert werden. Neben Problemen der ökonomischen Durchführung einer 3D-Bewegungsanalyse mit der verfügbaren Hard- und Software besteht ein Hauptproblem hierbei darin, dass die Klettertechnik weder aus sportpraktischer noch aus sportwissenschaftlicher Perspektive bisher systematisch klassifiziert ist. Hier ist ein klares Forschungsdesiderat zu verzeichnen.

Letztlich wurde die Datenerfassung zur Erstellung der Leistungsstrukturmodelle mit einer Testbatterie aus 14 Einzeltests (Augste et al., 2020) durchgeführt. Die Stichprobe bestand aus insgesamt 61 Wettkampfkletterern unterschiedlicher Leistungsniveaus von „Intermediate“ (Level 2) bis zum internationalen Spitzenniveau (Level 5: „Higher Elite“). Bei den Damen war die Stichprobe einerseits etwas kleiner ($n = 26$) als bei den Herren ($n = 35$). Zudem war sie vom Leistungsniveau auch homogener (Level 3 und 4). Beides könnte ein Grund dafür sein, dass sich bei den Herren etwas differenziertere Leistungsstrukturmodelle ergaben. Insgesamt erwiesen sich alle getesteten Merkmale für zumindest eine Disziplin bei den Damen oder Herren als leistungsrelevant. Bei der Diskussion der Befunde wird teilweise auch eine Gegenüberstellung der Werte bezüglich der Kletterleistung *im Wettkampf* und der Kletterleistung *bezüglich der Schwierigkeitsgrade* vorgenommen, die für die erweiterte Stichprobe berechnet, aber nicht dargestellt wurden.

Das dominante Leistungsmerkmal im Klettern stellt laut Forschungsstand die maximale Fingerkraft dar. Abgebildet durch die Leistung im einhändigen Leistenziehen an der 23-mm-Leiste ist dieses Merkmal auch in unserer Studie als Einflussfaktor *auf die gekletterten Schwierigkeitsgrade* im Bouldern sowohl bei den Damen als auch bei den Herren weit oben im Prioritätenkatalog zu finden. Betrachtet man jedoch das *Wettkampfranking*, so fällt die Bedeutung hinter andere Komponenten zurück. Bei den Damen sind die Hüftbeweglichkeit beim Nachvorne-oben-Spreizen der Beine und die Schnellkraft und Maximalkraft der Arme leistungsentcheidend. Bei den Herren sind die Sprungkraft und die Schnellkraft der Arme von größter Bedeutung. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Anforderungen an Kletterer im Wettkampf gegenüber denen im Felsklettern deutlich unterscheiden. Hierbei liegt viel auch in der Hand der Routenbauer, die durch ihre Entwürfe der Wettkampfrouten die Anforderungen in gewisser Weise steuern können.

Auch für das Leadklettern gilt, dass die maximale Fingerkraft nicht entscheidend zwischen der Wettkampfleistung der getesteten Athleten differenziert. Bei den Damen ist dies ähnlich wie beim Bouldern die Maximal- und Schnellkraft der Oberarme. Außerdem kommt noch erwartungsgemäß und in Übereinstimmung mit der Literatur die Fingerkraftausdauer, getestet über das intermittierende Leistenhängen, als Leistungskomponente hinzu. Interessanterweise sind

bei den Herren wiederum die Sprungkraft und die Schnellkraft der Oberarme bedeutend für die Wettkampfplatzierung. Auch ein geringer Körperfettanteil sowie die Fähigkeit, die Routen entsprechend der eigenen Realisierungsmöglichkeiten planen zu können, haben tendenziell Einfluss auf die Wettkampfleistung. Die Ausdauer bezüglich der Rumpfkraft ist bei den Herren ein relevanterer Platzierungsfaktor als die Ausdauer bezüglich der Fingerkraft.

Beim Speedklettern ist sowohl bei den Damen als auch bei den Herren die Sprungkraft die entscheidendste Leistungskomponente, gefolgt von der Schnellkraft beim Powerslap. Interessanterweise ist auch die maximale Fingerkraft an der kleinen 8-mm-Leiste bei beiden Geschlechtern relevanter als an der größeren 23-mm-Leiste.

Die Platzierungen in der Combined-Wertung werden bei den Damen hauptsächlich von der Sprungkraft und der Armkraft beeinflusst. Kleinere Damen schnitten hier eher besser ab. Bei den Herren ist die Leistungsstruktur eines Combined-Athleten hauptsächlich ebenfalls von der Sprungkraft geprägt und zusätzlich von einem Kraftfaktor, der aus der Maximalkraft der Finger und Arme und aus der Fingerkraftausdauer besteht.

Abschließend lassen sich nochmals folgende Aspekte zusammenfassen: Die maximale Fingerkraft, die laut Forschungsstand die wichtigste Leistungskomponente im Klettern darstellt, erwies sich in unserer Studie als Einflussfaktor auf die Wettkampfleistung nicht ganz so entscheidend. Tendenziell war die aufgestellte Fingerposition aussagekräftiger als die offene. Die Leistung an der 8-mm-Leiste war hauptsächlich für das Speedklettern relevant. Überraschend und im Forschungsstand so bisher nicht abgebildet war die sehr hohe Aussagekraft des Powerslap-Tests. Die Schnellkraft der Arm-, Schulter- und Rückenmuskulatur war nicht nur beim Speedklettern und Bouldern, sondern auch beim Leadklettern mit die einflussreichste Leistungskomponente. Sehr plausibel ist die Erkenntnis, dass die Kraftausdauer im Leadklettern einen hohen Stellenwert einnimmt. Während sich diese in bisherigen Studien meist nur auf die Kraftausdauer der Finger bezog, für die auch in der vorliegenden Studie bei den Damen ein Einfluss auf die Wettkampfleistung im Leadklettern nachgewiesen werden konnte, konnten wir bei den Herren einen hohen Einfluss der Kraftausdauer der Rumpfmuskulatur zeigen. Als weitere Leistungskomponente im Leadklettern stellte sich eine gute Bewegungsplanung heraus. Auch dies ist durchaus plausibel, wurde bisher jedoch in keiner Studie belegt. Annähernd dasselbe gilt für die Koordination, die von Trainern als leistungsrelevant erachtet wird. Mit dem Test des Wandsprungs konnte offensichtlich ein Verfahren gefunden werden, mit dem für das Speedklettern der Damen und für das Bouldern und Leadklettern der Herren relevante Zusammenhänge mit der Wettkampfleistung aufgezeigt werden konnten. Die Sprungkraft ist bisher in keiner Veröffentlichung als leistungsrelevant im Klettern zu finden. Umso erstaunlicher ist es, dass sich in unserer Studie diese bei den Herren als die relevanteste Komponente für die Wettkampfleistung in allen drei Einzeldisziplinen und auch für das Olympic-Combined-Format herauskristallisierte. Dies hängt sicherlich damit zusammen, dass vorliegende Studien sich nicht mit dem Wettkampfklettern befassen haben. Die Routen bei den Wettkämpfen werden publikumswirksam mit spektakulären dynamischen Zügen „geschraubt“, so dass sich durchaus Abweichungen zum bisher untersuchten Felsklettern ergeben. Dies unterstreicht nochmals die Wichtigkeit und Notwendigkeit des vorliegenden Projekts, denn bisher lagen im Leadklettern und Bouldern noch keine Leistungsstrukturmodelle für das Wettkampfklettern vor. Dies gilt ebenso für die reinen Wettkampfdisziplinen Speedklettern und Olympic-Combined.

Des Weiteren wurde im Rahmen des Projekts erstmals eine Testbatterie für das Wettkampfklettern entwickelt und wissenschaftlich fundiert. Diese kann nun in der trainingspraktischen Leistungsdiagnostik in den Leistungszentren eingesetzt werden.

7 Literaturverzeichnis

- Amca, A. M., Vigouroux, L., Aritan, S. & Berton, E. (2012). Effect of hold depth and grip technique on maximal finger forces in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, 30, 669-677. doi:10.1080/02640414.2012.658845
- Augste, C. & Künzell, S. (2017). Welche Eigenschaften zeichnen einen Spitzenkletterer aus? Ergebnisse aus Interviews mit Leistungstrainern. *Leistungssport*, 47 (4), 49-55.
- Augste, C., Winkler, M. & Künzell, S. (2020). *Leistungsdiagnostik im Sportklettern – Testmanual* [online]. Augsburg: Universität Augsburg. URN: urn:nbn:de:bvb:384-opus4-761415
- Baláš, J., Pecha, O., Martin, A. J. & Cochrane, D. (2012). Hand–arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, 12, 16-25. doi:10.1080/17461391.2010.546431
- Bertuzzi, R., Franchini, E., Tricoli, V., Lima-Silva, A. E., Pires, F. O., Okuno, N. M. et al. (2012). Fit-climbing test. A field test for indoor rock climbing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. doi:10.1519/JSC.0b013e318231ab37
- Brent, S., Draper, N., Hodgson, C. & Blackwell, G. (2009). Development of a performance assessment tool for rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 9, 159-167. doi:10.1080/17461390902741132
- Büsch, D., Heinisch, H.-D. & Lüdemann, R. (2016). Von Leistungsstrukturmodellen über Anforderungsprofile und Trainingsstudien zur Leistungssteuerung. In D. Büsch, H.-D. Heinisch & R. Lüdemann (Hrsg.), *Leistungsfaktoren in den Spiel- und Zweikampfsportarten* (Schriftenreihe für Angewandte Trainingswissenschaft, Band 5, S. 7-11). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Corbeil, C. (2016). Gaps in the spreadsheet. How to deal with missing data using multiple imputation. *Psychological Science Agenda* (2). Zugriff unter <https://www.apa.org/science/about/psa/2016/02/gaps-spreadsheet>
- Deyhle, M. R., Hsu, H.-S., Fairfield, T. J., Cadez-Schmidt, T. L., Gurney, B. A. & Mermier, C. M. (2015). Relative Importance of Four Muscle Groups for Indoor Rock Climbing Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 2006-2014. doi:10.1519/JSC.0000000000000823
- Donath, L. & Wolf, P. (2015). Reliability of Force Application to Instrumented Climbing Holds In Elite Climbers. *Journal of Applied Biomechanics*, 31, 377-382. doi:10.1123/jab.2015-0019
- Draper, N., Giles, D., Schöffl, V., Fuss, F. K., Watts, P., Wolf, P. et al. (2015). Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: International rock climbing research association position statement. *Sports Technology*, 88-94. doi:10.1080/19346182.2015.1107081
- Fanchini, M., Violette, F., Impellizzeri, F. M. & Maffiuletti, N. A. (2013). Differences in Climbing-Specific Strength Between Boulder and Lead Rock Climbers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 310-314. doi:10.1519/JSC.0b013e3182577026
- Fuss, F. K. & Niegl, G. (2006). Dynamics of speed climbing. In E. F. Moritz & S. Haake (Hrsg.), *The engineering of sport 6* (S. 51-56). New York: Springer.
- Gundlach, H. (1980). *Zu den Strukturmerkmalen der Leistungsfähigkeit, der Wettkampfleistung und des Trainingsinhaltes in den Schnellkraft- und Ausdauersportarten*. Dissertation B, Deutsche Hochschule für Körperkultur. Leipzig.
- Hohmann, A. & Brack, R. (1983). Theoretische Aspekte der Leistungsdiagnostik im Sportspiel. *Leistungssport*, 13 (2), 5-10.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (5., unveränd. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.

- International Rock Climbing Research Association (2015, 18. November). *The IRCRA performance-related test battery for climbers. Test manual - Version 1.6*. Zugriff unter <https://www.ircra.rocks/mct-documents>
- Laffaye, G., Collin, J.-M., Levernier, G. & Padulo, J. (2014). Upper-limb Power Test in Rock-climbing. *International Journal of Sports Medicine*, 35, 670-675. doi:10.1055/s-0033-1358473
- Lau, J. (2010, 27. Oktober). *Speedklettern als Wettkampfdisziplin. Eine empirische Studie zum Einfluss ausgewählter Parameter auf die Wettkampfleistung*. Wissenschaftliche Prüfungsarbeit, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz. Mainz.
- Macdonald, J. H. & Callender, N. (2011). Athletic Profile of Highly Accomplished Boulderers. *Wilderness & Environmental Medicine*, 22, 140-143. doi:10.1016/j.wem.2010.11.012
- MacLeod, D., Sutherland, D. L., Buntin, L., Whitaker, A., Aitchison, T., Watt, I. et al. (2007). Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *Journal of Sports Sciences*, 25, 1433-1443. doi:10.1080/02640410600944550
- Magiera, A., Rocznik, R., Maszyk, A., Czuba, M., Kantyka, J. & Kurek, P. (2013). The Structure of Performance of a Sport Rock Climber. *Journal of Human Kinetics*, 36 (1). doi:10.2478/hukin-2013-0011
- Michailov, M. L., Morrison, A., Ketenliev, M. M. & Pentcheva, B. P. (2015). A Sport-Specific Upper-Body Ergometer Test for Evaluating Submaximal and Maximal Parameters in Elite Rock Climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 374-380. doi:10.1123/ijssp.2014-0160
- NCD Risk Factor Collaboration. (2016). A century of trends in adult human height. *eLife*, 5.
- NCD Risk Factor Collaboration. (2017). Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2416 population-based measurement studies in 128·9 million children, adolescents, and adults. *The Lancet*, 390 (10113), 2627-2642. doi:10.1016/S0140-6736(17)32129-3
- Neumaier, A. (2003). *Koordinatives Anforderungsprofil und Koordinationstraining. Grundlagen, Analyse, Methodik* (Training der Bewegungskoordination, Bd. 1, 3., überarb. Aufl.). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Neumaier, A., Mechling, H. & Strauß, R. (2002). *Koordinative Anforderungsprofile ausgewählter Sportarten. Analyse, Variationsprinzipien, Trainingsbeispiele zu Leichtathletik, Fussball, Judo, alpinen Skilauf, Rudern* (Training der Bewegungskoordination, Bd. 2). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Philippe, M., Wegst, D., Müller, T., Raschner, C. & Burtscher, M. (2012). Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers. *European Journal of Applied Physiology*, 112 (8), 2839-2847. doi:10.1007/s00421-011-2260-1
- Schnabel, G., Harre, D. & Krug, J. (Hrsg.). (2008). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Vigouroux, L., Goisard de Monsabert, B. & Berton, E. (2015). Estimation of hand and wrist muscle capacities in rock climbers. *European Journal of Applied Physiology*, 115 (5), 947-957. doi:10.1007/s00421-014-3076-6
- Wall, C. B., Starek, J. E., Fleck, S. J. & Byrnes, W. C. (2004). Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *Strength and Conditioning Research*, 18, 77-83.