

AIHE Academic Institute for Higher Education GmbH
University of East London

MSc Sportpsychologie und Körperpsychologie

**Literaturrecherche zur Bedeutung Kognitiver Entscheidungsprozesse in
der Trendsportart Bouldern**

Modul SPKP_M1 Forschungsmethoden, Wissenschaftliches Arbeiten und Einführung in
die Sport- und Körperpsychologie

Jerry Medernach

Matrikelnummer: 2652948

Datum: 27.10.2023

Wortzahl: 2.993

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	3
Einleitung	4
Hauptteil	7
Schlussteil.....	13
Literaturverzeichnis	15
Anhang	19

Abstract

The purpose of this literature review was to examine the role of cognitive decision-making processes in the Olympic sport of bouldering. According to both, the general and sport-specific literature reviewed in this work, the generation of goal-directed problem-solving strategies and appropriate motor solutions emerge as performance-determining factors in bouldering due to increasingly complex and creative movement demands. Relevant cognitive processes in bouldering seem to include the anticipation of climbing movements based on movement patterns stored in long-term memory, the perception and processing of relevant visual information, and the appropriate focus of attention on relevant aspects. Based on processed information, athletes generate one or more problem-solving strategies, adapted to the specific situation and taking into account their physical characteristics, motor skills, and technical abilities. While this literature review supports the performance-determining role of decision-making in bouldering, further empirical research is mandatory to gain more knowledge about the relevance of cognition in bouldering.

Keywords: strategy, perception, anticipation, problem-solving

Kurzfassung

Zielsetzung dieser wissenschaftlichen Literaturrecherche war es, die Bedeutung kognitiver Entscheidungsprozesse in der olympischen Sportart Bouldern zu untersuchen. Sowohl die allgemeine als auch die sportartspezifische Literatur, die in dieser Arbeit untersucht wurde, deutet darauf hin, dass die Generierung von zielgerichteten Problemlösungsstrategien und adäquaten motorischen Lösungen aufgrund der zunehmenden Bewegungskomplexität und kreativen Bewegungsanforderungen eine leistungsbestimmende Komponente im Bouldern darstellen. Relevante kognitive Prozesse im Bouldern scheinen u.a. die Antizipation der Bewegungsanforderung durch gespeicherter Bewegungsmuster im Langzeitgedächtnis, die Wahrnehmung und Verarbeitung relevanter visueller Informationen, sowie eine angepasste Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Aspekte zu beinhalten. Auf der Grundlage der verarbeiteten Informationen generieren Athleten*innen eine oder mehrere Problemlösungsstrategien, angepasst an die jeweilige Situation und unter Berücksichtigung ihrer körperlichen Eigenschaften, motorischen Fähigkeiten und technischen Fertigkeiten. Während diese Literaturübersicht die leistungsbestimmende Rolle kognitiver Entscheidungsprozesse im Bouldern nahelegt, sind weitere empirische Untersuchungen unabdingbar, um weitere Erkenntnisse über die Bedeutung der Kognition im Bouldern zu gewinnen.

Schlüsselwörter: Strategie, Wahrnehmung, Antizipation, Problemlösung

Einleitung

Die sportliche Leistungsfähigkeit setzt das Zusammenwirken unterschiedlicher Komponenten voraus (e.g., motorische Fertigkeiten, koordinative Fähigkeiten), die in vielseitigen Wechselbeziehungen stehen (Hohmann et al., 2020). Zu diesen leistungsbestimmenden Faktoren zählen auch die psychologischen Fähigkeiten (Kogler, 2006; Lobinger & Stoll, 2019) und somit die kognitiven, emotionalen, motivationalen und volitionalen Persönlichkeitseigenschaften und Verhaltensweisen von Athleten*innen (Goschke, 2016). Insbesondere in den letzten beiden Dekaden hat sich die Sportpsychologie innerhalb ihrer sehr unterschiedlichen Ansätzen zur Leistungsoptimierung (e.g., Ideomotorisches Training) auch zunehmend mit der Kognition und den damit verbundenen Entscheidungsprozessen von Sportlern*innen beschäftigt (Kaya, 2014; Roca & Williams, 2017).

Im Allgemeinen beinhaltet die Kognition (i.e., Latein *cognitio*: erkennen) geistige Prozesse, die notwendig sind, um in bestimmten Situationen adäquate und damit zielführende Lösungen zu generieren (Memmert & Roca, 2019). Hauptbestandteil der Kognitionspsychologie sind somit die Wahrnehmung und das menschliche Denken, sowie die daraus resultierenden Entscheidungen und Handlungslösungen (Hänsel et al., 2016). Entscheidungen und Handlungslösungen sind das Ergebnis von Urteils- und Entscheidungsprozessen (Raab et al., 2019), in denen Athleten*innen aus einer Reihe von Optionen eine Auswahl treffen (Bari-Eli et al., 2011). Dabei führt jede Entscheidung zu potenziellen Variationen nachfolgender Handlungsmöglichkeiten, so dass Möglichkeiten zur Handlung bestehen bleiben, entstehen oder aber verschwinden (Araújo et al., 2019).

Wissenschaftliche Arbeiten zur Informationsverarbeitung im sportlichen Kontext reichen zurück zu Martenuik (1976), der perzeptive und kognitive Kompetenzen als Fähigkeit umfasste, Umweltinformationen wahrzunehmen und zu verarbeiten, sowie diese sensorischen Informationen mit vorhandenem Wissen im Langzeitgedächtnis zu integrieren, um angemessene und zielgerichtete motorische Handlungen zu planen und auszuführen. Eine Dekade später publizierten Gilovich und Kollegen (1985) ihren Artikel zur *Hot Hand* im Basketball. Dieses Phänomen besagt, dass Spieler*innen mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit den Korb treffen, wenn sie unmittelbar zuvor bereits Treffer erzielt haben. Obwohl die *Hot Hand* bis heute empirisch nicht belegt werden konnte, war die Studie Auslöser zahlreicher Kognitionsstudien und somit Katalysator für die Entwicklung unterschiedlicher theoretischer Ansätze der menschlichen Entscheidungsfindung (Raab et al., 2019).

Unabhängig vom theoretischen Konzept hat die Forschung insbesondere im letzten Jahrzehnt die Relevanz der Kognition für die sportliche Leistungsfähigkeit untermauern können und gezeigt, dass sich Experten*innen durch überlegene kognitive Fähigkeiten charakterisieren, insbesondere in offenen und dynamischen Sportaktivitäten (van Maarseveen et al., 2018) wie etwa im Fußball (Roca et al., 2011) oder Badminton (Hagemann et al., 2006). So konnten Studien beispielsweise zeigen, dass erfahrene männliche Sportler erfolgreicher bei der Vorhersage möglicher Spielereignisse sind (Roca et al., 2011), von einer erhöhten Antizipationsfähigkeit profitieren (Williams & Jackson, 2019) und effizienter in ihrer Entscheidungsfindung sind (Roca & Williams, 2017). Studien deuten diesbezüglich darauf hin, dass solche überlegenen Antizipations- und Problemlösungsfähigkeiten mit einer bewussteren Aufnahme relevanter Umweltinformationen (Williams et al., 2018), effizienteren visuellen Suchstrategien (Ericsson, 2017) und einer besseren Identifizierung repräsentativer Muster (Roca & Williams, 2016) verbunden sind.

In den letzten Jahren haben sich empirische Studien zur Kognition auch zunehmend auf weniger offene Individualsportarten mit stabileren Bedingungen (e.g., geringer Zeitdruck, kein Gegner) ausgeweitet. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass sowohl die Wahrnehmung als auch die Aufmerksamkeit im Golf entscheidende Faktoren sind, um die optimale Flugbahn des Balls vorherzubestimmen (Carey et al., 2017). Auf ähnliche Weise konnte gezeigt werden, dass sich männliche Athleten im Parkour auf ihre visuellen Suchfähigkeiten stützen, um Umweltmerkmale zu erkunden und motorische Lösungen zu entwickeln (Strafford et al., 2021).

Zu diesen eher geschlossenen Individualsportarten zählt auch das olympische Bouldern, eine Kletterdisziplin (i.e., neben dem Bouldern sind auch das Sport- und Speedklettern olympische Disziplinen), die insbesondere im letzten Jahrzehnt erheblich an Popularität gewonnen hat und bis dato dennoch kaum erforscht ist (Künzell et al., 2021; Saul et al., 2019). *In summa* müssen Athleten*innen im Bouldern (siehe Abbildung 1) kurze, aber physisch und technisch anspruchsvolle Klettersequenzen an niedrigen Kletterwänden lösen (Hatch & Leonardon, 2023). Ähnlich wie im Parkour müssen Athleten*innen im Bouldern in kurzer Zeit zielführende Problemlösungsstrategien für unterschiedliche Bewegungsaufgaben generieren (Augste et al., 2021).

Abbildung 1

*In der Olympischen Disziplin Bouldern müssen Athleten*innen kurze (i.e., vier bis acht Griffe), athletische und koordinative Kletterbewegungen in Absprunghöhe (4,5 Meter hoch) lösen¹*



Aufgrund bislang fehlender wissenschaftlicher Publikationen, bleibt eine für die Trainingspraxis eminente wissenschaftliche Forschungsfrage bislang weitestgehend ungeklärt, nämlich inwieweit kognitive Entscheidungsprozesse, ähnlich wie im Parkour, auch im Bouldern eine leistungsbestimmende Komponente darstellen. Oder anders ausgedrückt: In welchem Ausmaß beeinflussen bessere Problemlösungsstrategien und effizientere Entscheidungen von Athleten*innen deren sportliche Leistung? Diese Thematik ist für die Sportpsychologie insofern von großer Relevanz, da kognitive Trainingsansätze insbesondere dort, wo motorische und technische Fähigkeiten an ihre Grenzen stoßen, neue Perspektiven ermöglichen könnten. Dies würde sich auch auf die Gestaltung von sportartspezifischen Trainingsprogrammen sowohl im Leistungs- als auch im Jugendbereich auswirken. Infolgedessen besteht die Zielsetzung dieser wissenschaftlichen Literaturrecherche darin, den Stellenwert kognitiver Entscheidungsprozesse im Bouldern anhand vom aktuellen, sowohl allgemeinen als auch sportartspezifischen Forschungsstand zu untersuchen, kritisch zu diskutieren und mögliche Richtlinien für die praktische Anwendung herauszuarbeiten.

¹Abgerufen am 23. Oktober 2023 (15:12), von <https://www.petraklingler.com/resultate>

Hauptteil

Ausgangspunkt dieser wissenschaftlichen Literaturrecherche zum Stellenwert kognitiver Entscheidungsprozesse im Bouldern bildet eine Analyse der Bewegungsanforderungen im modernen Bouldern. Während diesbezüglich die Belastungsstruktur des Wettkampf-Boulderns relativ gut erforscht ist (e.g., Winkler et al., 2022), gibt es hinsichtlich der Bewegungsanforderungen bis dato keine empirischen Studien. Richtungsweisende Hinweise finden sich jedoch bei Neumann (2019)², der in einem nicht-wissenschaftlichen Beitrag hervorhebt, dass sich die Bewegungsanforderungen im modernen Bouldern nicht mehr ausschließlich auf physisch intensive Bewegungen reduzieren, sondern durch die zunehmende Bewegungskomplexität auch das Generieren kreativer Problemlösungsstrategien in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen hat. Obgleich Neumanns Aussage lediglich (wenn auch berechtigt) auf seiner langjährigen Expertise beruht und der Autor keine empirischen Kenngrößen nennt, untermauert eine aktuellere empirische Studie von Künzell und Kollegen (2021) Neumanns Einschätzung, dass die Fähigkeiten, einen Boulder richtig zu entschlüsseln und adäquate motorische Lösungen zu generieren, leistungsbestimmende Komponenten im Bouldern darstellen.

Den leistungsbestimmenden Stellenwert adäquater Problemlösungsstrategien im Bouldern betont auch Graham (2021)³. In ihrem überwiegend narrativen Artikel bemerkt die Autorin einen eminenten Faktor in der Entscheidungsfindung von Athleten*innen, nämlich den, dass Unterschiede hinsichtlich der Körpergröße und der Reichweite zur Folge haben, dass Athleten*innen auch diverse Strategien zur Lösung von Bouldern entwickeln müssen. Individuelle motorische Handlungsmöglichkeiten und unterschiedliche körperliche Voraussetzungen tragen laut der Autorin dazu bei, dass Sportler*innen von dem auf den ersten Blick offensichtlichen Lösungsweg abweichen können und alternative Strategien entwickeln müssen.

Obwohl Graham (2021) keinen wissenschaftlichen Beitrag zur Kognition im Bouldern leistet, stellt sie das Konzept einer einzigen besten Lösung für jeden Boulder in Frage und appelliert damit indirekt an einen ökologisch-dynamischen Ansatz der Entscheidungsfindung. Im theoretischen Konzept des Ökologischen Realismus, dessen Ursprung auf Gibson (1979) zurückgeht, agieren Athleten*innen in einer dynamischen Wechselbeziehung mit ihrer Umwelt (Araújo et al., 2019), so dass Wahrnehmung und

²Erste, nicht-wissenschaftliche Publikation

³Zweite, nicht-wissenschaftliche Publikation

Handlung, als Ausdruck einer eingebetteten und verkörperten Kognition, als gekoppelte Systeme betrachtet werden, die in der sportlichen Aktivität ineinandergreifen (Renshaw et al., 2019). Auch Miklashevsky et al. (2021)⁴ heben in ihrem wissenschaftlichen Review des Buches „Judgment, decision-making, and embodied choices“ von Raab (2020) die bedeutende Rolle von verkörperten Entscheidungen und Interaktionen mit der Umwelt hervor. In Anlehnung an Beilocks (2017) Buch „How the body knows its mind“ beschreiben die Autoren, dass bei der Entscheidungsfindung im Sport das Umfeld, in dem Menschen agieren, sowie ihre individuellen Voraussetzungen oft einen unbemerkten Einfluss auf die Wahlmöglichkeiten und somit auf die Entscheidungen haben.

Anhand der Literaturrecherche konnte bisher gezeigt werden, dass sich im Bouldern insbesondere im letzten Jahrzehnt neue Kletterstile entwickelt haben (Neumann, 2019). Aufgrund der zunehmenden Bewegungskomplexität und kreativen Bewegungsanforderungen, stellen im Bouldern neben den motorischen Fertigkeiten auch die individuellen Problemlösungsstrategien der Athleten*innen vermehrt einen leistungsbestimmenden Faktor dar (Künzell et al., 2021). Im Folgenden soll nun herausgearbeitet werden, welche kognitiven Subprozesse im Bouldern relevant sind und welche Merkmale zielgerichtete Entscheidungen und Handlungen im Bouldern aufweisen.

Diesbezüglich liefert Meltzer (2019)⁵ in seinem Buch zu Strategien und Entscheidungsfindung erste Hinweise, die eine erfolgreiche Entscheidungsfindung kennzeichnen. Obgleich sich der Autor überwiegend auf Strategien von Führungskräften konzentriert und somit weder konkrete sportartspezifische Ansätze noch empirische Kenngrößen beschreibt, lassen sich einige seiner Konzepte auch auf das Bouldern übertragen. So nennt er u.a. die Fähigkeit, vorausschauend zu handeln (i.e., Antizipation) und rechtzeitig (i.e., Zeitfaktor) die richtigen Entscheidungen zu treffen als grundlegende Faktoren für Spitzenleistungen im Sport. Hierfür müssen Athleten*innen laut Meltzer (2019) schnell auf relevante Informationen zugreifen können, um konsistente Entscheidungen effizient und effektiv zu treffen.

Auch Memmert und Roca (2019)⁶ beschreiben die Antizipation und den Zeitfaktor als wichtige Komponenten der Entscheidungsfindung im Sport. Ihr Prozessmodell menschlicher Entscheidungshandlungen (siehe Abbildung 2) stützt sich auf eine Vielzahl

⁴Wissenschaftliches Review

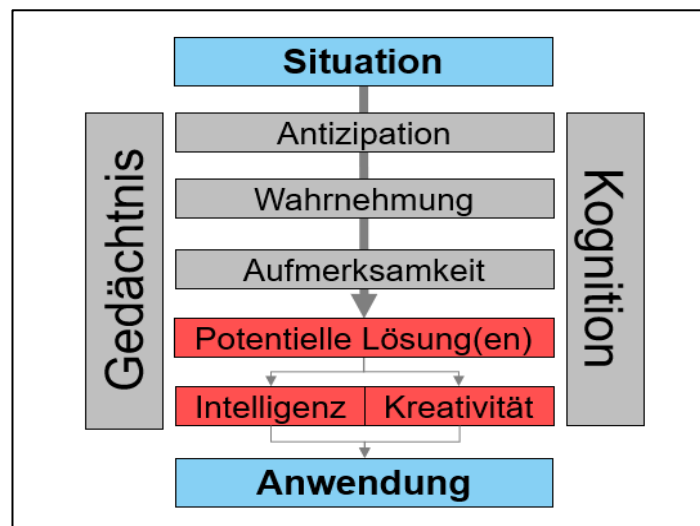
⁵Wissenschaftliches Buch

⁶Wissenschaftliches Buchkapitel

empirischer Studien und beinhaltet verschiedene kognitive Subprozesse, die Athleten*innen für die Generierung einer oder mehrerer Lösungen durchlaufen.

Abbildung 2

Das Prozessmodell menschlicher Entscheidungshandlungen (angepasst nach Memmert & Roca, 2019)



Anmerkung. Das Modell zeigt, dass jede Situation zunächst antizipiert und auf der Grundlage früherer Erfahrungen wahrgenommen wird. Dann wird die Aufmerksamkeit auf spezifische Aspekte der Situation gerichtet, um schließlich eine Reihe von Ideen zu sammeln und eine davon als Lösung auszuwählen.

Als ersten Subprozess nennen Memmert und Roca die Antizipation, da jede Situation aufgrund von Vorerfahrungen, die im Langzeitgedächtnis abgespeichert sind, gedanklich vorweggenommen wird. Zur Veranschaulichung kann die weltberühmte Zeichnung vom Liebespaar und den Delfinen (i.e., *Message d'amour des dauphins*) von Sandro Del-Prête herangezogen werden. Sie zeigt, dass die Wahrnehmung durch das Vorwissen beeinflusst wird. Denn wenn Menschen sowohl das Liebespaar als auch die Delfine erkannt haben, werden sie diese ihr gesamtes Leben wahrnehmen. Als zweiten kognitiven Subprozess beschreiben die Autoren die Wahrnehmung, also den Prozess der Aufnahme, Selektion und Verarbeitung optischer Reize. Dabei ist die menschliche Wahrnehmung nicht nur selektiv, wie Cherry (1953) mit ihrem *Cocktail Party* Effekt bereits früh zeigen konnte, sondern in hohem Maße auch subjektiv, wie etwa der Halo-Effekt von Wells (1907) oder die Experimente von Asch (1946) zum *Primacy* Effekt verdeutlichen. Memmert und Roca (2019) beschreiben als nächsten kognitiven Subprozess die

Aufmerksamkeit, welche in Anlehnung an die *Spotlight*-Metapher von LaBerge (1983) gleichsam wie ein Scheinwerfer umherbewegt und auf verschiedene Aspekte eines Stimulus gelenkt werden kann. Erst im letzten Subprozess generieren Athleten*innen aufgrund von gesammelten Informationen eine intelligente (beste) oder kreative (unerwartet, originell) Lösung, bzw. mehrere alternative Lösungen. In allen Subprozessen spielt nach Memmert und Roca (2019) das Gedächtnis eine zentrale Rolle; sowohl die begrenzte Arbeitskapazität des Arbeitsgedächtnis als auch die im Langzeitgedächtnis abgespeicherten Bewegungsmuster beeinflussen die Entscheidungsfindungen von Athleten*innen.

Medernach & Memmert (2021) übertrugen das Prozessmodell menschlicher Entscheidungshandlungen auf das Bouldern. In ihrem Modell antizipieren Kletterer*innen die Bewegungsanforderungen eines Boulders auf der Grundlage ihrer vorherigen Klettererfahrungen (i.e., Bewegungsrepertoire), bevor sie den Boulder visuell verarbeiten und ihren Fokus auf relevante Aspekte (e.g., Greifbarkeit der Griffe) richten. Athleten*innen stützen sich auf ihre wahrnehmungskognitiven Fähigkeiten, um anschließend eine oder mehrere Problemlösungsstrategien zu entwickeln und geeignete motorische Aktionen auszuwählen. Die ausgewählte Lösung entspricht im Idealfall der einfachsten Option, einen Boulder unter Berücksichtigung der körperlichen Eigenschaften (e.g., Körpergröße), motorischen Fähigkeiten (e.g., Fingerkraft) und technischen Fertigkeiten der Athleten*innen zu lösen.

Eine der wenigen Arbeiten, in denen bis dato die kognitiven Entscheidungsprozesse im Bouldern empirisch untersucht wurden, ist die Studie mit dem Titel „Finding new creative solutions is a key component in world-class competitive bouldering“ (siehe Anhang) von Künzell et al. (2021)⁷. Die Autoren untersuchten anhand von Videoaufzeichnungen (*Data Collection*, S. 1), wie Spitzensportler*innen bei sechs Boulder-Weltcups im Jahr 2017 mit Fehlversuchen umgingen. Genauer gesagt untersuchten sie, ob Athleten*innen ihre Lösungsstrategien nach einem erfolglosen Versuch beibehielten oder ob sie eine neue Strategie entwickelten (*Introduction*, S. 1). Die Ergebnisse (S. 3, mittlere Kolonne) zeigen, dass die Erfolgsquote (i.e., erfolgreiche Lösung der Boulder) bei neuen Lösungen höher war (Frauen: 20,0%; Männer: 22,9%) als bei der Wiederholung der alten Strategie (Frauen: 4,3%; Männer: 4,6%). Zudem (S. 3, rechte Kolonne) zeigten die nichtparametrischen Korrelationsanalysen einen negativen Zusammenhang (Frauen: $\rho = -.69$; Männer: $\rho = -.23$) zwischen der Generierung neuer Lösungen und der Platzierung der

⁷Wissenschaftlicher Forschungsartikel

Teilnehmer*innen in der Weltrangliste. Diese Befunde bestätigen die Beschreibungen der nicht-wissenschaftlichen Literaturquellen und zeigen, dass die Generierung von mehreren Strategien für einen Boulder eine wichtige Leistungskomponente im Wettkampf-Bouldern darstellt. Gleichzeitig mussten die Autoren aber auch feststellen (*Discussion*, S. 4), dass Athleten*innen ihre Strategien öfters beibehielten als sie zu ändern (Frauen: 37,7%; Männer: 30,4%).

Auch wenn die Studie von Künzell und Kollegen (2021) die Bedeutung kognitiver Entscheidungsprozesse im Bouldern unterstreicht und somit einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung des Boulderns beitrug, sind vor allem zwei Faktoren kritisch zu betrachten. Erstens stützen sich die Autoren in ihrem explorativen Vorgang vorwiegend auf deskriptive Statistiken mit Ausnahme der Korrelationsanalysen (i.e., Regressionsanalysen wären aufgrund vom R^2 aussagekräftiger gewesen) ohne konkrete Hypothesen aufgestellt und überprüft zu haben. In Verbindung mit relativ kleinen Stichproben (sechs Elitesportler \times sechs Weltcups \times vier Boulder \times zwei Geschlechter), einer fehlenden *a priori* Poweranalyse und einer begrenzten Datenerhebung (fehlende ökologische Validität), sind daher Verallgemeinerungen auf eine Grundgesamtheit kaum möglich. Zweitens betonen die Autoren in ihrer Publikation den Stellenwert kreativer Lösungen (die Kreativität wird sogar im Titel erwähnt), ohne jedoch die Kreativität der Sportler empirisch erhoben und ausgewertet zu haben. Dies ist kritisch zu betrachten, da Anpassungen von Lösungsstrategien nicht *per se* mit kreativen Lösungen einhergehen. Folglich müssen zukünftige Studien zeigen, inwiefern alternative Lösungsstrategien tatsächlich auch als kreativ bezeichnet werden können. Darüber hinaus müssen empirische Studien auch zeigen, wie die Autoren abschließend auch einräumen, in welchem Ausmaß kognitive Entscheidungshandlungen für Leistungsunterschiede zwischen Athleten*innen verantwortlich sind. Diesbezüglich würde das Einbeziehen von nicht Elite Athleten*innen auch wichtige Erkenntnisse liefern.

Trotz fehlender empirischer Studien zur Kognition im Bouldern, deuten die untersuchten Literaturquellen daraufhin, dass kognitive Entscheidungsprozesse im Bouldern leistungsrelevant sind. Dabei scheint das Bewegungsrepertoire von Athleten*innen entscheidend zu sein, um vielseitige Bewegungsanforderungen im Bouldern antizipieren zu können und wahrgenommene Informationen akkurat verarbeiten zu können. Dies ermöglicht es Athleten*innen unter Berücksichtigung ihrer körperlichen Eigenschaften, motorischen Fähigkeiten und technischen Fertigkeiten zielführende Lösungen und alternative Strategien für einen Boulder zu generieren.

Zwei zentrale Fragen, die an dieser Stelle diskutiert und künftig empirisch untersucht werden sollen sind, ob kognitive Fähigkeiten von Athleten*innen domänenspezifisch sind und, damit zusammenhängend, wie kognitive Entscheidungsprozesse in der Praxis trainiert werden können. Die Meta-Analyse von Kalén et al. (2021)⁸ mit insgesamt 142 Studien (Überprüfung gemäß PRISMA-Richtlinien; elektronische Datenbanken: Cochrane Library, APA PsychoINFO, PubMed, und Web of Science) aus 39 unterschiedlichen Sportarten liefert wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf die Beziehung zwischen Kognition und der sportlichen Leistungsfähigkeit. Die mehrstufige Meta-Analyse ergab eine mittlere Effektgröße ($g = .59$) für sportartspezifische kognitive Fähigkeiten und einen hohen Effekt ($g = .77$) für domänenspezifisch kognitive Entscheidungsfindungen, während die Art der verwendeten Antwort, die Altersgruppe, das Studiendesign und die Messung der sportlichen Leistungen nur geringe bis gar keine Auswirkungen hatten. Dies zeigt trotz fehlender Vielfalt der untersuchten Stichproben (e.g., geringe Anzahl von weiblichen Teilnehmern, überwiegend erwachsene Sportler), dass Spitzensportler*innen höhere domänenspezifische kognitive Fähigkeiten aufzeigen als unerfahrenere Sportler*innen. Zudem unterstreichen die Ergebnisse den Stellenwert von repräsentativen kognitiven Testverfahren mit sportartspezifischen Stimuli und folglich einer hohen ökologischen Validität.

Die Ergebnisse von Kalén et al. (2021), dass kognitive Fähigkeiten domänenspezifisch sind, sind konsistent mit frühen Studien aus dem Schach. Chase und Simon (1973) beispielsweise untersuchten die Beziehung zwischen Expertise im Schach und der Fähigkeit, sich Positionen von Spielfiguren zu merken. Die Autoren replizierten ein Experiment von de Groot (1956), der beobachtete, dass Schachmeister weniger erfahrene Schachspieler beim Erkennen und Erinnern von bedeutungsvollen Schachstellungen übertrafen. Diese kognitiven Vorteile verschwanden jedoch, sobald die Spieler unstrukturierte, zufällig angeordnete Schachstellungen abrufen sollten. Simon und Chase (1973) machten vergleichbare Beobachtungen und kamen zu dem Schluss, dass die wahrnehmungskognitive Fähigkeit, sich an Schachpositionen zu erinnern, nicht mit dem visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis oder den Suchstrategien zusammenhängt, sondern mit der Erkennung vertrauter Spielmuster, die im Langzeitgedächtnis gespeichert sind. Neuere Studien wie die von Roca und Williams (2017) zeigen allerdings eine positive Übertragung kognitiver Entscheidungsfähigkeiten zwischen Sportarten. Die Autoren

⁸Wissenschaftliche Meta-Analyse

betonen aber, dass solche kognitiven Entscheidungsfindungen lediglich zwischen ähnlichen Sportarten (e.g., Fußball und Handball) und auch nur bedingt übertragbar sind.

Abschließend bleibt zu klären, wie kognitive Entscheidungsprozesse im Bouldern trainiert werden können. Da auch hierzu bislang keine Publikationen vorliegen, sei an dieser Stelle erneut auf Memmert und Roca (2019) verwiesen. Die Autoren liefern mit ihrer *Tactical Creativity Approach* (TCA) sieben methodische Grundsätze (sieben D's), mit denen die taktische Entscheidungsfindung trainiert werden kann. Auch wenn sich das Modell auf Mannschafts- und Rückschlagsportarten bezieht, lassen sich die sieben D's teilweise auf das Bouldern übertragen. Zwei Prinzipien sind dabei besonders entscheidend, nämlich die *Deliberate Practice* (bewusstes Trainieren) und das *Deliberate Coaching* (gezieltes Anleiten). Bewusstes Trainieren setzt Trainingsprogramme voraus, die auf eine Schulung der Entscheidungsfähigkeit abzielen. Dies bedeutet, dass Athleten*innen vielseitige und abwechslungsreiche Bewegungsangebote erfahren müssen und über diese Erfahrungswerte lernen, für vielseitige Bewegungsanforderungen adäquate Problemlösungsstrategien und geeignete motorische Aktionen zu entwickeln. In diesem Lernprozess ist das gezielte Coachen eine *Conditio sine qua non*: Trainer*innen sollten Lösungen nicht permanent vorwegnehmen, sondern gezielt nur die nötigsten Anleitungen geben, um über induktive Lernprozesse Athleten*innen den Raum und die Zeit zu geben, die richtigen Problemlösungsstrategien selbst zu entdecken.

Schluss teil

Die Ergebnisse dieser Literaturrecherche deuten darauf hin, dass kognitive Entscheidungsprozesse im Bouldern eine leistungsbestimmende Komponente darstellen. Die Bedeutung der Kognition lässt sich auf die unzähligen Bewegungskonstellationen im Bouldern zurückführen, durch welche jeder Boulder eine unterschiedliche Kombination von visueller, räumlicher, kinästhetischer und motorischer Verarbeitung erfordert. Wahrnehmungs-, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozesse scheinen entscheidend zu sein, damit Athleten*innen effiziente Problemlösungsstrategien generieren und motorische Handlungspläne erstellen können, die ihren körperlichen Eigenschaften, motorischen Fähigkeiten und technischen Fertigkeiten entsprechen.

Der aktuelle Stand der Literatur verdeutlicht allerdings auch, dass das Bouldern bislang kaum empirisch erforscht ist und die leistungsbestimmende Funktion der verschiedenen kognitiven Subprozesse weiterer wissenschaftlicher Publikationen bedarf. Wie bereits im Kontext der Studie von Künzell et al. (2021) erwähnt, müssen

zukünftige Studien zeigen, in welchem Ausmaß zielführendere Problemlösungsstrategien und effizientere Entscheidungen die sportliche Leistungen von Athleten*innen tatsächlich beeinflussen. Diese Frage konnte anhand des aktuellen Forschungsstandes nicht beantwortet werden. Empirische Studien sind demnach notwendig, um die einzelnen kognitiven Subprozesse im Bouldern und deren Impact auf die Leistungsfähigkeit genauer zu verstehen. Dies gilt nicht nur für den Hochleistungsbereich; Studien sollten auch die Bedeutung perceptiver und kognitiver Mechanismen im Breitensport erforschen. So könnte beispielsweise anhand der Eye-Tracking Technologie die Aufmerksamkeit von Athleten*innen im Bouldern genauer erforscht werden. Des Weiteren bleibt in Anlehnung an Kahnemans (2013) Buch „Thinking, fast and slow“ zu klären, inwieweit Entscheidungen im Bouldern aufgrund des Zeitfaktors eher auf Basis von schnellen und sparsamen Heuristiken intuitiv sind (i.e., schnelles Denken) oder aber auf bewussten und rationalen Entscheidungen (i.e., langsames Denken) getroffen werden.

Literaturverzeichnis

- Araújo, D., Hristovski, R., Seifert, L., Carvalho, J., & Davids, K. (2019). Ecological cognition: Expert decision-making behaviour in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 12(1), 1-25. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2017.1349826>
- Asch, S. E. (1946). Forming impressions of personality. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 41(3), 258-290. <https://doi.org/10.1037/h0055756>
- Augste, C., Sponar, P., & Winkler, M. (2021). Athletes' performance in different boulder types at international bouldering competitions. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 21(3), 409-420. <https://doi.org/10.1080/24748668.2021.1907728>
- Bar-Eli, M., Plessner, H., & Raab, M. (2011). *Judgement, decision making and success in sport*. Wiley-Blackwell.
- Beilock, S. (2017). *How the body knows its mind: The surprising power of the physical environment to influence how you think and feel*. Atria.
- Carey, L. M., Jackson, R. C., Fairweather, M. M., Causer, J., & Williams, A. M. (2017). Perceptual-cognitive expertise in golf putting. In M. Toms, S. MacKenzie, S. Robertson, M. Lochbaum, K. Kingston, & A. Fradkin (Eds.), *Routledge international handbook of golf science* (pp. 173-182). Routledge. https://repository.lboro.ac.uk/articles/chapter/Perceptual-cognitive_expertise_in_golf_putting/9616799
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4(1), 55-81. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90004-2)
- Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979. <https://doi.org/10.1121/1.1907229>
- De Groot, A. D. (1956). *Thought and choice in chess*. Amsterdam University Press.
- Ericsson, K. A. (2017). Expertise and individual differences: The search for the structure and acquisition of experts' superior performance. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 8(1-2). <https://doi.org/10.1002/wcs.1382>

-
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Houghton, Mifflin and Company.
- Gilovich, T., Vallone, R., & Tversky, A. (1985). The hot hand in basketball: On the misperception of random sequences. *Cognitive Psychology*, 17(3), 295-314. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(85\)90010-6](https://doi.org/10.1016/0010-0285(85)90010-6)
- Goschke, T. (2016). Volition und kognitive Kontrolle. In J. Müsseler & M. Rieger (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (pp. 251-252). Spektrum Akademischer Verlag.
- Graham, A. (2021, January 6). *As climbing participation grows, routesetting must cater for a wider range of heights and abilities*. UKC. https://www.ukclimbing.com/articles/features/as_climbing_participation_grows_routesetting_must_be_inclusive-13285
- Hagemann, N., Strauss, B., & Cañal-Bruland, R. (2006). Training perceptual skill by orienting visual attention. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 28(2), 143-158. <https://doi.org/10.1123/jsep.28.2.143>
- Hänsel, F., Baumgärtner, S. D., Kornmann, J. M., & Ennigkeit, F. (2016). *Sportpsychologie*. Springer.
- Hatch, T., & Leonardon, F. (2023, October 25). *Rules 2023*. International Federation of Sport Climbing. https://www.ifsc-climbing.org/images/Website/2023_IFSC_Rules_112.pdf
- Hohmann, A., Lames, M., Letzelter, M., & Pfeiffer, M. (2020). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Limperts Verlag GmbH.
- Kahneman, D. (2013). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.
- Kalén, A., Bisagno, E., Musculus, L., Raab, M., Pérez-Ferreirós, A., Williams, A. M., Araújo, D., Lindwall, M., & Ivarsson, A. (2021). The role of domain-specific and domain-general cognitive functions and skills in sports performance: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 147(12), 1290-1308. <https://doi.org/10.1037/bul0000355>
- Kaya, A. (2014). Decision making by coaches and athletes in sport. *Social and Behavioral Sciences*, 152, 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.205>
- Kogler, A. (2006). *Die Kunst der Höchstleistung*. Sportpsychologie, Coaching, Selbstmanagement. Springer Verlag.
- Künzell, S., Thomiczek, J., Winkler, M., & Augste, C. (2021). Finding new creative solutions is a key component in world-class competitive bouldering. *German*

Journal of Exercise and Sport Research, 51, 112-115.

<https://doi.org/10.1007/s12662-020-00680-9>

LaBerge, D. (1983). Spatial extent of attention to letters and words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9(3), 371-379.

<https://doi.org/10.1037/0096-1523.9.3.371>

Lobinger, B. H., & Stoll, O. (2019). Leistung beschreiben, erklären, vorhersagen und optimieren. Ein sportpsychologischer Beitrag. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 26(2), 58-70. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000260>

Marteniuk, R. G. (1976). *Information processing in motor skills*. Holt, Rinehart, and Winston.

Medernach, J. P., & Memmert, D. (2021). Effects of decision-making on indoor bouldering performances: A multi-experimental study approach. *PloS one*, 16(5), e0250701.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250701>

Meltzer, D. (2019). *Game-time decision making: High-scoring business strategies from the biggest names in sports*. McGraw Hill.

Memmert, D., & Roca, A. (2019). Tactical creativity and decision making in sport. In A. M. Williams & R. C. Jackson (Eds.), *Anticipation and decision making in sport* (pp. 203-214). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315146270-11>

Miklashevsky, A., Kulkova, E., Michirev, A., Mende, M. A., & Bertonatti, M. (2021). Book review: Judgment, decision-making, and embodied choices. *Frontiers in Psychology*. 12:665728. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.665728>

Neumann, U. (2019). The evolution of modern route setting. In M. Polig & M. Hilber (Eds.), *Routesetter* (pp. 34-39). Vertical-Life.

Raab, M. (2020). *Judgment, decision-making, an embodied choices*. Academic Press.

Raab, M., Bar-Eli, M., Plessner, H., & Araújo, D. (2019). The past, present and future of research on judgment and decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 42, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.10.004>

Renshaw, I., Davids, K., Newcombe, D., & Roberts, W. (2019). *The constraints-led approach: Principles for sports coaching and practice design*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315102351>

-
- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Williams, A. M. (2011). Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task. *Cognitive Processing*, *12*(3), 301-310. [doi: 10.1007/s10339-011-0392-1](https://doi.org/10.1007/s10339-011-0392-1)
- Roca, A., & Williams, A. M. (2016). Expertise and the interaction between different perceptual-cognitive skills: Implications for testing and training. *Frontiers in Psychology*, *7*:792. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00792>
- Roca, A., & Williams, A. M. (2017). Does decision making transfer across similar and dissimilar sports? *Psychology of Sport and Exercise*, *31*, 40-43. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.04.004>
- Saul, D., Steinmetz, G., Lehmann, W., & Schilling, A. F. (2019). Determinants for success in climbing: A systematic review. *Journal of Exercise Science and Fitness*, *17*(3), 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2019.04.002>
- Strafford, B. W., Davids, K., North, J. S., & Stone, J. A. (2021). Designing parkour-style training environments for athlete development: Insights from experienced parkour traceurs. *Qualitative Research in Sport, Exercise, and Health*, *13*(3), 390-406. <https://doi.org/10.1080/2159676X.2020.1720275>
- Van Maarseveen, M. J. J., Oudejans, R. R. D., Mann, D. L., & Savelsbergh, G., J. P. (2018). Perceptual-cognitive skill and the in situ performance of soccer players. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(2), 455-470. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.12552>
- Wells, F. L. (1907). A statistical study of literary merit with remarks on some new phases of the method. *Archives of Psychology*, *7*, 5-30.
- Williams, A. M., Ford, P., Hodges, J., & Ward, P. (2018). Expertise in sport: Specificity, plasticity and adaptability. In K. A. Ericsson, N. Charness, R. Hoffmann, & A. M. Williams (Eds.), *Handbook of expertise and expert performance* (pp. 653-674). Cambridge University Press.
- Williams, A. M., & Jackson, R. C. (2019). Anticipation in sport: Fifty years on, what have we learned and what research still needs to be undertaken? *Psychology of Sport and Exercise*, *42*, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.11.014>
- Winkler, M., Künzell, S., & Augste, C. (2022). The load structure in international competitive climbing. *Frontiers in Sports and Active Living*, *4*(790336), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.790336>

Anhang

Brief Communication

Ger J Exerc Sport Res
<https://doi.org/10.1007/s12662-020-00680-9>
Received: 2 July 2020
Accepted: 23 September 2020

© The Author(s) 2020



Stefan Künzell · Johannes Thomiczek · Marvin Winkler · Claudia Augste
Institut für Sportwissenschaft, Universität Augsburg, Augsburg, Germany

Finding new creative solutions is a key component in world-class competitive bouldering

Introduction

Bouldering is a complex sport that requires not only physical fitness, but also cognitive skills. It is not without reason that in bouldering we speak of “solving a boulder problem”. Nevertheless, the scientific analysis of the performance-determining factors in bouldering focuses mainly on the conditional abilities. For this purpose, the abilities of elite climbers were usually compared with those of advanced and beginners. The unanimous result of these investigations is that elite climbers have a better ratio of finger strength to body weight than advanced and beginners (Baláš, Pecha, Martin, & Cochrane, 2012; Laffaye, Levernier, & Collin, 2016; Macdonald, & Callender, 2011). Strength endurance also plays a decisive role (Fryer, Giles, Palomino, de la O Puerta, & España-Romero, 2018; Macdonald & Callender, 2011; Philippe, Wegst, Müller, Raschner, & Burtscher, 2012). However, e.g. finger strength may well discriminate beginners, near elite and elite climbers, but this does not allow the conclusion that it is causal for performance differences within the group of elite climbers. At least, elite coaches have their doubts. In a qualitative survey of head coaches from Austria, Germany and Switzerland all coaches agreed that finger strength is a decisive factor in bouldering, but they argued that at the highest level of competition all participants have sufficient strength. Without strength “you won’t get the ticket”, but then it does not matter for the competition performance “whether you can do 5 or 7 one-armed pull-ups”, said the German coach (Augste & Künzell, 2017, p. 52, own transla-

tion). Rather, coordinative and cognitive abilities are the decisive factors for top performance, according to the coaches. Therefore, in our study we evaluate competition performance of the world’s top level boulderers on behalf of one cognitive component, the ability to create different solutions for a boulder problem in order to solve it.

There are several formats for boulder competitions, which generally include an observation period and a climbing period. In the observation period, athletes may inspect the boulder and touch the starting holds, but are not allowed to climb. In the climbing period, they have an infinite number of attempts to climb the boulder within a certain time. In the world cup finals, observation period takes 2 min and climbing period 4 min. No athlete regularly flashes all boulder problems, i.e. solves the boulder problem in the first attempt. An unsuccessful first attempt is very likely and intended by the route setters. After an unsuccessful attempt the athletes are confronted with the question whether they should change their action plan and try a qualitatively different solution in the second attempt or whether they should stick to their plan and only change details like the force application or the grip technique. Of course, the answer to this question depends partly on the specific boulder problem. However, in our study we averaged over a large number of attempts and were able to determine an overall success rate for maintaining or changing the action plan. To determine the impact of the ability to create new solutions to a boulder problem we proceed in two steps. First, we analyse whether creating

a new action plan is more or less successful than sticking with the first developed plan. Second, we investigate whether the application of the more successful strategy is linked to the ranking in the world ranking list.

Methods

Data collection

To measure the number of changes in the action plan in solving boulder problems of top athletes, we analysed the freely accessible video recordings of the finals of the 2017 Bouldering World Cups in Meiringen (Switzerland), Chongqing (China), Nanjing (China), Tokyo (Japan), Mumbai (India) and Munich (Germany). The Chairperson of the local ethics committee and Data Protection Officer had no objections and issued a negative clearance. Six male and six female athletes, who performed best in the qualification and semifinals, participated in the respective finals. They each had to solve four boulder problems, each within a climbing time of four minutes and with an unlimited number of attempts within this time. In total the athletes completed 1007 attempts within 288 climbing periods (6 athletes × 6 World Cups × 4 boulder problems × 2 sexes). The average number of attempts was 3.5 per climbing period.

Participants

In total, 15 female and 15 male athletes qualified for at least one of the World Cup finals analysed. One female athlete qualified for six finals, one for five finals, three for four finals, one for three finals, one

Brief Communication

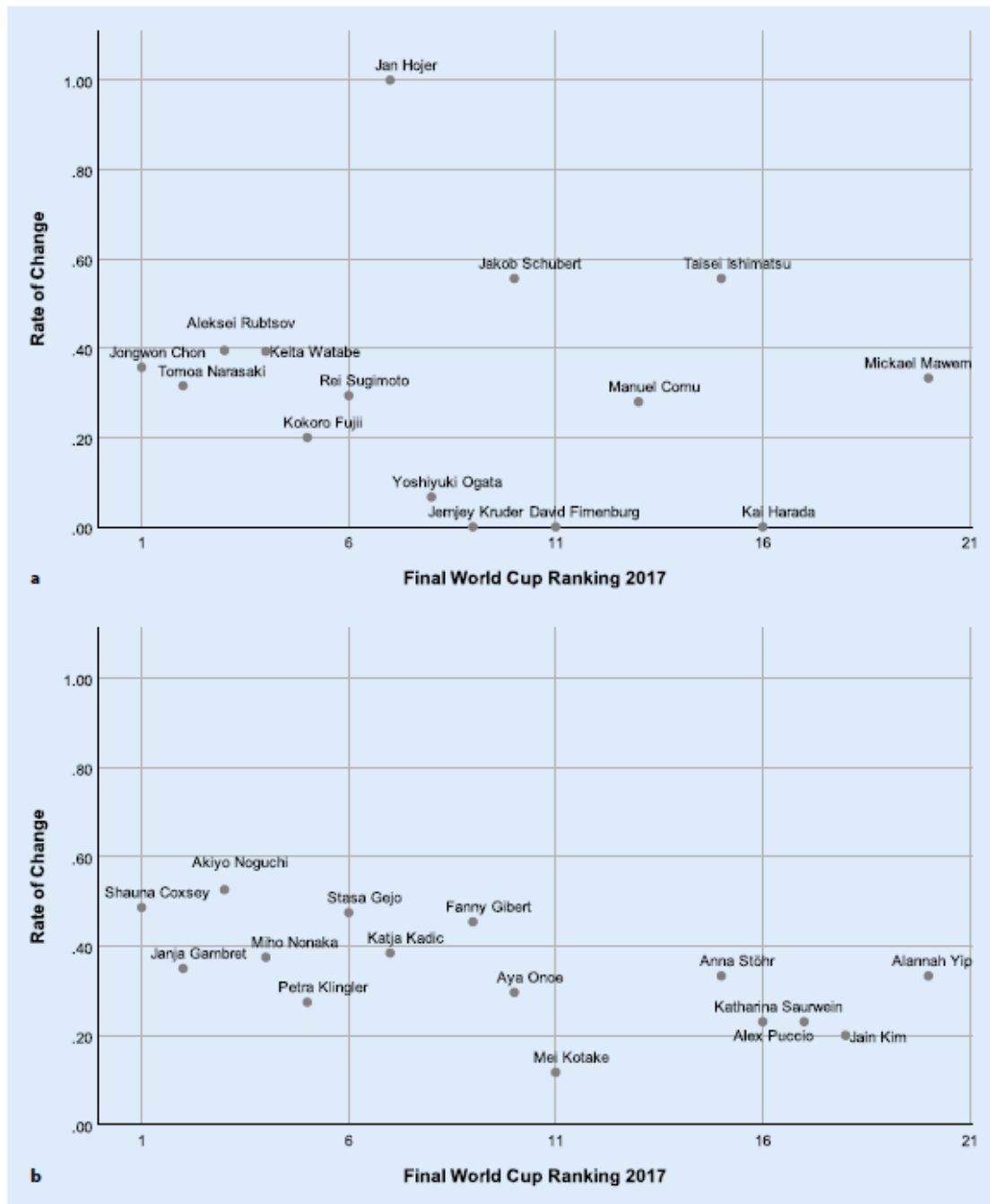


Fig. 1 ▲ Correlation of the final world ranking list 2017 and the rate of change for men (a) and women (b)

for two finals and eight for only one final. None of the male athletes qualified for all six finals, one for five finals, three for four finals, two for three finals, four for two finals and five for only one final. All athletes signed a declaration of consent that pictures and videos of their performances at the Boulder World Cups will be recorded and may be published on the internet by the International Federation of Sport Climbing. Please note that our survey is a full survey of the population of all World Cup finalists and no random sample was taken. Therefore, we report the data only descriptively and do not use inferential statistical calculations.

Dependent variables

In the following we use the term climbing strategy for action planning in bouldering, as it is more common in climbing. A change in climbing strategy has been observed when the athlete has used a clearly visible different solution for the current attempt than for one of the two previous attempts. By definition, the first attempt was an attempt without change. An obviously visible different solution involves the use of holds in a different order, the use of different grip positions or the change from a dynamic to a static solution or vice versa. It excludes differences that are not visible to the naked eye, e.g. different force application, different body tensions, slight changes in joint angles and the like. Admittedly, this is a somewhat subjective measure. A student assistant—a licensed amateur climbing trainer—analysed each climbing attempt and rated the attempts with “change” or “no change” and compared them with the two previous attempts in the actual climbing period. In addition, the attempts of the World Cup finals in Chongqing and Munich were analysed independently by a second evaluator, an elite climber (French scale 8c+, 28 IR-CRA reporting scale, see Draper et al., 2015) and licensed route setter. Success and bonus holds¹ were taken from the official scores given by the judges.

¹ As of 2018, bonus holds will be referred to as zone holds under the ISCF competition rules. However, since our analysis uses data from 2017, we use the term “Bonus Holds”.

Results

Cohen’s κ was conducted to determine if there was a correspondence between the judgement of two evaluators as to whether the boulderers maintained or changed their solution based on the analysis of two competitions. The two evaluators agreed on no change in 196 attempts and on a change of solution in 56 attempts. However, scorer 1 scored 10 attempts as a change when scorer 2 scored them as no change and scorer 2 scored 16 attempts as a change when scorer 1 scored them as no change. There was a good agreement between the judgments of the two evaluators, $\kappa = 0.76$, $p < 0.001$ (Greve & Wentura, 1997).

In the analysed world cups the men made 489 attempts, 144 first attempts and 345 follow-up attempts where they had to make the strategic decision to change or not to change the approach to the boulder. The female athletes made 518 attempts, 144 first attempts and 374 follow-up attempts with the strategic decision.

The men changed their climbing strategy in the second or following attempt after failure in 105 attempts, of which 24 were successful and 81 were not successful, resulting in an average success rate of 22.9%. They stuck to their strategy in 240 attempts (excluding the first attempt), of which 11 were successful and 229 were unsuccessful, resulting in an average success rate of 4.6%. Accordingly, women changed in 141 attempts (31 successful, 110 unsuccessful, average success rate 22.0%) and did not change in 233 attempts (10 successful, 223 unsuccessful, average success rate 4.3%).

We determined the conditional success rate for each attempt, broken down by gender and change vs. no change. The conditional success rate for a strategy change is the percentage of successful attempts compared to all attempts with a strategy change (Table 1).

To determine the impact of the change in strategy on overall performance, we conducted a nonparametric correlation analysis between the overall change rate of each athlete and their final place at the 2017 Bouldering World Cup. For the male athletes the Spearman rho

Abstract

Ger J Exerc Sport Res
<https://doi.org/10.1007/s12662-020-00680-9>
 © The Author(s) 2020

S. Künzell · J. Thomiczek · M. Winkler · C. Augste

Finding new creative solutions is a key component in world-class competitive bouldering

Abstract

Bouldering is a sport climbing discipline in which short, extremely difficult climbing routes, so-called boulder problems, have to be mastered. Besides excellent physical condition, the ability to read a boulder and to generate motor solutions for the boulder problem is probably a performance-determining factor. In a full survey of all participants of the 2017 Bouldering World Cups we investigated how athletes deal with an unsuccessful first attempt. We distinguish between follow-up attempts in which athletes retry the same solution as before and follow-up attempts in which they find a new solution. We could show that the success rate of new solutions is substantially higher than the repetition of the old solution. Furthermore, there is a correlation with the frequency of finding new solutions and the position in the world ranking. We conclude that the ability to create several solutions for boulder problems is a very important component of performance in bouldering.

Keywords

Sport climbing · Problem-solving · Performance-determining factors · High-performance sport · Expert

(ρ) correlation coefficient was -0.231 (Fig. 1b), for the female climbers it was -0.69 (Fig. 1a). As this is a full survey, there is no probability of error, $p = 0$.

There are some outliers in the presented data that we have not eliminated. Rather, we have included them in the figures to show that caution is required in interpreting the results. For example, Jan Hojer achieved a rate of change of 100%, which is due to the fact that he only reached one final (in Munich), where he flashed boulders 2 and 3 and changed the strategy on trial 2 and 4 (of five trials) of boulder 1 and on trial 2 (of two trials) of boulder 4. On the other hand, Kai Harada (Chongqing) and David Firnenburg (Meiringen) did not change their

Brief Communication

Table 1 Rate of success depending on the choice of strategy (change vs. no change). The values indicate the percentage of successful attempts among all attempts with (or without) strategy change

	Men		Women	
	Change (%)	No change (%)	Change (%)	No change (%)
Attempt 1	–	22.2	–	17.4
Attempt 2	40.0	6.9	24.3	4.9
Attempt 3	21.9	6.9	26.8	5.3
Attempt 4	12.0	0.0	15.6	7.3
Attempt 5 and following	17.4	1.9	19.4	0.0

strategy once, although we observed at least three or four different strategies of other athletes for all boulder problems in these World Cups.

Discussion

In our study we analysed the results of strategic motor planning processes in elite boulderers. We could show that these processes play an important role for the successful solution of boulder problems. We show that although the conditional success rate of strategy changes is much higher than the conditional success rate of attempts where athletes stick to the previous strategy, athletes more often stick to their strategy than change it. While men on average change strategy after failure in 30.4% of attempts, women change strategy after failure in 37.7% of attempts. Based on our research we could develop two pieces of advice for boulder coaches and athletes. First, athletes should learn to correctly assess the probability of success for a certain strategy once they have tried and failed. Second, athletes should always practice developing different climbing strategies for the same boulder problem. Both advices require the training of a predictive model that allows anticipating the effects of the movement (Wolpert, Ghahramani, & Flanagan, 2001; Wolpert & Kawato, 1998). We assume that these two components are what differentiates other elite athletes from the world's leading climbers. Above all, finding a single variable that correlates substantially with the performance differences of the world's top 20 athletes is a very rare finding in complex sports like bouldering.

Corresponding address



Stefan Künzell
Institut für Sportwissenschaft,
Universität Augsburg
Universitätsstr. 3,
86159 Augsburg, Germany
stefan.kuenzell@sport.uni-augsburg.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Compliance with ethical guidelines

Conflict of Interest. S. Künzell, J. Thomiczek, M. Winkler and C. Augste declare that they have no competing interests.

All studies performed were in accordance with the ethical standards indicated in each case.

Open Access. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Augste, C., & Künzell, S. (2017). Welche Eigenschaften zeichnen einen Spitzenkletterer aus? Ergebnisse aus Interviews mit Leistungstrainern. *Leistungssport*, 47(4), 49–55.
- Balás, J., Pecha, O., Martin, A. J., & Cochrane, D. (2012). Hand–arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, 12, 16–25. <https://doi.org/10.1080/17461391.2010.546431>.

- Drapez, N., Giles, D., Schöffl, V., Fuss, F.K., Watts, P.B., Wolf, P., Balás, J., España Romero, V., Gonzales, G.B., Fryer, S., Fanchini, M., Vigouroux, L., Seiffert, L., Donath, L., Spoerri, M., Bonetti, K., Phillips, K.C., Stöcker, U., Bourassa-Moreau, F., Abreu, E., et al. (2015). Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: International rock climbing research association position statement. *Sports Technology*. <https://doi.org/10.1080/19346182.2015.1107081>.
- Fryer, S.M., Giles, D., Palomino, I.G., de la O Puerta, A., & España-Romero, V. (2018). Hemodynamic and cardiorespiratory predictors of sport rock climbing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3534–3541.
- Greve, W., & Wentura, D. (1997). *Wissenschaftliche Beobachtung: Eine Einführung* (2nd edn.). Weinheim: Beltz.
- Laffaye, G., Levernier, G., & Collin, J.-M. (2016). Determinant factors in climbing ability: Influence of strength, anthropometry, and neuromuscular fatigue. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(10), 1151–1159. <https://doi.org/10.1111/sms.12558>.
- Maccdonald, J.H., & Callender, N. (2011). Athletic profile of highly accomplished boulderers. *Wilderness & Environmental Medicine*, 22, 140–143. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2010.11.012>.
- Phillippe, 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. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2260-1>.
- Wolpert, D.M., & Kawato, M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks*, 11, 1317–1329.
- Wolpert, D.M., Ghahramani, Z., & Flanagan, J.R. (2001). Perspectives and problems in motor learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 487–494.