



Bundesinstitut  
für Sportwissenschaft



Wir helfen  
dem Sport

Bundesinstitut für Sportwissenschaft

# BISp-Forschungsförderung 2024/25

2024/25



Bundesinstitut für Sportwissenschaft

# BISp-Forschungsförderung 2024/25

---

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über „<https://portal.dnb.de>“ abrufbar.

---

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesinstitut für Sportwissenschaft | BISp  
Graurheindorfer Straße 198 · 53117 Bonn  
[info@bisp.de](mailto:info@bisp.de)  
[www.bisp.de](http://www.bisp.de)

### **Ansprechperson**

Fatma Büyrü  
Tel.: 0228 99 640 9043  
E-Mail: [fatma.bueyrue@bisp.de](mailto:fatma.bueyrue@bisp.de)

### **Stand**

Dezember 2025

### **BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2024/25**

ISBN: 978-3-96523-134-4  
DOI <https://doi.org/10.4126/FRL01-006526442>

### **Gestaltung**

MedienMélange: Kommunikation!  
Goetheallee 6, 22765 Hamburg

# Editorial

Mit der nun vor Ihnen liegenden Veröffentlichung „Forschungsförderung 2024/25“ informiert das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) traditionell über die Zielsetzungen, Untersuchungsmethoden und Ergebnisse der von ihm finanzierten Forschungsvorhaben.

Wenngleich der Umfang des aktuellen jährlichen Überblicks auch geringer ausfällt als in den vergangenen Jahren, wird erneut die breite Palette der sportwissenschaftlichen Forschungsförderung deutlich, die vom BISp als koordinierender Institution im Wissenschaftlichen Verbundsystem Leistungssport (WVL) verantwortet wird. Keine andere sportwissenschaftliche Förderinstitution auf Bundesebene deckt alle sportwissenschaftlichen Teildisziplinen ab.

An mehreren Hochschulorten wurden in 2025 100 Jahre der sportwissenschaftlichen Forschung und Lehre gefeiert. Die Sportwissenschaft wird auch künftig den ihr zustehenden Beitrag bei der Erbringung sportlicher Höchstleistungen, aber auch in der Politikberatung nur dann beisteuern können, wenn die nicht zuletzt auch durch diese Publikation angestoßene Diskussion in der Scientific Community eine verlässlich hohe Qualität sportwissenschaftlicher Beratung gewährleisten kann.

Bei aller Professionalität der deutschen Sportwissenschaft möchte ich diese Gelegenheit nutzen, um allen ehrenamtlich Engagierten „rund um“ die BISp-geförderten Forschungsvorhaben herzlich zu danken: den Projektleitenden, den Gutachterinnen und Gutachtern sowie den Mitgliedern des Wissenschaftlichen Beirates beim BISp, die stets unverzichtbaren Input zur Optimierung der Aufgabenerfüllung des Bundesinstituts leisten.

Bei allen Leserinnen und Lesern der Kurzberichte bedanke ich mich vorab für Ihr Interesse und wünsche Ihnen eine kurzweilige und bereichernde Lektüre. Für Fragen und Anregungen stehen Ihnen wie gewohnt die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BISp gern zur Verfügung. Unter [www.bisp.de](http://www.bisp.de) (Rubrik „Über uns“/„Organisation“) finden Sie wie gewohnt die gesuchten Kontaktdaten.

PD Dr. Gabriele Neumann

Ständige Vertreterin der Leitung des  
Bundesinstituts für Sportwissenschaft

# Inhaltsverzeichnis

Editorial .....	5
<b>1 Medizin und Naturwissenschaften.....</b>	<b>8</b>
Femoroazetabuläres Hüftimpingement(syndrom) im Hochleistungssport Badminton: In-lab Visualisierung und Echtzeitanalyse.....	9
<i>Karen aus der Fünten, Dominik Bachmann, Lukas Beringer &amp; Lukas Schmitz</i>	
COVID-19 im Spitzensport – Eine multizentrische Kohortenstudie (CoSmo-S).....	15
<i>Andreas M. Niess, Manuel Widmann, Roman Gaidai, Erik Hasler, Claus Reinsberger, Kai Röcker, Bernhard Haller &amp; CoSmo-S Studien-Konsortium</i>	
Return-to-Play (RTP) nach Verletzungen der unteren Extremitäten im professionellen Handball – Koordination in unvorhersehbaren Situationen .....	23
<i>Dr. Daniel Büchel (Projektmitarbeiter), Pieter Heuvelmans (Projektmitarbeiter), Dr. Alli Gokeler (Projektmitarbeiter), Dr. Anne Benjaminse (Projektmitarbeiterin) &amp; Prof. Dr. Jochen Baumeister (Projektleitung)</i>	
Analyse von Prädiktoren der individuellen Hitzetoleranz im Triathlonsport (PräHiT) .....	32
<i>Andreas M. Niess, Gunnar Erz, Anna Würden &amp; Thomas Beiter</i>	
Schlaf oder Training? – Effekte von Trainingszeiten und Edukation auf Schlafverhalten und Regeneration im leistungssportlichen Schwimmen (SleepTrain) .....	37
<i>Dr. Sabrina Forster, Maxime Brandts &amp; Prof. Tim Meyer</i>	
Invasive Darstellung der muskelinterstitiellen Flüssigkeit mittels Mikrodialyse-Technik und dessen Veränderung durch die Modulation der mechanischen und metabolischen Belastung.....	42
<i>Sanghyeon Ji, M.Sc., Dr. med. Alexander Franz, Prof. Dr. Dr. Michael Behringer &amp; Prof. Dr. Patrick Wahl (Projektleitung)</i>	
Kognitive Einflüsse im Kontext vorderer Kreuzbandverletzungen – eine biomechanische Analyse schneller Richtungswechsel bei Fußballerinnen .....	54
<i>Clara Ebner, Urs Granacher, Andrea Kiesel &amp; Dominic Gehring</i>	
XR als Trainingsmethode im Golf: Visuelle und taktile Rückmeldung zur Bewegungsoptimierung .....	63
<i>Univ.-Prof. Dr. Stefanie Klatt &amp; Dr. Mai Geisen</i>	
<b>2 Sozial- und Verhaltenswissenschaft.....</b>	<b>71</b>
Talentsuche im paralympischen Sport (ParaTalent).....	72
<i>Prof. Dr. Sabine Radtke (Projektleitung) &amp; Alina Vogel</i>	
CULTurn – Coaching- und Leadershipkultur für Trainerinnen und Trainer im Deutschen Turner-Bund ..	77
<i>Maike Tietjens, Sebastian Brückner, Ralf Lanwehr, Jasper Guzmann &amp; Bernd Strauß</i>	

Die Zukunft des (deutschen) Spitzensports – Eine Delphi-Analyse in Zusammenarbeit mit den deutschen Spitzensportverbänden.....	85
<i>Prof. Dr. Sascha L. Schmidt (Projektleitung) &amp; Alexandra Büchling</i>	
Integrität im Sport: Forschungsstand zur Prävention von Integritätsphänomenen im Sport und Herausforderungen in der praktischen Umsetzung .....	91
<i>Dr. Felix Otto, Prof. Dr. Tim Pawlowski, Prof. Dr. Christian Deutscher &amp; Dr. Finn Spilker</i>	
Gesellschaftspolitische Einstellungen im organisierten Sport (EiS) .....	95
<i>Ulrike Burrmann, Sebastian Braun &amp; Michael Mutz</i>	
Extremismusprävention im organisierten Sport. Eine empirische Studie über Präventionsbemühungen von Sportverbänden und -vereinen in Deutschland .....	99
<i>PD Dr. Klaus Seiberth, M.A. Tobias Schleifer, Prof. Dr. Felix Kühnle &amp; Gastprof. PD Dr. habil. Enrico Michelini</i>	
Chancen und Grenzen von Demokratiebildung in Sportvereinen (DeBiS).....	104
<i>Christian Gaum (Projektleitung), David Jaitner, Alexander Ratzmann, Annika Steinmann &amp; Torben Casser</i>	
<b>3        Ingenieurwissenschaft .....</b>	<b>110</b>
Nachhaltigkeit von Sportstätten (Neubau Indoor): Musterbewertungssystem für die Nachhaltigkeit von Sportstätten (Sporthallen, Schwimmbäder und Sportleistungszentren) ...	111
<i>Prof. Dr.-Ing. Natalie Eßig (Projektleitung), Adrian Wirtensohn &amp; Prof. Dr. Christian Kuhn</i>	
Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Reduzierung der Gleitreibung des Kufe/Eis-Kontakts im Wintersport – Teilprojekt 1: Eistreibometer und Gleitreibungsversuche ....	117
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Bartel (Projektleitung), Dr.-Ing. Birthe Grzemba, Carsten Ludwig, Dr. André Sander &amp; Lisa Heinecke</i>	
WindSimRealize.....	122
<i>Prof. Dr. Jörg Ettrich MSc, Dirk Schoening MSc, Dr. Walter Rapp &amp; Florian Schillinger MA</i>	
Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur datenbasierten Ermittlung des individuellen Sanierungsbedarfs bundesdeutscher Sportstätten anhand des baulichen Zustands sowie zur Einschätzung des lokalen Versorgungsgrads mit Kernsportstätten .....	124
<i>Prof. Dr. Lutz Thieme, Dr. Sören Wallrodt, Matthias Weinfurter, Dr. Claudia Biniossek, Dr. Dirk Betz &amp; Tobias Maier</i>	
<b>4        Service- Forschungsprojekte .....</b>	<b>131</b>
Wettkampfanalyse (Para) Badminton 2024.....	132
<i>Fabian Hammes (Projektmitarbeiter) &amp; Daniel Link (Projektleiter)</i>	
Entwicklung eines sportpsychologischen Anforderungsprofils für die Sprintdisziplinen im Bahnradsport .....	136
<i>Dr. Christian Zepp &amp; Dr. Jeannine Ohlert (Projektleitung)</i>	
Übersetzung, kulturelle Adaptation und Validierung des REDs CAT2 Fragebogens (Relative Energy Deficiency in Sport (REDs) Clinical Assessment Tool (CAT)) für den deutschsprachigen Raum.....	140
<i>Johanna Kubosch (Projektleitung), Luisa Wöhrmann, Karsten Hollander, Karsten Köhler, Jasmin Asberger &amp; Nina Albers</i>	

# 1 Medizin und Naturwissenschaften



# Femoroazetabuläres Hüftimpingement-(syndrom) im Hochleistungssport Badminton: In-lab Visualisierung und Echtzeitanalyse

AZ 070104/22-24

Karen aus der Fünten, Dominik Bachmann, Lukas Beringer & Lukas Schmitz

## 1. Problem

Im Hochleistungssport Badminton fiel eine Häufung des femoroazetabulären Impingements (FAI) auf. Typisch für diese Erkrankung ist ein appositionelles Knochenwachstum am (lateralen) Pfannenrand und/oder am Kopf-Hals-Übergang des Oberschenkelknochens. Diese Veränderung(en) führen positionsabhängig zu einem mechanischen Konflikt zwischen den beiden Gelenkpartnern. Anatomische Varianten, wie eine Retroversion der Pfanne oder eine Coxa profunda, begünstigen das Auftreten dieses Konflikts. Neben Schmerzen und einer Bewegungseinschränkung können hierdurch Schäden an Gelenkknorpel wie Labrum verursacht werden, mit dem Endpunkt einer frühzeitigen Hüftgelenkarthrose. Bisher war nicht bekannt, welche Positionen und Bewegungsabläufe das FAI-bedingte mechanische Problem speziell im Badminton auslösen bzw. unterhalten, wo die genutzten Bewegungsabläufe sehr seitendifferent sind.

## 2. Methode

5 männliche Sportler nahmen an der Studie teil (insgesamt 10 Hüftgelenke). 8 Hüftgelenke wiesen zum Studienzeitpunkt FAI-typische Veränderungen auf. Ein Athlet war einseitig wegen dieser Erkrankung voroperiert. Bei einem Sportler war nur eine Seite betroffen. Mittels magnetresonanztomographisch-(MRT-)generierter Daten wurden dreidimensionale, individuelle anatomische Hüftgelenkmodelle der Sportler erstellt. Parallel dazu wurden invers-kinemati-

sche Menschmodelle der einzelnen Spieler erstellt. Zur Visualisierung des FAIs erfolgte eine Fusion aus den beiden Modellen (Avatarerstellung). Für die Echtzeitanalyse führten die Sportler standardisierte wie individuelle badminton-spezifische Bewegungen durch. Auf Basis der digitalen Avatar-Animationen, deren Grundlage die individuellen realen Bewegungsdaten und Anatomien sind, erfolgte eine qualitative Analyse des Auftretens des FAI-induzierten mechanischen Konfliktes zwischen Azetabulum und dem Kopf-Hals-Übergang des Femurs in Abhängigkeit von den Bewegungsebenen und -amplituden. Die kritische femoroazetabuläre Distanz (FAD) wurde klinisch validiert, indem der Abstand zwischen den beiden Gelenkpartnern in allen schmerzhaften Hüftgelenkpositionen gemittelt wurde. Das Projekt sollte bis zur Proof-of-concept-Ebene vorangetrieben werden.

## 3. Ergebnisse, Interpretation der Ergebnisse inkl. abgeleiteter Empfehlungen für die Praxis

Vollständig auswertbar waren 9 der 10 Hüftgelenke. Abbildung 1 zeigt exemplarisch bei einem Sportler die Lokalisation der Femurfläche mit CAM-Deformität im Verhältnis zum Azetabulumrand. Abbildung 2 zeigt exemplarisch anhand von 2 typischen Badmintonbewegungen, wie sich die Lage positionsabhängig verändert und wie sich das auf die FAD auswirkt. Der Mittelwert der kritischen FAD lag bei 6,4 mm (95 % Konfidenzintervall 4,6 – 8,3 mm). Bei vielen bad-

mintontypischen Bewegungen zeigte sich bei vom FAI betroffenen Gelenken eine kritische FAD, aber schon alltägliche Hüftgelenkpositionen wiesen regelmäßig Auffälligkeiten auf.

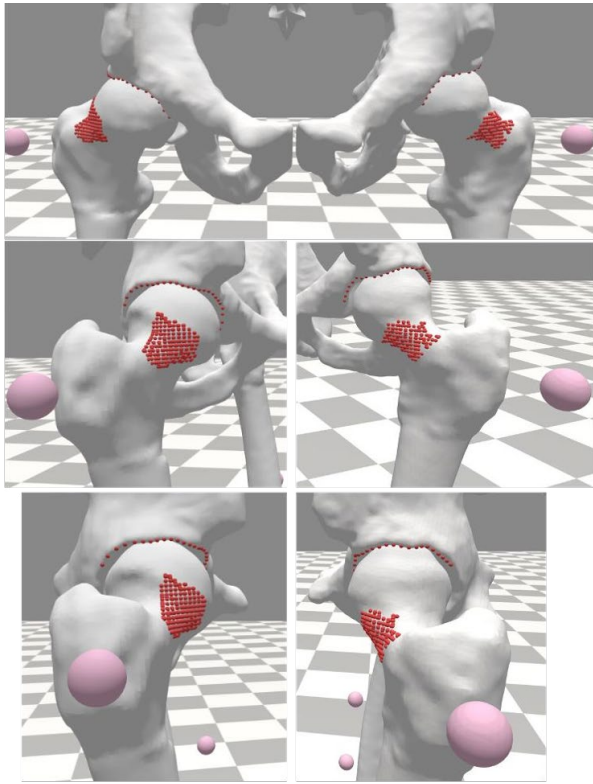


Abb. 1: Lokalisation der Femurfläche mit CAM-Deformität im Verhältnis zum Azetabulumrand in Neutralstellung der Hüftgelenke aus verschiedenen Blickwinkeln.

### a) Isolierte Bewegungsrichtungen (außer Hüftextension) und Kombinationsbewegungen mit Hüftflexion

Die isolierte Hüftflexion von  $\geq 45^\circ$  reichte bei einem Gelenk bereits aus, um eine kritische FAD zu erzeugen. Bei  $85^\circ$  Flexion waren 7 der 9 auswertbaren Hüftgelenke betroffen.

Bei der reinen Hüftabduktionsbewegung reichten in einem Fall bereits  $20^\circ$  aus, bei  $45^\circ$  waren 5 der 9 Gelenke auffällig. Verglichen zur isolierten Hüftflexion traten kritische Abstände bei isolierter Hüftabduktion bei  $5 - 15^\circ$  geringerem Bewegungsausmaß auf. Die Kombination aus  $45^\circ$  fixer Hüftabduktion und zunehmender Flexion führte ab  $30^\circ$  bei allen vom FAI betroffenen Gelenken zu einer kritischen Distanz (siehe Abbildung 3a). Eine Reduktion der Abduktion erhöhte die FADs. Bei einer Abduktion von  $30^\circ$  lagen bei  $0^\circ$  Grad Flexion nur noch 2 im kritischen Bereich, in Kombination mit  $15^\circ$  Abduktion waren alle „unkritisch“ (siehe Abbildung 3b). Bei fixer Hüftabduktion von  $30^\circ$  zeigten sich bei  $\geq 30^\circ$  Flexion 5 und bei  $\geq 60^\circ$  Flexion 8 von 9 Gelenken auffällig. Bei einer fixen Abduktion von  $15^\circ$  fiel die 1. kritische Distanz bei  $25^\circ$  Flexion auf. Das summierte sich auf 4 bei  $\geq 50^\circ$  Flexion. Bei  $70^\circ$ ,  $85^\circ$  und  $115^\circ$  Flexion kam jeweils ein weiteres Gelenk hinzu (siehe Abbildung 3b).

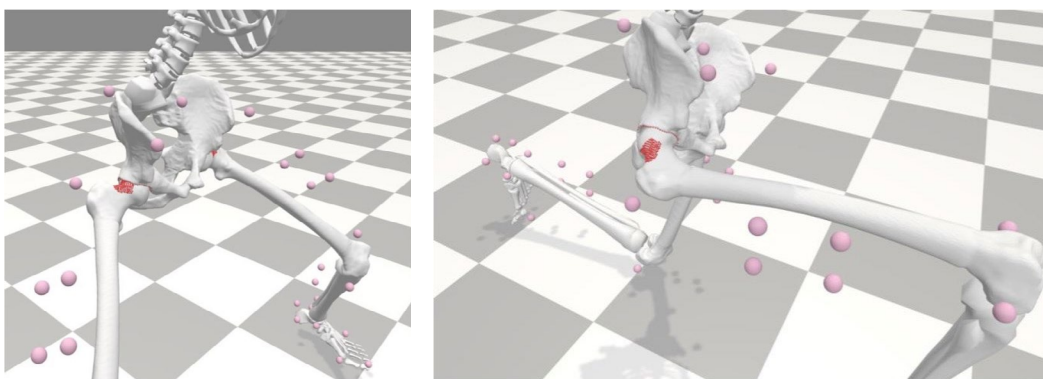
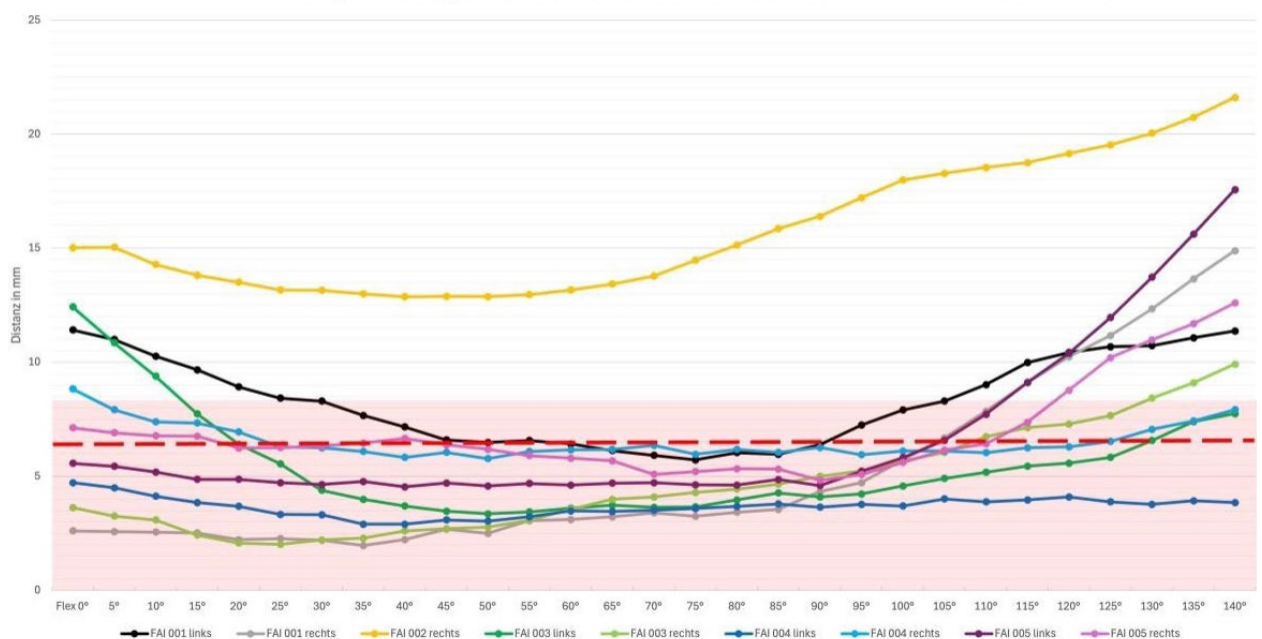


Abb. 2: Positionsabhängige Lokalisation der Femurfläche mit CAM-Deformität im Verhältnis zum Azetabulumrand rechtes Hüftgelenk. Rote Punktwolke: CAM-Deformität. Rot gepunktete Linie: Lateraler Azetabulumrand. Links Ballerwartungserhaltung: CAM-Deformität liegt teilweise unter Azetabulumrand. Rechts Ausfallschritt nach vorne: CAM-Deformität liegt weiter entfernt vom Azetabulumrand.

### Interpersoneller Vergleich femoroazetabuläre Distanzen 45° Hüftabduktion fix in Kombination mit Hüftflexion



### Interpersoneller Vergleich femoroazetabuläre Distanzen 15° Hüftabduktion fix in Kombination mit Hüftflexion

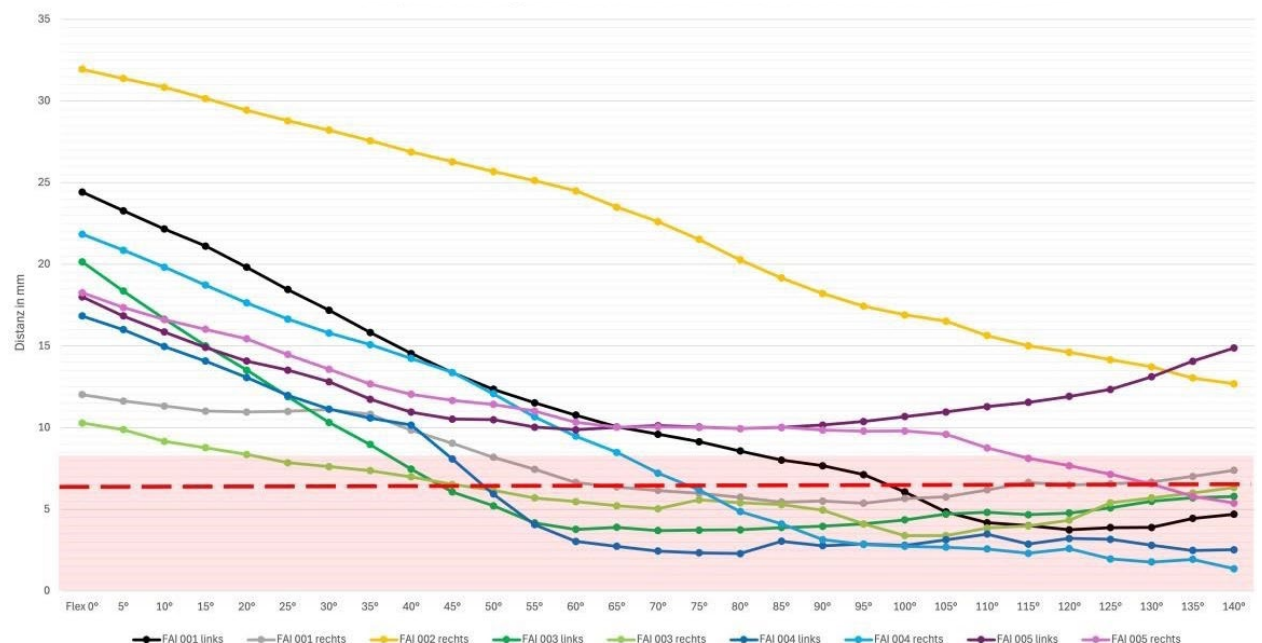


Abb. 3a und 3b: Femoroazetabuläre Distanzen bei fixer Hüftabduktion von 45° (Abb. 3a) und 15° (Abb. 3b) in Kombination mit Hüftflexion. Roter Bereich: Kritische femoroazetabuläre Distanz. Mittelwert = durchgezogene Linie bei 6,4 mm mit oberem 95 % Konfidenzintervall bei 8,3 mm. Kritische Distanz über alle Probanden mit schmerzhaften Hüftgelenkpositionen gemittelt. FAI 002 rechts = morphologisch unauffälliges Gelenk.

Sowohl die Hüftflexion als auch die -abduktion sind Bewegungsebenen mit hohem reduzierendem Einfluss auf die FAD, insb. auch in Kombination miteinander, sodass anhand der Studie eine bestmögliche, sportartverträgliche Minimierung des Bewegungsausmaßes in diesen Bewegungsebenen zu empfehlen ist. (Ball-) Erwartungshaltungen mit tiefe(re)m Körperschwerpunkt oder tief(er)e Ausfallschritte, insb. zur Seite, repräsentieren Bewegungen, bei denen das bedacht werden sollte. Der (teilweise) Wiederanstieg der FADs bei Flexionsausmaßen  $>95^\circ$  in Kombination mit höhergradiger Abduktion dürfte dem Umstand geschuldet sein, dass die „CAM-Wolke“ unter diesen Voraussetzungen „im Gelenk verschwand“, was zu einer Zunahme des Abstandes zum lateralen Azetabulumrand führte. Im Azetabulum selbst wurden keine FADs gemessen, wo in dem Falle dann die minimalen Distanzen erwartbar sind mit dem Potenzial, entsprechende intraartikuläre Knorpelschäden zu verursachen. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass (sehr) hohe Bewegungsumfänge biomechanisch bedingt nicht erreichbar sind, weil das die vorliegende FAI-Deformität nicht zulässt.

Auch die Kombination aus Hüftflexion und -innenrotation wirkte sich negativ auf die FAD aus, wenn auch nicht ganz so ausgeprägt wie die Hüftabduktion. Die Verknüpfung war auch hier invers: Je höher die Innenrotation, desto kleiner die Distanz. Bei  $30^\circ$  fixer Innenrotation befand sich ein Hüftgelenk bereits bei  $15^\circ$  Hüftflexion „im roten Bereich“, bei  $50^\circ$  waren es alle vom FAI betroffenen, bei  $85^\circ$  alle Hüftgelenke. Bei Reduktion auf  $10^\circ$  Innenrotation verschob sich das Erreichen der kritischen Distanz zu  $20^\circ$  höheren Flexionsgraden.

Z.B. bei der Abwehr auf der Rückhandseite, insb. im Vorderfeld, spielen die zuvor beschriebenen Beobachtungen beim dominanten Bein eine Rolle. Beim seitlichen „Aufdrehen“ im Halbfeld bei flachen Überkopfbällen betrifft es das vordere, nicht dominante Bein. Ein weiteres Beispiel für diese Seite ist die Landung nach dem Chinasprung. Auch bei technisch unsauberer Ausführung von Ausfallschritten mit Medialkollaps im Kniegelenk aufgrund einer Hüftinnenrotation entstehen derartige Hüftgelenkpositionen. Eine

ungewollte Hüftadduktion in dem Zusammenhang verringert die FAD zusätzlich, s. auch nachfolgenden Absatz.

Die Kombination aus Hüftflexion und -adduktion wirkte sich ebenfalls negativ auf die FAD aus in derselben Richtung wie zuvor für die Hüftabduktion und -innenrotation beschrieben. Im Vergleich zur reinen Flexion traten kritische Werte bei  $5 - 15^\circ$  geringeren Flexionsausmaßen im Rahmen dieser Kombinationsbewegung auf. Bei fixer Adduktion von  $30^\circ$  war bei einem Gelenk  $\geq 30^\circ$  Flexion die FAD kritisch, 2 weitere folgten bei  $\geq 55^\circ$ , 4 weitere zwischen  $75 - 85^\circ$  und bei  $\geq 105^\circ$  waren alle Gelenke betroffen. Die Reduktion der fixen Adduktion auf  $10^\circ$  verschob das Auftreten zu kleiner Abstände zu  $15 - 20^\circ$  höherem Flexionsausmaß. Ein Hüftgelenk blieb außerhalb der kritischen Grenze.

Hüftadduktionsbewegungen sind im Badminton sport eher selten anzutreffen. Beim Vorder- oder Hinterkreuzen des Schwungbeines bei Transportschritten treten sie typischerweise auf.

Eine höhere Hüftaußenrotation wirkt sich positiv auf die FADs bei zunehmender Hüftflexion aus, da die CAM-Deformität vom Azetabulumrand „weg“gedreht wird. Bei  $45^\circ$  fixer Hüftaußenrotation wurde ein Sportler beidseitig kritisch bei  $90^\circ$  bzw.  $115^\circ$  Flexion, bei Reduktion auf  $15^\circ$  fixe Außenrotation reichten  $55^\circ$  bzw.  $80^\circ$  dafür aus. Bei  $15^\circ$  fixer Außenrotation wurden insgesamt 4 Gelenke „kritisch“. Ein Hüftgelenk bei  $70^\circ$ , 3 weitere zwischen  $100 - 115^\circ$  Flexion. Bei  $45^\circ$  Außenrotation kam bei  $135^\circ$  ein weiteres kritisches Gelenk hinzu.

Im Zusammenhang mit der Außenrotation waren damit, verglichen zu den 3 zuvor beschriebenen Bewegungsrichtungen, vergleichsweise hohe Flexionswerte nötig, um eine kritische Distanz zu erzeugen. Allerdings treten diese Positionen häufig auf, z.B. im Rahmen der tiefen (Ball-) Erwartungshaltung beidseitig, bei tiefen Ausfallschritten auf der dominanten Seite oder bei dem im Rahmen der Innenrotation beschriebenen „seitlichen“ Aufdrehen in eine Überkopfdeckung, wobei in dem Fall das hintere, dominante Bein involviert ist.

## b) Hüftextension, Kombinationsbewegungen mit Extension

Die Extension stellte, grundsätzlich gesehen, verglichen mit der Flexion ein kleineres Problem bei FAI-Betroffenen in Hinblick auf das Erreichen der kritischen Distanz dar. Für alle Gelenke galt: Eine zunehmende Extension wirkte sich positiv auf die FAD aus, da sie diese zwischen 0° und 20° um 0,9–6,6 mm vergrößerte (Mittelwert 3,5 mm, Median 4,4 mm). Mit die geringste Zunahme wies dabei das gesunde Gelenk mit 0,9 mm auf.

Bei Kombinationsbewegungen mit Extension waren, verglichen zur Flexion, bei 3 der 4 weiteren Bewegungsrichtungen deutlich weniger Gelenke kritisch betroffen (max. 3 pro Bewegungsrichtung). Die ergänzende Bewegungsrichtung war hierbei für das Erreichen der kritischen FAD verantwortlich. Bei 2 dieser 3 Freiheitsgrade waren für diese Sportart zum größten Teil irrelevante Bewegungsumfänge erforderlich:

- ▶ Hüftadduktion: n=1 bei (irrelevanten)  $\geq 45^\circ$
- ▶ Hüftaußenrotation: n=2 bei  $\geq 45^\circ$  bzw.  $\geq 60^\circ$
- ▶ Hüftinnenrotation: n=3 bei (irrelevanten)  $\geq 50^\circ$  (n=2) bzw.  $\geq 60^\circ$  (n=1).

Die Kombination aus Hüftextension und -abduktion ist die ungünstigste in Hinblick auf die FAD, wofür die Hüftabduktion verantwortlich ist. 7 der 9 Gelenke waren, wie im Zusammenhang mit der Flexion aufgeführt, bereits in 0° Flexion/Extension auffällig. Verglichen mit der 0°-Position war bei Anheben der Extension auf 20° in 6 von 7 Gelenken eine 5° höhere Abduktion möglich, bevor eine kritische Distanz auftrat. Bei einem Gelenk fand sich hierbei keine Veränderung. Eine ergänzende, zunehmende Außenrotation verringert die FAD zusätzlich.

Diese Erkenntnisse besitzen eine Relevanz für das dominante wie nicht dominante Bein. Das nicht dominante Bein ist beim „Nachziehen“ regelhaft extendiert und erheblich abduziert und außenrotiert. Abdrücke und Landungen im Zusammenhang mit Umsprüngen weisen diese Hüftgelenkposition ebenfalls auf, genauso wie Ausfallschritte nach hinten. Allen 3 genannten Situationen ist gemeinsam, dass eine Außenrotation regelhaft zusätzlich genutzt wird.

Das Erzielen einer kritischen FAD war beim einzigen morphologisch unauffälligen Hüftgelenk in Hinblick auf eine isolierte Bewegungsrichtung nur durch eine simulierte maximale Flexion von 140°, die im sportpraktischen Alltag keine Rolle spielt, und ansonsten nur durch Kombinationsbewegungen möglich. Bei einer fixen Hüftinnenrotation von 30° waren  $\geq 85^\circ$  Hüftflexion, bei einer fixen Innenrotation von 10°  $\geq 105^\circ$  Flexion nötig, um eine kritische Distanz zu erzielen. Verglichen zu den vom FAI-betroffenen Gelenken war ein um mindestens 35° bzw. 50° höheres Flexionsausmaß dafür nötig. Bei einer fixen Hüftadduktion von 30° waren  $\geq 105^\circ$  Flexion, bei fixen 10° Adduktion  $\geq 120^\circ$  Flexion erforderlich. Auch hier traten die kritischen Distanzen, mit einer Ausnahme, erst bei 30° bzw. 25° höherer Flexion zu vom FAI-betroffenen Gelenken auf. Da es sich hierbei um eine Einzelfallbeobachtung handelt, ist die Generalisierbarkeit sehr eingeschränkt.

Das Hauptziel der Studie, die In-Lab Visualisierung und Echtzeitanalyse von Hüftgelenkbewegungen im Hochleistungssport Badminton auf Basis von anatomischen und kinematischen Modellen bei Sportlern, die von einem FAI betroffen sind, bis zur Proof-of-concept Ebene voranzutreiben, gelang. Im Zuge der Interpretation der Ergebnisse ist grundsätzlich zu bedenken, dass die Bestimmung der kritischen FAD und ihre Validierung nur auf 4 Hüftgelenken und 6 Hüftgelenkpositionen beruhte, weil nur in diesen Fällen ein FAI-typischer Schmerz erzeugt werden konnte.

Die Erkenntnisse dieser Studie werden flächendeckend im Umfeld des DBV, v. a. in der Spieler-/Trainerausbildung, auf Online-Plattformen und im Verbandsnewsletter verbreitet. Die gewonnenen Erkenntnisse werden ins Kinder-/Jugendtraining im Sinne der Primär-, bei bereits betroffenen Sportlern im Sinne der Sekundär-/Tertiärprävention einfließen. Auch auf Sportarten, in denen regelhaft zuvor beschriebene Hüftgelenkpositionen auftreten und/oder eine Häufung von FAI-Betroffenen auftritt, können die Erkenntnisse übertragen werden. (Eis-)Hockey oder Fechten seien hier exemplarisch genannt.

## 4. Literatur

- 08.2023 Bachmann, D.; Beringer, L.; Komnik, I.; Steimer, O.; Hell, D.; Zachow, S.; Schneider, G., aus der Fünten, K.; Potthast, W. A modelling approach to determine femoroacetabular impingement in badminton-specific motions. International Society of Biomechanics Konferenz, Fukuoka, Japan. Poster
- 04.2024 Bachmann, D.; Beringer, L.; Steimer, O.; Hell, D.; Schneider, G.; aus der Fünten, K.; Potthast, W. Towards a better Understanding of the Hip Joint Translation in Subjects with Femoracetabular Impingement. Deutsche Gesellschaft für Biomechanik-Konferenz, Heidelberg, Deutschland. Präsentation
- 07.2024 Bachmann, D.; Yeung, T.; Besier, T.; Potthast, W. Exploring the influence of femur bone anatomical variability on cam morphology. International Society of Biomechanics in Sports, Salzburg, Österreich. Präsentation
- 08.2024 Bachmann, D.; Beringer, L.; aus der Fünten, K.; Komnik, I.; Steimer, O.; Hell, D.; Schneider, G.; Potthast, W. A three-dimensional MRI analysis of the in-vivo femoral head center translation in multiple static hip joint positions in subjects with femoroacetabular impingement. Hip International Journal. Artikel in Begutachtung



# COVID-19 im Spitzensport – Eine multizentrische Kohortenstudie (CoSmo-S)

AZ 070106/20-23

Andreas M. Niess<sup>1</sup>, Manuel Widmann<sup>1</sup>, Roman Gaidai<sup>2</sup>, Erik Hasler<sup>3</sup>, Claus Reinsberger<sup>2</sup>, Kai Röcker<sup>3</sup>, Bernhard Haller<sup>4</sup> & CoSmo-S Studien-Konsortium

<sup>1</sup> Medizinische Klinik, Abteilung Sportmedizin, Universitätsklinikum Tübingen

<sup>2</sup> Universität Paderborn, Department Sport & Gesundheit, Arbeitsbereich Sportmedizin

<sup>3</sup> Institut für Angewandte Gesundheitsförderung und Bewegungsmedizin (IfAG), Universität Furtwangen

<sup>4</sup> Institut für Biostatistik und Epidemiologie der TU München

## 1. Problem

Die Covid-19-Pandemie zählt zu den größten weltumspannenden Krisen und stellte nicht nur für die Gesundheitssysteme, sondern auch für die gesamte Gesellschaft eine extreme Herausforderung dar. An Covid-19 erkrankte Patientinnen und Patienten zeigen eine breite Spanne an Symptomen, welche von kompletter Beschwerdefreiheit bis hin zum letalen Verlauf reichen (Ruan et al., 2020; Zhou et al., 2020). Während des akuten Infektionsgeschehens sind die Lunge, das Herzkreislaufsystem, das zentrale und periphere Nervensystem sowie die Skelettmuskulatur, aber auch Leber und Nieren mögliche Zielorgane (Madijd et al., 2020; Zhu et al., 2020).

In Anbetracht der steigenden Infektionszahlen im gesamten Bundesgebiet kam es auch im organisierten Sport bei Athleten und Athletinnen zu zahlreichen positiven Fällen (Bleacher Report, 2020). Obwohl Athleten und Athletinnen nicht zur Hochrisikogruppe für schwere Verläufe zählen, zeichneten sich im Verlauf der Pandemie auch in diesem Kollektiv einige schwerwiegende Fälle mit längeren Trainings- sowie -Wettkampfausfällen ab.

Für die Sportmedizin gestaltete sich die neue Situation mit zunehmender Dauer der Pandemie hauptsächlich auf die medizinische Betreuung sowie Beratung der Betroffenen. Dabei standen schon relativ früh die sportliche Belastbarkeit

sowie Leistungsfähigkeit als Hauptkomponenten der sportmedizinischen Betrachtung fest. Ein weiterer Fokus der sportmedizinischen Betrachtungsweise lag auf einer möglichen Myokardbeteiligung im Rahmen einer Covid-19-Infektion.

Daten, welche im Rahmen der SARS-Epidemie 2002 – 2003 erhoben wurden, zeigten in einem zweijährigen Follow-Up bei erkrankten Patienten und Patientinnen eine persistierend verringerte Diffusionskapazität und eine reduzierte ergometrisch dokumentierte körperliche Fitness (Ngai et al., 2010). Diese Ergebnisse stellten auch im Rahmen einer Covid-19-Infektion ein mögliches Gefährdungspotenzial durch pulmonale Beteiligung dar.

## 2. Methode

Im Rahmen der CoSmo-Studie wurden zwei Gruppen von Athletinnen und Athleten rekrutiert. Eingeschlossen wurden Patienten und Patientinnen, welche sich nach PCR-bestätigter Covid-19-Infektion zur Abklärung der Leistungssporttauglichkeit und/oder zur Abklärung von persistierenden Symptomen oder Belastungsunverträglichkeiten in einem von 13 sportmedizinischen und mit einer Ausnahme allesamt universitären und DOSB-lizenzierten sportmedizinischen Ambulanzen in Deutschland vorstellig machten.

Bundeskaderathletinnen und -athleten bzw. Leistungssportler und Leistungssportlerinnen (Covid-Elitesportler, cEA) sowie Covid-positiv-nicht-Elitesportler (cNEA) stellten sich entweder im Rahmen ihrer jährlich stattfindenden Jahreshauptuntersuchung zur Abklärung der Leistungssporttauglichkeit und/oder zur Abklärung von persistierenden Symptomen oder Belastungsunverträglichkeiten nach Infektion mit SARS-CoV-2 in den sportmedizinischen Ambulanzen zur Diagnostik vor. Weiter dienten gesunde Bundeskaderathleten und -athletinnen, welche sich im Rahmen ihrer routinemäßigen Jahreshauptuntersuchung am jeweiligen Studienzentrum vorstellig machten, als Kontrollgruppe (elite athletes control, EAcon).

Eine ausführlichere Beschreibung des Designs von CoSmo-S und der angewandten Methoden der Datenerhebung und deren Auswertung wurde in einer Methodenpublikation bereits veröffentlicht (Niess et al., 2022).

## Diagnostik

Alle Athletinnen sowie Athleten erhielten zunächst eine umfassende Diagnostik mit Erhebung der medizinischen sowie sportlichen Vorgeschichte, kardiopulmonaler und medizinischer Diagnostik sowie der Gewinnung von Bioproben. Weiter wurden im Rahmen der Studie mittels Fragebögen Trainingsparameter sowie spezifische Angaben zu SARS-CoV-2-assoziierten Symptomen und deren Dauer erfasst. Weitere Inhalte der Fragebögen waren individuelle Einschätzungen der sportlichen Belastungstoleranz sowie der sportlichen Leistungsfähigkeiten in Bezug auf den Prä-Infektionsstatus. Für die Verlaufskontrolle bestehender Beschwerden und Symptome wurden digitale Fragebögen über einen Hyperlink zu einer Online-Umfrage sechs Monate nach Einschluss an die Teilnehmer und Teilnehmerinnen versandt. Ein Jahr nach Einschluss wurden die Athletinnen und Athleten dann erneut einer Vorortuntersuchung mit denselben diagnostischen Inhalten wie bei der initialen Vorstellung unterzogen. Initial gesunde Kaderathleten und Kaderathletinnen (EAcon), welche zwischenzeitlich eine SARS-CoV-Infektion durchgemacht hatten, wurden mit ihrem

gesamten Datensatz zur Gruppe der Erkrankten zugeordnet (cEA). Bei cEA sowie cNEA richtete sich das Diagnostikprotokoll nach den Empfehlungen zum Return-to-sport nach einer SARS-CoV-2-Infektion (Niess et al., 2020). Bei EAcon wurde das Screening-Programm des DOSB für die sportmedizinische Jahresuntersuchung von Bundeskaderathleten angewendet.

Zusätzliche apparative Diagnostik, wie z.B. kardiale Magnetresonanztomographie (cMRI), Thorax-Computertomographie oder weitere Untersuchungen, wurde in Entscheidung der einzelnen Studienzentren durchgeführt, wenn dies individuell infolge der Symptom- und Befundkonstellation angezeigt war.

## 3. Ergebnisse

In die CoSmo-Studie wurden insgesamt 2.631 an SARS-CoV-2 erkrankte und gesunde Sportlerinnen und Sportler aufgenommen. In die Auswertung der ersten Masterpublikation (Widmann et al., 2024) zu den erfragten Symptomen und den erhobenen diagnostischen Befunden konnten insgesamt 925 Athletinnen und Athleten mit bestätigter SARS-CoV-2-Infektion eingeschlossen werden. Diese unterteilten sich in 444 cNEA und 481 cEA. Als Kontrollgruppe dienten 501 gesunde EAcon. Die Probandencharakteristika sind in Tabelle 1 dargestellt. Durchschnittlich stellten sich die erkrankten Sportlerinnen und Sportler acht Wochen nach ihrem positiven SARS-CoV-2-Test in den Ambulanzen der Studienzentren zur Baseline-Untersuchung vor. Die cEA waren im Vergleich zu den cNEA knapp 11 Jahre jünger. Bei zwei Drittel der cNEA handelte es sich um Ausdauersportlerinnen und Ausdauersportler (62,1 %), während 71,3 % der cEA der Kategorie Sprint/Schnelligkeit zugeordnet werden konnten. Bei den EAcon hielt sich der Anteil an Sprint-/Schnelligkeitsathletinnen und Sprint-/Schnelligkeitsathleten (44,3 %) sowie Ausdauersportlerinnen und Ausdauersportlern (40,7 %) in etwa die Waage. Erwartungsgemäß gaben die cNEA einen geringeren Trainingsumfang an als die cEA und EAcon.



**Tab. 1: Charakteristika der in die erste Masterpublikation eingeschlossenen Athletinnen und Athleten (Widmann et al., 2024).**

Charakteristika	cNEA (n=481)	cEA (n=444)	EAcon (n=501)
Alter (Jahre)	34,3 ± 10,6	23,7± 5,1	23,3 ± 6,0
Geschlecht (m/w)	(61/39%)	(65/35%)	(61/39%)
BMI (kg · m²)	23,5 ± 2,9	23,8 ± 3,1	23,2 ± 3,1
Trainingsumfang (Stunden pro Woche)			
• < 5	39,4%	2,1%	3,7%
• 5 – 10	43,7%	19,8%	11,2%
• 10 – 15	13,5%	42,2%	28,2%
• > 15	3,4%	35,9%	56,8%
Kaderstatus			
• OK	–	9,2%	11,7%
• PK, TK, EK	–	28,2%	45,6%
• Profi	–	35,9%	0%
• Paralympische Kader	–	2,0%	1,9%
• NK1, NK2	–	24,8%	40,8%
Sportkategorie			
• Ausdauersport	62,1%	23,4%	40,7%
• Sprint-/Schnelligkeitssport	27,5%	71,3%	44,3%
• Kraftsport	6,0%	2,7%	4,2%
• Denksportarten	1,1%	1,7%	8,7%
• Andere	3,3%	1,0%	2,1%
Ernährungsformen			
• Mischkost	84,8%	92,3%	88,6%
• Vegetarisch + lacto-ovo-vegetarisch	10,4%	5,6%	8,1%
• Vegan	3,6%	1,5%	3,2%
• Kohlenhydratreduziert	1,2%	0,5%	0,0%
Einnahme Nahrungsergänzungsmittel	31,9%	45,9%	48,6%
Ausgewählte Co-Morbiditäten			
• Frühere Myokarditis	1,1%	0,8%	0,9%
• Asthma	9,1%	7,5%	6,7%
• Arterielle Hypertonie	5,1%	3,1%	1,9%
• Allergien	37,2%	26,8%	28,3%

cNEA: COVID-19 erkrankte Freizeitsportlerinnen und Freizeitsportler, cEA: COVID-19 erkrankte Kadersportlerinnen und Kadersportler, EAcon: Gesunde Kadersportlerinnen und Kadersportler. OK: Olympiakader, PK: Perspektivkader, TK: Teamsportkader, EK: Ergänzungskader, NK: Nachwuchskader.

Akute Symptome

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, gaben bei der Baselineuntersuchung 1,5 % der cNEA und 6,3 % der cEA an, beschwerde- und symptomfrei zu sein. Am häufigsten klagten die von Covid-19 betroffenen Sportlerinnen und Sportler über Kopfschmerzen, Schnupfen, Husten, Geruchs- und Geschmacksverlust, Halsschmerzen und Fieber. Mit Ausnahme von Schnupfen, Durchfall und Kopfschmerzen traten akute und infektionsbedingte Symptome bei den cNEA deutlich häufiger auf als bei den cEA ( $p<0,05$ ). Verglichen mit den männlichen Athleten traten bei den weiblichen cNEA signifikant häufiger Geruchs- und Geschmacksverlust, Schnupfen und Kopfschmerzen auf ( $p<0,05$ ). Die Dauer der meisten akuten und infektionsbedingten Symptome war bei cNEA länger als bei cEA.

Weitere Symptome

Die bei den untersuchten Frauen höhere Prävalenz einer Reihe an Symptomen ( $p<0,05$ ) war auf die Gruppe der cNEA beschränkt, wohingegen sich für die cEA keine Geschlechtsdifferenzen aufzeigen ließen. Sowohl für cEA als auch cNEA war der Leistungsabfall das führende Symptom, gefolgt von weiteren, wie z. B. Myalgien und Konzentrationsproblemen. Weiterhin war auch die Prävalenz und -dauer der übrigen erfassten Symptome bei den cNEA höher als bei den cEA. Die Kontrollen EAcon waren nahezu symptomfrei. Die bei den untersuchten Frauen höhere Prävalenz einer Reihe an Symptomen ( $p<0,05$ ) war auf die Gruppe der cNEA beschränkt.

Tab. 2: Prozentuale Häufigkeit akuter und infektdingter Symptome bei der Baseline-Untersuchung (Widmann et al., 2024).

Symptome	cNEA (n=481)	cEA (n=444)	EAcon (n=501)	cNEA vs. cEA	cEA vs. EAcon
Keine	1,5 %	6,3 %	55,7 %	$p<0,001$	$p<0,001$
Fieber	48,4 %	33,8 %	6,8 %	$p=0,04$	$p<0,001$
Geruchs-/Geschmacksverlust	56,1 %	44,6 %	0,8 %	$p=0,03$	$p<0,001$
Schnupfen	64,2 %	69,4 %	19,6 %	$p=0,68$	$p<0,001$
Halsschmerzen	53,2 %	46,8 %	17,0 %	$p=0,003$	$p<0,001$
Husten	63,6 %	55,0 %	11,6 %	$p=0,03$	$p<0,001$
Dyspnoe	19,5 %	6,1 %	1,0 %	$p<0,001$	$p<0,001$
Kopfschmerzen	72,8 %	64,9 %	15,0 %	$p=0,12$	$p<0,001$
Durchfall	13,9 %	7,9 %	6,0 %	$p=0,21$	$p<0,30$

cNEA: COVID-19 erkrankte Freizeitsportlerinnen und Freizeitsportler, cEA: COVID-19 erkrankte Kadersportlerinnen und Kadersportler, EAcon: Gesunde Kadersportlerinnen und Kadersportler

## Apparative Diagnostik

Die apparative Diagnostik zeigte während der Baseline-Untersuchung im Ruhe-EKG bei den cNEA eine signifikant höhere Ruheherzfrequenz ( $65,3 \pm 11,9$  Schläge  $\cdot$  min $^{-1}$ ) verglichen mit den cEA ( $59,3 \pm 11,3$  Schläge  $\times$  min $^{-1}$ ,  $p < 0,001$ ). Gemäß den internationalen Leitlinien für das Sportler-EKG (Sharma et al., 2018), wiesen nur 2,4 % der cEA und 1,9 % der cNEA einen pathologischen Befund auf, und es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt. Bei der Echokardiographie konnten nur bei einem kleinen Prozentsatz der Untersuchungen pathologische Befunde erhoben werden. Bei vier der 41 veranlassten Kardio-MRT ergaben sich Zeichen einer myokardialen Beteiligung (Late Gadolinium-Enhancement, Ödem oder Perikarderguss). Die Lungenfunktion zeigte in allen drei Gruppen weitgehend unauffällige Befunde.

## Follow-Up-Symptome

Beim mittels Fragebogen durchgeführten ersten Follow-Up gaben 50,5 % der cNEA und 56,4 % der cEA eine vollständige Symptombefreiheit an. Ein persistierender Leistungsabfall (cNEA: 25,1 % / cEA: 16,1 %), Konzentrationsprobleme (17,0 % / 11,4 %) und Belastungsdyspnoe (14,6 % / 12,1 %) waren die häufigsten Symptome, die fortbestanden (cNEA vs. cEA  $p$  jeweils  $> 0,05$ ).

## Trainingsunterbrechung

cNEA (27,1 %) berichteten im Vergleich zu cEA (5,1 %) deutlich häufiger über eine Trainingsunterbrechung von mehr als einem Monat ( $p < 0,001$ ). In beiden Gruppen unterbrachen etwas mehr als die Hälfte ihr Training für die Dauer zwischen zwei und vier Wochen.

## Leistungsdiagnostik

Innerhalb der ersten 60 Tage nach Infektion konnte bei gemeinsamer Gesamtbetrachtung der Daten eine Abnahme der Leistung an der individuell anaeroben Schwelle (IAS) um im Mittel  $-0,123$  Watt  $\times$  kg $^{-1}$  ( $-4,6$  %, 95 % CI:  $-0,170$  –  $-0,077$ ,  $p < 0,001$ ) und der Maximalleistung um

$-0,099$  Watt  $\times$  kg $^{-1}$  ( $-2,7$  %, 95 % CI:  $-0,154$  –  $-0,043$ ,  $p < 0,04$ ) beobachtet werden. Anschließend normalisierten sich in der Gesamtgruppe die Leistungswerte wieder auf das Ausgangsniveau von vor der SARS-CoV-2-Infektion (Hasler et al., 2025).

## Subjektive Belastungstoleranz

Zum Zeitpunkt der Baselineuntersuchung berichteten 37,3 % der cNEA und 21,3 % der cEA über eine gegenüber der Zeit vor der Covid-19-Infektion unter 70 % reduzierte subjektive Belastungstoleranz. Bis zum Follow-Up, also im Mittel 6 Monate später, reduzierten sich diese Zahlen auf 13,8 % bei den cNEA und 9,9 % bei den cEA,  $p > 0,05$ .

## Prädiktorenanalyse zur Belastungstoleranz

Zur Klärung möglicher Einflussfaktoren auf eine zum Follow-Up noch bestehende Belastungstoleranz führten wir eine Prädiktorenanalyse durch, welche die zu Baseline erhobenen Befunde als potenzielle Einflussvariablen berücksichtigte. Hierbei zeigte sich, dass die initial bestehenden Symptome Durchfall sowie Kopfschmerzen einen signifikanten Zusammenhang mit einer beim Follow-Up unter 70 % liegenden Belastungstoleranz haben. Weiter waren das weibliche Geschlecht, ein Alter von über 38 Jahren sowie eine Trainingsunterbrechung von mehr als zwei Wochen mit einem höheren Risiko für eine reduzierte Belastungstoleranz beim Follow-Up assoziiert.

## Verlaufsdaten

Je nach Symptom berichtete rund ein Viertel der Sportlerinnen und Sportler bei der ersten Follow-Up-Befragung noch über fortbestehende Beschwerden, wie z. B. Kopfschmerzen, Stimmungsschwankungen oder Leistungsabfall. 14 % der Nichtkaderathletinnen und Nichtkaderathleten sowie 10 % der Kader- und Profiathletinnen und Profiathleten gaben beim ersten Follow-Up an, eine reduzierte Belastungstoleranz (im Vergleich zum Prä-Infektionsstand) zu haben.

## 4. Diskussion

Neben einer standardisierten Erfassung eines breiten Spektrums sowohl akuter als auch chronischer Symptome, der Belastungstoleranz und Leistungsfähigkeit wurden im Projekt auch die diagnostischen Befunde aus den durchgeführten kardiopulmonalen, laborgestützten und (spiro-)ergometrischen Untersuchungen erhoben und dokumentiert.

Wie bereits an Sportlerinnen und Sportlern (Moulson et al., 2021; Hull et al., 2022; Schwellnuss et al., 2021) sowie in der Allgemeinbevölkerung (Bliddal et al., 2021; Peters et al., 2022) gezeigt werden konnte, zeigten auch die bei uns erfassten Symptome der Teilnehmenden ein gleiches Muster. Zwei wichtige Beobachtungen waren weiter, dass eine Reihe von Symptomen bei den Freizeitathleten und Freizeitathletinnen häufiger als bei den Kaderathleten und Kaderathletinnen auftraten und dass das weibliche Geschlecht teilweise von einer höheren Symptomlast betroffen war. Ersteres wurde auch bereits von Peters et al. in der Allgemeinbevölkerung sowie von Petek et al. bei Sportlern und Sportlerinnen beschrieben.

Die diagnostischen Befunde der Athletinnen und Athleten waren größtenteils unauffällig, und es konnte keine systematische Zunahme pathologischer Befunde im Vergleich der cEA zu EAcon gesehen werden. Ähnlich wie die apparative Diagnostik zeigten auch die Laborbefunde keine eindeutigen, durch die Infektion mit SARS-CoV-2 hervorgerufenen Abweichungen. Auch zeigen unsere Daten der Lungenfunktion in Ruhe keinen Hinweis auf eine funktionelle Beeinträchtigung. Hinsichtlich der ermittelten Troponinwerte konnte im Vergleich zu den gesunden Kontrollen bei den infizierten Kadersportlern und Kadersportlerinnen ebenfalls keine systematische Abweichung nach oben beobachtet werden.

Die ergometrisch erhobenen submaximalen und maximalen Leistungsdaten zeigten bei den infizierten Athletinnen und Athleten in der Gesamtbetrachtung während der ersten 60 Tage nach Infektionsbeginn eine signifikante Verrin-

gerung, die sich im weiteren Verlauf dann wieder normalisierte. In der Gruppe der Gesunden gab es hingegen keinen Leistungsabfall bei über den ganzen Zeitraum stabilen Leistungsdaten (Hasler et al., 2025).

Eine initial als „schlecht“ eingestufte subjektive Leistungsfähigkeit zeigte eine gewisse Übereinstimmung zu den Ergometriedaten. 30,9 % der erkrankten cEA gaben demnach bei der Baselineuntersuchung eine „schlechte“ Leistungsfähigkeit an, welche sich beim Follow-Up auf 10,9 % absenkte und dadurch fast auf dem Niveau der Gesunden lag (6,8 %).

Die Prädiktorenanalyse konnte für einen Teil der initial angegebenen Symptome und deren Dauer einen signifikanten Zusammenhang zu einer im Follow-Up noch bestehenden Belastungsintoleranz aufzeigen. Dabei konnten wir als mögliche Risikofaktoren für einen prolongierten Verlauf nach SARS-CoV-2-Infektion eine Reihe neuropsychiatrischer Symptome wie Muskel- und Kopfschmerzen, Geruchs- und Geschmacksstörungen, Schwindel, Schlafstörungen, Stimmungsschwankungen sowie Konzentrationsstörungen identifizieren. Ebenso wie das weibliche Geschlecht waren deren Vorliegen bei der Baselineuntersuchung dabei mit einem bis zu 6-fach erhöhten Risiko für eine länger verringerte Belastungsintoleranz verbunden.

## 5. Ausblick

CoSmoS konnte zeigen, dass eine befürchtete höhere Gefährdung beim Return-to-sport nach einer SARS-CoV-2-Infektion geringer ausfällt, als initial angenommen. Insbesondere trifft dies auch auf ein anfangs vermutetes deutlich erhöhtes Myokarditisrisiko zu.

Der ermittelte Zusammenhang zwischen der zu Beginn angegebenen Symptomatik und einer prolongierten Belastungsintoleranz im Verlauf sollte bei der klinischen Bewertung von Virusinfekten im Sport in Hinblick auf die Entscheidungsfindung beim Return-to-sport vermehrt Beachtung finden. Auch soll der bisher noch nicht vollständig erschlossene Datensatz weitere

Erkenntnisse zu den erhobenen Geschlechterunterschieden bei den Symptomen, aber auch Zytokinbeteiligungen sowie Autoimmunantikörpern und deren Zusammenspiel mit dem SARS-CoV-2-Virus liefern.

## 6. Literaturverzeichnis

- Bleacher Report, I. T. B. S., Serie A's Sampdoria Announces 4 More Players, Team Doctor Have the Coronavirus; 2020.  
<https://bleacherreport.com/articles/2880771-serie-as-sampdoriaannounces-4-more-players-team-doctor-have-the-coronavirus> [5th May 2020]
- Bliddal, S.; Banasik, K.; Pedersen, O.B.; Nissen, J.; Cantwell, L.; Schwinn, M.; Tulstrup, M.; Westergaard, D.; Ullum, H.; Brunak, S.; Tommerup, N.; Feenstra, B.; Geller, F.; Ostrowski, S.R.; Grønbæk, K.; Nielsen, C.H.; Nielsen, S.D.; Feldt-Rasmussen, U. (2021) Acute and persistent symptoms in non-hospitalized PCR-confirmed COVID-19 patients. *Sci Rep*, 11, 13153. doi: 10.1038/s41598-021-92045-x
- Hasler, E.; Widmann, M.; Haller, B.; Gaidai, R.; Venhorst, A.; Meyer, T.; Reinsberger, C.; Nieß, A.M.; Roecker, K.; & COSMO-S RESEARCH GROUP (2025). COVID-19's Impact on Athletes: Reduced Cardio-respiratory Fitness after a SARS-CoV-2 Infection. *Medicine and science in sports and exercise*, 57(2), 267 – 279. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003560>
- Hull, J.H.; Wootten, M.; Moghal, M.; Heron, N.; Martin, R.; Walsted, E.S.; Biswas, A.; Loosemore, M.; Elliott, N.; Ranson, C. (2022) Clinical patterns, recovery time and prolonged impact of COVID19 illness in international athletes: the UK experience. *Br J Sports Med*. 56, 4 – 11. doi: 10.1136/bjsports-2021-104392
- Madjid, M.; Safavi-Naeini, P.; Solomon, S.D.; Vardeny, O. (2020) Potential Effects of Coronaviruses on the Cardiovascular System: A Review. *JAMA Cardiol*, 5, 831 – 840. doi: 10.1001/jamacardio.2020.1286
- Moulson, N.; Petek, B.J.; Drezner, J.A.; Harmon, K.G.; Kliethermes, S.A.; Patel, M.R.; Baggish, A.L. (2021) Outcomes Registry for Cardiac Conditions in Athletes Investigators. SARS-CoV-2 Cardiac Involvement in Young Competitive Athletes. *Circulation*, 144, 256 – 266. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.121.054824
- Ngai, J.C.; Ko, F.W.; Ng, S.S.; To, K.W.; Tong, M.; Hui, D.S. (2010) The longterm impact of severe acute respiratory syndrome on pulmonary function, exercise capacity and health status. *Respirology*, 15, 543 – 550
- Niess, A.M.; Bloch, W.; Friedmann-Bette, B.; Grim, C.; Halle, M.; Hirschmüller, A.; Kopp, C.; Meyer, T.; Niebauer, J.; Reinsberger, C.; Röcker, K.; Scharhag, J.; Scherr, J.; Schneider, C.; Steinacker, J.M.; Urhausen, A.; Wolfarth, B.; Mayer, F. (2020) Position stand: return to sport in the current Coronavirus pandemic (SARS-CoV-2 / COVID-19). *Dtsch Z Sportmed*, 71, E1 – E4
- Petek, B.J.; Moulson, N.; Baggish, A.L.; Kliethermes, S.A.; Patel, M.R.; Churchill T.W.; Harmon, K.G.; Drezner, J.A. (2022) ORCCA Investigators. Prevalence and clinical implications of persistent or exertional cardiopulmonary symptoms following SARS-CoV-2 infection in 3597 collegiate athletes: a study from the Outcomes Registry for Cardiac Conditions in Athletes (ORCCA). *Br J Sports Med*, 56, 913 – 918. doi: 10.1136/bjsports-2021-104644

- Peter, R.S.; Nieters, A.; Kraeusslich, H.G.; Brockmann, S.O.; Göpel, S.; Kindle, G.; Merle, U.; Steinacker, J.M.; Rothenbacher, D.; Kern, W.V. EPILOC Phase 1 Study Group (2022) Post-acute sequelae of COVID-19 six to 12 months after infection: population based study. *BMJ*, 379, e071050. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-071050>
- Ruan, Q.; Yang, K.; Wang, W.; Jiang, L.; Song, J. (2020) Clinical predictors of mortality due to COVID-19 based on an analysis of data of 150 patients from Wuhan, China. *Intensive Care Med*, 41, 39 – 45. doi: 10.1007/s00134-020-06028-z
- Schwellnus, M.; Sewry, N.; Snyders, C.; Kaulback, K.; Wood, P.S.; Seocharan, I.; Derman, W.; Hull, J.H.; Valtonen, M.; Jordaan, E. (2021) Symptom cluster is associated with prolonged return-to-play in symptomatic athletes with acute respiratory illness (including COVID-19): a cross-sectional study-AWARE study I. *Br J Sports Med*, 55, 1144 – 1152. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103782>
- Sharma, S.; Drezner, J.A.; Baggish, A.; Papadakis, M.; Wilson, M.G.; Prutkin, J.M.; La Gerche, A.; Ackerman, M.J.; Borjesson, M.; Salerno, J.C.; Asif, I.M.; Owens, D.S.; Chung, E.H.; Emery, M.S.; Froelicher, V.F.; Heidbuchel, H.; Adamuz, C.; Asplund, C.A.; Cohen, G.; Harmon, K.G.; Marek, J.C.; Molossi, S.; Niebauer, J.; Pelto, H.F.; Perez, M.V.; Riding, N.R.; Saarel, T.; Schmied, C.M.; Shipon, D.M.; Stein, R.; Vetter, V.L.; Pelliccia, A.; Corrado, D. (2018) International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *Eur Heart J*, 39, 1466 – 1480. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw631>
- Widmann, M.; Gaidai, R.; Schubert, I.; Grummt, M.; Bensen, L.; Kerling, A.; Quermann, A.; Zacher, J.; Vollrath, S.; Bizjak, D.A.; Beckendorf, C.; Egger, F.; Hasler, E.; Mellwig, K.P.; Fütterer, C.; Wimbauer, F.; Vogel, A.; Schoenfeld, J.; Wüstenfeld, J.C.; Kastner, T.; Barsch, F.; Friedmann-Bette, B.; Bloch, W.; Meyer, T.; Mayer, F.; Wolfarth, B.; Roecker, K.; Reinsberger, C.; Haller, B.; Niess, A.M.; CoSmo-S Consortium (2024) COVID-19 in Female and Male Athletes: Symptoms, Clinical Findings, Outcome, and Prolonged Exercise Intolerance-A Prospective, Observational, Multicenter Cohort Study (CoSmo-S). *Sports Med*, 54, 1033 – 1049. doi: 10.1007/s40279-023-01976-0
- Zhou F, Yu T, Du R, Fan G, Liu Y, Liu Z, Xiang J, Wang Y, Song B, Gu X, Guan L, Wei Y, Li H, Wu X, Xu J, Tu S, Zhang Y, Chen H, Cao B (2020) Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Lancet*, 395, 1054 – 1062
- Zhu, J.; Ji, P.; Pang, J.; Zhong, Z.; Li, H.; He, C.; Zhang, J.; Zhao, C. (2020) Clinical characteristics of 3,062 COVID-19 patients: a metaanalysis. *J Med Virol*, 92, 1902 – 1914. doi: 10.1002/jmv.25884

# Return-to-Play (RTP) nach Verletzungen der unteren Extremitäten im professionellen Handball – Koordination in unvorhersehbaren Situationen

AZ 070106/22-24

*Dr. Daniel Büchel<sup>1</sup> (Projektmitarbeiter), Pieter Heuvelmans<sup>1</sup> (Projektmitarbeiter),  
Dr. Alli Gokeler<sup>1</sup> (Projektmitarbeiter), Dr. Anne Benjaminse<sup>2</sup> (Projektmitarbeiterin) &  
Prof. Dr. Jochen Baumeister<sup>1</sup> (Projektleitung)*

<sup>1</sup> AG Trainings- und Neurowissenschaften, Department Sport & Gesundheit, Universität Paderborn

<sup>2</sup> Department of Human Movement Sciences, University Medical Center Groningen, Universität Groningen, Groningen, Niederlande

## Problem

Handball ist eine hochintensive Teamsportart. Spitzenhandballerinnen und -handballer legen pro Spiel etwa 4 km zurück und führen etwa 16 Sprünge, 13 Sprints und 55 Beschleunigungen durch, häufig in Interaktion mit dem dynamischen Spielgeschehen (Büchel et al., 2024). Diese Anforderungen haben vor allem im professionellen Handball ihren Preis. Im Schnitt erleidet jeder professionelle Spieler 2,2 Verletzungen pro Saison, von denen etwa 60 % die untere Extremität betreffen (Klein et al., 2020). Insbesondere Verletzungen der Knie- und Sprunggelenke können zu erheblichen Trainingspausen im Verlauf der Saison führen (Klein et al., 2020). Während dieser Phasen fehlen den Spielern aufgrund der Inaktivität wichtige motorische und kognitive Trainingsreize, was zu einem sogenannten De-Training, einer Reduktion der Leistungsfähigkeit durch reversible Effekte, führen kann (Mujika & Padilla, 2000).

Forschungsarbeiten aus anderen Sportsportarten wie dem Fußball zeigen, dass Verletzungen häufig aus dynamischen Spielsituationen resultieren, in denen Aktionen an wechselnde Reizkonstellationen im Spiel angepasst werden müssen (Gokeler et al., 2021). Dennoch umfassen RTP-Assessments bislang nahezu ausschließ-

lich vorhersehbare und damit planbare Bewegungsaufgaben wie isokinetische Messungen und Sprungdiagnostiken (Arderne et al., 2016). Entsprechend wird schon seit dem Jahr 2016 gefordert, RTP-Assessments um reaktive Aufgaben mit neurokognitiven Aufgabenelementen zu ergänzen (Arderne et al., 2016). Diese sinnvolle Ergänzung fehlt allerdings bis heute im Wiedereingliederungsprozess im deutschen Leistungssport.

Komplexere Bewegungsaufgaben, die die dynamische Interaktion von Individuum und Umwelt erfordern (Bolt et al., 2024), können bestehende RTP-Assessments zur Erstellung von Risikoprofilen ökologisch valide ergänzen. Die Agilität ist hierbei eine spielnahe Leistungskomponente, die als Fertigkeit definiert wird, sich schnell und in Antwort auf variable Umweltreize zu bewegen (Büchel et al., 2022). Agilitätsaufgaben erlauben, für Verletzungen typische reaktive Richtungswechselsituationen in kontrollierter Weise abzubilden. Neben der Agilitätsleistung als zeitliche Determinante könnte auch die Bewegungsqualität in dynamischen Aufgaben ein Faktor im RTP sein. Bewegungsqualität wird definiert als die Fähigkeit, Extremitäten so zu kontrollieren, dass Bewegungsasymmetrien oder biomechanische Risikofaktoren vermieden werden (Buckthorpe, 2019). Ein solcher Risikofaktor, der durch technische Fortschritte mit-

tels Inertialsensoren (IMUs) auch im mobilen Setting verlässlich gemessen werden kann, ist die Knieflexion (Heuvelmans et al., 2022). Hier wird davon ausgegangen, dass eine zu geringe Knieflexion beim Richtungswechsel-Manöver die Gelenkbelastung und somit das Verletzungsrisiko erhöhen kann (Hashemi et al., 2011). Entsprechend könnte die Kontrolle der Knieflexion gerade nach RTP neben motorisch-funktionellen Tests ein relevanter Aspekt sein, um den Rehabilitationszustand von Sportlerinnen und Sportlern zu bewerten.

Ziel dieses Projekts war die Erfassung, Beschreibung und Analyse der Veränderungen in der geplanten und reaktiven Agilität nach Verletzungen der unteren Extremität im Leistungshandball. Dafür sollte neben der Reaktionszeit (in Millisekunden [ms]) auch die Bewegungsqualität in Form der dynamischen Knieflexion (in Grad) während Richtungswechsel-Manövern gemessen werden. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden professionelle Handballer vor einer Verletzung und zum Zeitpunkt RTP nach schwerwiegenden Verletzungen der unteren Extremitäten getestet.

## Methodik

*Design:* Zur Untersuchung des Einflusses von Verletzungen der unteren Extremität auf die komplexe Koordinationsleistung und die assoziierte Bewegungsqualität wurde eine prospektive Follow-Up-Studie durchgeführt. Die Athleten wurden in einem Prä-Post-Design zum Messzeitpunkt 1 (Baseline, alle Athleten) und Messzeitpunkt 2 (verletzte Athleten mit einer Ausfallzeit > 21 Tagen zum Zeitpunkt der RTP-Freigabe) untersucht. Die RTP-Freigabe wurde definiert als der Zeitpunkt der vollständigen, uneingeschränkten Teilnahme am Mannschaftstraining durch den jeweiligen Teamarzt.

*Stichprobe:* Zur Beantwortung der Zielstellung wurden n=92 männliche Handballspieler in der Baseline-Messung untersucht. Die Gesamtstichprobe gliedert sich in n=66 Erwachsene und n=26 Nachwuchshandballer, von denen letztere im Rahmen einer Nebenzielstellung gemessen

wurden und in diesem Kurzbericht nicht berücksichtigt werden. 53 der 66 Erwachsenen Handballer spielten in der höchsten nationalen Liga (Daikin Handball Bundesliga, Håndboldligaen/Dk), weitere n=13 in der zweithöchsten nationalen Liga.

*Agilitätstest:* Der Agilitätstest wurde in Anlehnung an den Star-Run (Büchel et al., 2022) mit dem portablen Messsystem FITLIGHTS (Fitlight Corp, Ontario, Kanada) durchgeführt. Das Fitlight-System ist ein kabelloses System, das mittels Annäherungssensoren Reaktionszeiten misst und zur Messung der Agilitätsleistung reliabel und valide ist (Müller et al., 2025). Für den Agilitätstest wurde je ein Fitlight auf einem von vier 38 cm hohen Kegeln in einer trapezförmigen Anordnung positioniert (siehe Abbildung 1). Die Lichter wurden von 1 bis 4 nummeriert für vorne links, vorne rechts, seitlich links und seitlich rechts. Alle Lichter befanden sich 2,5 Meter von der Ausgangsposition entfernt. Die Höhe wurde dabei so gewählt, dass eine substantielle Flexion der Knie-, Hüft- und Sprunggelenke provoziert wurde, um die Lichter zu deaktivieren. Diese kinematischen Faktoren sind insbesondere bei Verletzungen prävalent und liefern somit Einblicke in die Bewegungsqualität in spielnahen Situationen (Gokeler et al., 2021). Der Agilitätstest war in zwei Testbedingungen unterteilt: die geplante und die reaktive Agilität. Pro Testbedingung wurden fünf Durchgänge absolviert. Beim geplanten Test musste pro Durchgang eine vordefinierte, konstante Sequenz von zehn Lichtern deaktiviert werden. Bei der reaktiven Bewegungsaufgabe musste pro Durchgang eine zufällige Sequenz von zehn Lichtern deaktiviert werden, sodass die Aktivierungsreihenfolge der Lichter für die Teilnehmer unvorhersehbar war.



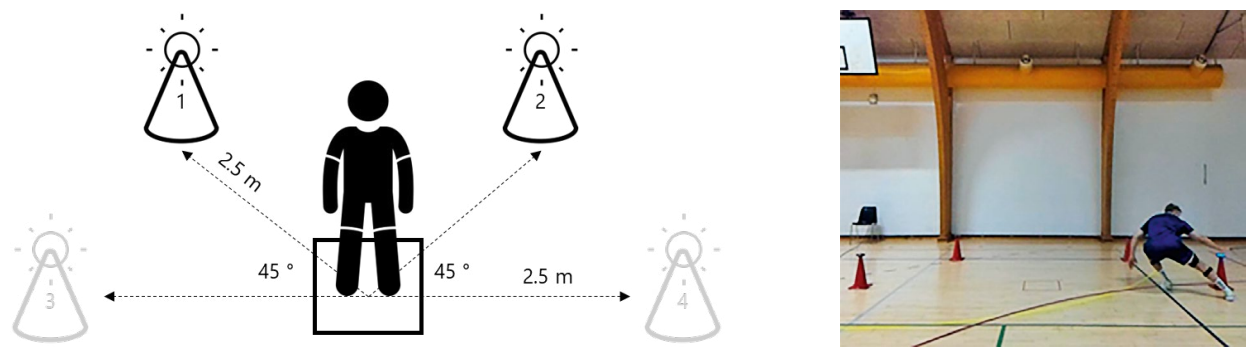


Abb. 1: Schematische Darstellung des Test-Setups (links) und Schnappschuss einer realen Messung (rechts). Alle Lichter wurden auf 38 cm hohen Pylonen 2,5 m entfernt von einem Startviereck positioniert. Die Handballer wurden instruiert, beim Aufleuchten eines Lichts so schnell wie möglich zu diesem zu laufen und es mit einer Wischbewegung zu deaktivieren. Die Messungen fanden in den Sportanlagen der teilnehmenden Mannschaften statt.

**Outcomes:** Als Endpunkt für die Agilitätsleistung wurde die motorische Reaktionszeit (in Millisekunden) in der geplanten und reaktiven Version der Tests gemessen. Diese wurde als die Zeitspanne zwischen der Präsentation und der Deaktivierung eines Lichts durch eine Wischbewegung des Sportlers berechnet. Da die Reaktionszeiten nicht normalverteilt waren, wurde der Median des schnellsten Versuchs als Zielparameter ausgewählt (Müller et al., 2025). Neben der Erfassung der Reaktionszeiten durch die Fitlights wurden neun IMUs (MyoMotion und Ultium, Noraxon, USA) appliziert, um Winkelgeschwindigkeit und Beschleunigung der unteren Extremität mit einer Abtastrate von 200 Hz zu erfassen. Die IMUs wurden am linken und rechten Fuß, der linken und rechten Tibia, dem linken und rechten Femur, dem Lendenwirbel L5 (LWS), dem Brustwirbel T12 (BWS) und dem Halswirbel C7 (HWS) platziert (siehe Abbildung 2). Als Zielparameter und Risikofaktor wurde die Flexion des Kniegelenks während des Richtungswechsel-Manövers analysiert (Dos'Santos et al., 2021; Hashemi et al., 2011). Die Flexion der unteren Extremität kann mittels IMUs hochgradig valide und reliabel abgebildet werden (Heuvelmans et al., 2022).

Bewegungen in Richtung der Lichter Nummer 3 und 4 wurden von der Auswertung ausgeschlossen, da diese im Versuchsaufbau als Distraktoren genutzt wurden und nur 1 × pro Durchgang initiiert wurden (Abbildung 1). Die Knieflexion wurde ausschließlich für das ipsilaterale Bein zum Licht (Licht 1 = linkes Bein, Licht 2 = rech-

tes Bein) berücksichtigt, da dieses das diagonale 180°-Richtungswechsel-Manöver durchführte. Die kinematischen Daten wurden entsprechend der Zeitpunkte der Lichtaktivierung (Stimuluspräsentation) und Lichtdeaktivierung (motorische Zielreaktion) auf 101 Datenpunkte zeitnormalisiert. Diese Transformation der kinematischen Zeitreihen erlaubte die simultane Analyse von Amplituden- und Zeiteffekten (Pataky et al., 2022). Alle kinematischen Analysen wurden in Python durchgeführt (Python 3.8.19). Die Zeitpunkte der Lichtaktivierung und -deaktivierung wurden mittels Videoanalyse bei 120 fps (Ninox120, Noraxon, USA) manuell identifiziert.

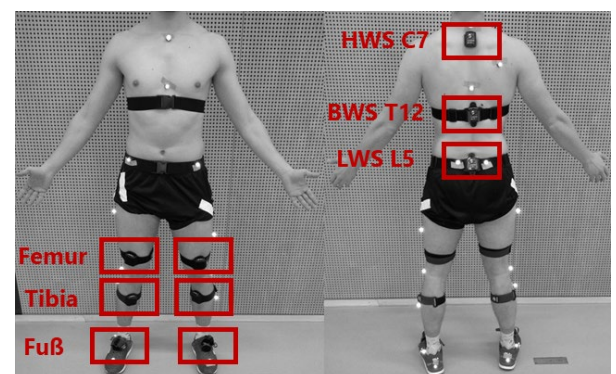


Abb. 2: Schnappschuss der Applikation der Inertialsensoren (IMUs). Zur Quantifizierung der Bewegungsqualität wurden neun IMUs (rote Boxen) am linken und rechten Fuß, der linken und rechten Tibia, dem linken und rechten Femur, dem Lendenwirbel L5 (LWS), dem Brustwirbel T12 (BWS) und dem Halswirbel C7 (HWS) platziert.

*Statistik:* Die statistischen Analysen wurden mittels Funktionen der Software Python durchgeführt. Unterschiede in der Agilitätsleistung (in Millisekunden) wurden separat für das verletzte und nicht-verletzte Bein mittels Varianzanalyse mit den Faktoren Zeitpunkt (Pre/Post) und Bedingung (Geplant/Reaktiv) analysiert. Post-hoc-Tests wurden nach der Bonferroni-Methode korrigiert ( $p < .05$ ). Zur Analyse der Bewegungsqualität anhand der Knieflexion wurde der Ansatz des statistical non-parametric Mapping (nSPM) angewandt (Pataky et al., 2022). Die kinematischen Daten wurden auf Amplituden- und Zeitunterschiede zwischen den Bedingungen und Zeitpunkten getestet. Für jeden Vergleich wurde ein multivariater Hotelling-Test auf die gekoppelten Amplitudenvektoren und Verschiebungsfelder angewendet. T-Tests mit Bonferroni-Korrektur wurden als Post-hoc-Verfahren auf die Amplitudenvektoren und Verschiebungsfelder durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde für die nSPM-Analysen auf  $\alpha = .025$  festgelegt (Pataky et al., 2022).

## Ergebnisse

Acht der  $n=66$  initial getesteten Handballer erlitten eine Verletzung der unteren Extremität mit  $>21$  Ausfalltagen und konnten im Rahmen einer Follow-Up-Messung erneut getestet werden. Die Verletzungen umfassten vier Knieverletzungen, zwei Sprunggelenksverletzungen, eine Beinverletzung und eine Fußverletzung. Die Ausfallzeit reichte von 30 bis zu 372 Tagen.

Eine zweifaktorielle ANOVA der Reaktionszeiten ergab einen Haupteffekt für den Innersubjekt-Faktor Bedingung (Geplant/Reaktiv). Die Spieler waren zu beiden Messzeitpunkten in der reaktiven Bedingung bei Richtungswechsel-Manövern mit dem verletzten Bein 233 ms ( $F(1, 7) = 266.03$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2p = .97$ ) und bei Richtungswechsel-Manövern mit dem nicht verletzten Bein 249 ms ( $F(1, 7) = 47.25$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2p = .87$ ) langsamer. Für den Inner-Subjekt-Faktor Zeitpunkt (Pre/Post) konnten weder Haupteffekte noch Interaktionseffekte beobachtet werden. Die mittlere Agilitätsleistung ist in Abbildung 3 A dargestellt.

Die Analyse der Bewegungsqualität vor und nach einer Verletzung wies eine Reduktion in der Knieflexion im verletzten und nicht verletzten Bein auf. Während der geplanten Agilitäts-Aufgabe zeigte sich diese ausschließlich für das vormals verletzte Bein. Hervorzuheben sind reduzierte Flexionsgrade im Knie zwischen 20 und 80 % des zeitnormalisierten Bewegungszyklus. Dieses Zeitfenster umfasste die Initiierung des ersten Schritts bis hin zum Kontakt beim Richtungswechsel-Manöver. In der reaktiven Aufgabe umfasste die Reduktion der Knieflexion das verletzte sowie das nicht verletzte Bein. Insbesondere zwischen 60 und 100 % des zeitnormalisierten Bewegungszyklus zeigten die Spieler eine reduzierte Knieflexion. Diese Zeitspanne umfasste die Bewegungen der späteren Schwungphase des zweiten Schritts bis hin zum finalen 180°-Richtungswechsel-Manöver. Die dynamischen Flexionsgrade des Kniegelenks zwischen Stimuluspräsentation und -deaktivierung sind in Abbildung 3 B & C visualisiert.

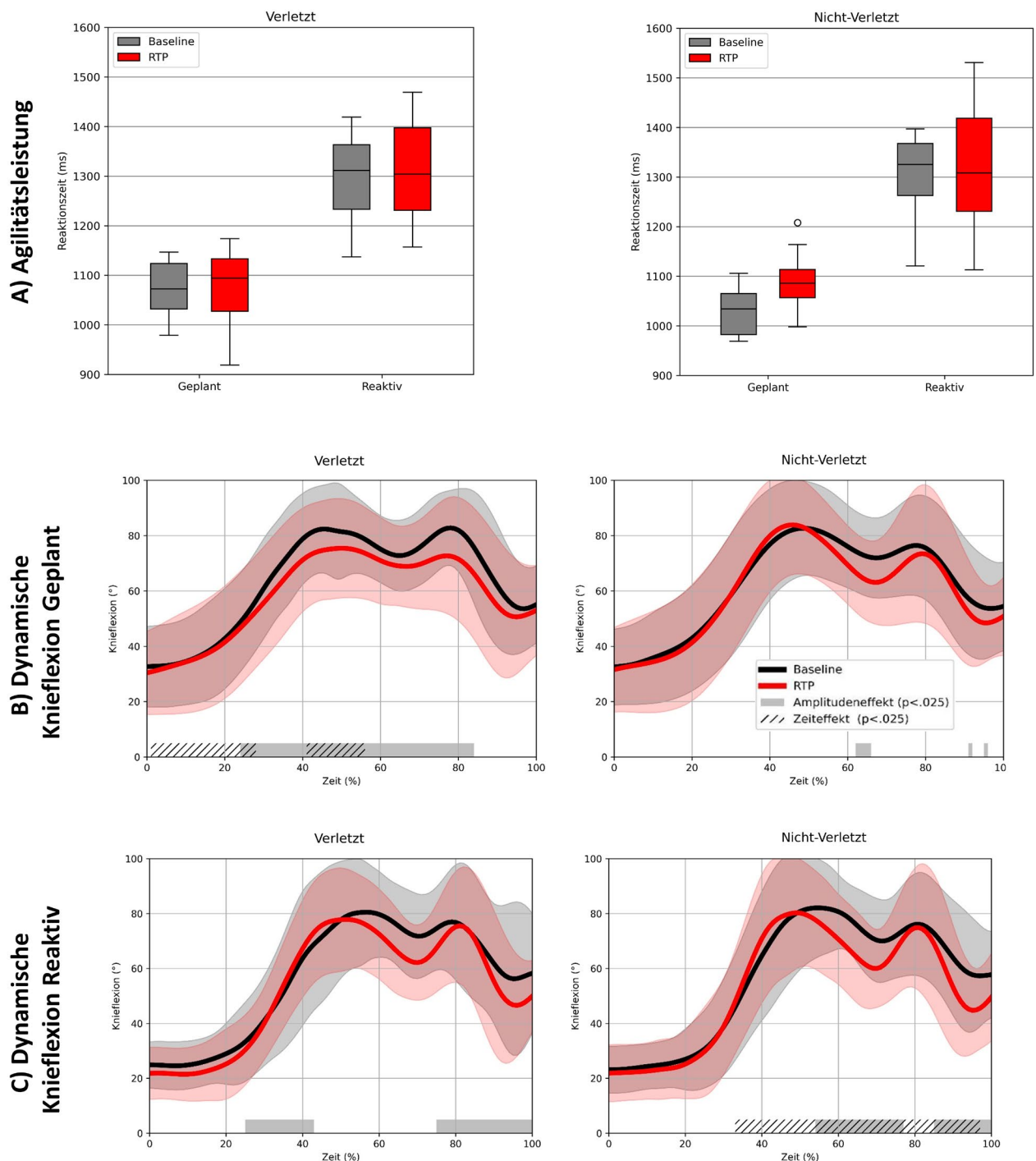


Abb. 3: A) Boxplot der Verteilung der Reaktionszeiten (in Millisekunden) für die geplanten und reaktiven Agilitätstests. Verglichen werden Leistungsdaten zum Zeitpunkt Baseline (grau) und RTP (rot). Plots differenzieren Richtungswechsel-Manöver mit dem verletzten und nicht-verletzten Bein. Abbildung 3 B) & C). Vergleich der Knieflexion beim Richtungswechsel-Manöver während einer geplanten (B) und reaktiven Agilitätsaufgabe (C) in der Phase zwischen der Präsentation und Deaktivierung eines Lichtstimulus. Die Plots vergleichen die dynamische Knieflexion von  $n=8$  Fällen vor (schwarz) und nach (rot) einer Verletzung der unteren Extremität mit einer Ausfallzeit > 21 Tage. Unter Verwendung des statistical non-parametric mappings wurden Zeit- und Amplitudeneffekte untersucht. Die Wellenformen stellen den zeitlichen Verlauf der Knieflexion bei Richtungswechsel-Manövern mit dem verletzten (linke Abbildungen) bzw. nicht-verletzten Bein (rechte Abbildungen) dar.

## Diskussion

Das Projekt RTP-Koordination sollte Aufschluss darüber geben, inwiefern die Agilitätsleistung und die assoziierte Bewegungsqualität nach Sportverletzungen zum Zeitpunkt des RTPs bei Profihandballern beeinträchtigt ist. Im Laufe des Projekts konnten n=8 Spieler nach einer Verletzung der unteren Extremität mit > 21 Ausfalltagen zum Zeitpunkt des RTP nachverfolgt werden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Agilitätsleistung im Rahmen der Rehabilitation wiederhergestellt werden kann. In der Analyse der Bewegungsqualität zeigt sich jedoch, dass nach einer Verletzung mit substanzieller Ausfallzeit sowohl in geplanten als auch in reaktiven Richtungswechsel-Aufgaben eine reduzierte Knieflexion zu beobachten ist. Diese Veränderung könnte ein Risikofaktor für Folgeverletzungen darstellen.

Die Ergebnisse der Studie lassen darauf schließen, dass die komplexe Koordination zum Zeitpunkt des RTPs trotz medizinischer Freigabe weiterhin beeinträchtigt sein kann. Während beider Bedingungen, einem geplanten und einem reaktiven Agilitätstest, weisen die inkludierten Sportler nach RTP eine reduzierte Knieflexion im vormals verletzten Bein auf (Hashemi et al., 2011) assoziieren eine reduzierte Knieflexion bei dynamischen Bewegungen mit einem erhöhten Risiko für Knieverletzungen, da die Strukturen des Kniegelenks größeren physikalischen Kräften ausgesetzt sind (Hashemi et al., 2011). Auf der anderen Seite beobachten Dos'Santos et al. (2017), dass reduzierte Flexionsgrade im Knie die Bodenkontaktzeiten reduzieren und somit leistungsförderlich sein könnten (Dos'Santos et al., 2017). Es resultiert ein „Leistungs-Verletzungskonflikt“ der Knieflexion beim Richtungswechsel, da eine reduzierte Knieflexion zwar schnellere Leistung ermöglicht, aber mit höheren Gelenkbelastungen einhergeht (Dos'Santos et al., 2021). Bei reaktiven Agilitätsaufgaben kann eine reduzierte Knieflexion zudem auch beim vormals nicht verletzten Bein beobachtet werden. Besonders in der Rehabilitation ist jedoch zu beachten, dass die lange Ausfallzeit und die reduzierte Belastung nach einer Verletzung auch die Belastbarkeit des nicht-verletzten Beins beeinträchtigen können (Chung et al., 2015).

Es könnte daher spekuliert werden, dass die beobachteten Veränderungen in der Bewegungsqualität Teil einer Kompensationsstrategie sind, um der reduzierten Kraftentwicklung als Folge des ausfallbedingten De-Trainings entgegenzuwirken (Mujika & Padilla, 2000). Entsprechend äußern sich die Verletzungen im vorliegenden Projekt zwar auf der Ebene der Bewegungsqualität, aber nicht auf der Ebene der Agilitätsleistung. Trotz wiederhergestellter Leistung ist somit von einem erhöhten Risikoprofil bei Richtungswechsel-Manövern auszugehen. Vor diesem Hintergrund sollten Trainerinnen und Trainer die Entwicklung individueller, optimierter Richtungswechseltechniken im RTP fördern. Dabei gilt es, nicht nur die Leistung zu maximieren, sondern auch die individuelle Belastbarkeit der Gelenkstrukturen zu berücksichtigen (Dos'Santos et al., 2021). Die Inklusion komplexer reaktiver Agilitätsaufgaben in RTP-Assessments könnte somit Risikofaktoren für Folgeverletzungen bei rehabilitierten Spielern verdeutlichen, da solche Aufgaben auch im nicht verletzten Bein mit Veränderungen in der Bewegungsqualität einhergehen.

*Limitationen:* Trotz der initialen Einblicke in die komplexe Koordination zum Zeitpunkt des RTPs sind spezifische Limitationen für das Projekt zu nennen. Da IMU-basierte Messungen der Knieabduktionswinkel im Vergleich zu Goldstandard-Methoden wie der 3D-Bewegungsanalyse systematische Abweichungen aufweisen können (Heuvelmans et al., 2022), wurde die Knieabduktion als Risikofaktor für Knieverletzungen nicht in die Analyse aufgenommen. Basierend auf Inzidenzen von Klein et al. (2019) (2,2 Verletzungen/Spieler/Saison) und unter Annahme eines konservativen Anteils von 5 – 10 % schwerwiegenden Verletzungen (Laver et al., 2018), wäre in der vorliegenden Stichprobe von n=66 mit 7 bis 15 relevanten Verletzungen zu rechnen gewesen. Die beobachtete Inzidenz von n=8 liegt somit am unteren Rand der Prognose, da durch verschiedene organisatorische Gründe (Vereinswechsel [n=2], fehlende Teilnahme an Baseline-Messung [n=2], Fehlende Teilnahmebereitschaft der verletzten Spieler [n=1]) nicht alle dem Untersuchungsteam bekannten relevanten Verletzungen zum Zeitpunkt der RTPs untersucht werden konnten.

**Praxisempfehlungen:** Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass professionelle Handballer ihre Agilitätsleistung zum Zeitpunkt des RTPs im Querschnitt wiederhergestellt haben. Da diese Leistung aber bei reduzierter Knieflexion erbracht wird, ist davon auszugehen, dass das Kniegelenk nach RTP beim Richtungswechsel-Manöver einer höheren mechanischen Belastung ausgesetzt ist. In Anlehnung an Buckthorpe (2019) lösen die Sportler die Agilitätsaufgaben nach Verletzung mit einer reduzierten Bewegungsqualität, indem sie sich häufiger in einen Risiko-Kontext (= reduzierte Knieflexion) begeben. Die Inklusion komplexer koordinativer Aufgaben unter Berücksichtigung der Bewegungsqualität kann helfen, auf Defizite und Risikofaktoren wie die reduzierte Flexion des Knies beim Richtungswechsel hinzuweisen. Solche Auffälligkeiten können den Medical Teams der Vereine durch Reports veranschaulicht werden und bei der finalen RTP-Entscheidung helfen.

Im Training kann einer reduzierten Bewegungsqualität durch die vermehrte Inklusion dynamischer Bewegungsaufgaben mit neurokognitiven Elementen entgegengewirkt werden (Gokeler et al., 2019). Beispielsweise konnten Benjaminse et al. (2011) zeigen, dass der Einsatz von visuellem Feedback zu Bodenreaktionskräften dabei helfen kann, Athleten zu einem sanfteren Richtungswechselverhalten zu verhelfen, welches die Gelenkstrukturen entlastet (Benjaminse et al., 2017). Gezielte Maßnahmen und die Implementation reaktiver Aufgaben können dazu beitragen, die dynamische Kontrolle der unteren Extremität wiederherzustellen.

## Literatur

- Ardern, C. L., Glasgow, P., Schneiders, A., Witvrouw, E., Clarsen, B., Cools, A., Gojanovic, B., Griffin, S., Khan, K. M., Moksnes, H., Mutch, S. A., Phillips, N., Reurink, G., Sadler, R., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Wangensteen, A., Wilk, K. E., & Bizzini, M. (2016). 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *British Journal of Sports Medicine*, 50(14), 853 – 864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278>
- Benjaminse, A., Otten, B., Gokeler, A., Diercks, R. L., & Lemmink, K. A. P. M. (2017). Motor learning strategies in basketball players and its implications for ACL injury prevention: a randomized controlled trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25(8), 2365 – 2376. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3727-0>
- Bolt, R., Heuvelmans, P., Benjaminse, A., Robinson, M. A., & Gokeler, A. (2024). An ecological dynamics approach to ACL injury risk research: a current opinion. *Sports Biomechanics*, 23(10), 1592 – 1605. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1960419>
- Büchel, D., Döring, M., & Baumeister, J. (2024). The burdens of sitting on the bench – comparison of absolute and relative match physical load between handball players with high and low court time and implications for compensatory training. *Journal of Sports Sciences*, 1 – 9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2387928>
- Büchel, D., Gokeler, A., Heuvelmans, P., & Baumeister, J. (2022). Increased Cognitive Demands Affect Agility Performance in Female Athletes – Implications for Testing and Training of Agility in Team Ball Sports. *Perceptual and Motor Skills*, 129(4), 1074 – 1088. <https://doi.org/10.1177/00315125221108698>

- Buckthorpe, M. (2019). Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(7), 1043 – 1058. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01102-z>
- Chung, K. S., Ha, J. K., Yeom, C. H., Ra, H. J., Lim, J. W., Kwon, M. S., & Kim, J. G. (2015). Are Muscle Strength and Function of the Uninjured Lower Limb Weakened After Anterior Cruciate Ligament Injury? Two-Year Follow-up After Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(12), 3013 – 3021. <https://doi.org/10.1177/0363546515606126>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., McBurnie, A., Comfort, P., & Jones, P. A. (2021). Bio-mechanical Determinants of Performance and Injury Risk During Cutting: A Performance-Injury Conflict? *Sports Medicine*, 51(9), 1983 – 1998. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01448-3>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P. A., & Comfort, P. (2017). Mechanical Determinants of Faster Change of Direction Speed Performance in Male Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 696 – 705. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001535>
- Gokeler, A., Benjaminse, A., Della Villa, F., Tosarelli, F., Verhagen, E., & Baumeister, J. (2021). Anterior cruciate ligament injury mechanisms through a neurocognition lens: implications for injury screening. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 7(2), e001091. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001091>
- Gokeler, A., Neuhaus, D., Benjaminse, A., Grooms, D. R., & Baumeister, J. (2019). Principles of Motor Learning to Support Neuroplasticity After ACL Injury: Implications for Optimizing Performance and Reducing Risk of Second ACL Injury. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(6), 853 – 865. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01058-0>
- Hashemi, J., Breighner, R., Chandrashekar, N., Hardy, D. M., Chaudhari, A. M., Shultz, S. J., Slauterbeck, J. R., & Beynnon, B. D. (2011). Hip extension, knee flexion paradox: a new mechanism for non-contact ACL injury. *Journal of Biomechanics*, 44(4), 577 – 585. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.11.013>
- Heuvelmans, P., Benjaminse, A., Bolt, R., Baumeister, J., Otten, E., & Gokeler, A. (2022). Concurrent validation of the Noraxon MyoMotion wearable inertial sensors in change-of-direction and jump-landing tasks. *Sports Biomechanics*, 1 – 16. <https://doi.org/10.1080/14763141.2022.2093264>
- Klein, C., Bloch, H., Burkhardt, K., Kühn, N., Pietzonka, M., & Schäfer, M. (2020). VBG-Sportreport 2020. Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball, Handball.
- Laver, L., Luig, P., Achenbach, L., Myklebust, G., & Karlsson, J. (2018). *Handball Injuries: Epidemiology and Injury Characterization. Part 1* (pp. 141 – 153). [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55892-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55892-8_11)
- Mujika, I., & Padilla, S. (2000). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 30(2), 79 – 87. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030020-00002>

- Müller, R., Büchel, D., & Baumeister, J. (2025). Validation, Reliability, and Usefulness of the Functional Agility Square Test [FAST]. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202503.1482.v1>
- Pataky, T. C., Robinson, M. A., Vanrenterghem, J., & Donnelly, C. J. W. (2022). Simultaneously assessing amplitude and temporal effects in biomechanical trajectories using nonlinear registration and statistical nonparametric mapping. *Journal of Biomechanics*, 136, 111049. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111049>



# Analyse von Prädiktoren der individuellen Hitzetoleranz im Triathlonsport (PräHiT)

AZ 070112/21-22

Andreas M. Niess, Gunnar Erz, Anna Würden & Thomas Beiter

Medizinische Klinik, Abteilung Sportmedizin, Universitätsklinikum Tübingen

## Problem

Ausdauerbelastungen unter erhöhten Umgebungstemperaturen stellen für die Athletinnen und Athleten eine große Herausforderung dar. So kommt es unter solchen Bedingungen zum einen zu einer teils deutlichen Abnahme der erbringbaren Leistung und andererseits zu Beschwerden bis hin zum Auftreten eines lebensbedrohlichen Hitzschlags (Epstein & Roberts, 2011; Guy & Vincent, 2018). Zwar kann durch eine ausreichende Hitzeakklimatisation die sportliche Leistungsfähigkeit günstig beeinflusst werden und auch das Risiko für das Auftreten von Beschwerden und Hitzeerkrankungen reduziert werden. Dennoch findet sich auch bei akklimatisierten Athletinnen und Athleten eine interindividuell variable Ausprägung der Hitzetoleranz, die in Hinblick auf ihre zugrundeliegenden Mechanismen noch unklar ist.

Bei hohen Außentemperaturen verlagert der Körper einen großen Teil seines Blutvolumens in die Haut, um damit mehr Wärme an die Umgebung abführen zu können. Über die Verdunstung des vermehrt gebildeten Schweißes wird dem Körper Wärme entzogen und somit die Körperkerntemperatur vor einem zu starken Anstieg bewahrt. Infolge der Verlagerung des Blutes auf die Körperhülle und der Notwendigkeit, den arbeitenden Muskel gleichzeitig ausreichend mit Blut versorgen zu können, kommt es zur Aufrechterhaltung der thermischen Homöostase zu einer Verringerung der Durchblutung in anderen Stromgebieten. Inaktive Muskulatur und das Splanchnikusgebiet (Darm, Pankreas, Nieren) werden deshalb kaum noch durchblutet.

Eine länger anhaltende Minderperfusion des Gastrointestinaltrakts kann allerdings im enteralen Gewebe zu pathophysiologischen Effekten führen, die sich aus vier Faktoren speisen: Hypoxie, oxidativer Stress, Azidose und Hyperthermie. Als unmittelbare Folgen treten Störungen der intestinalen Resorption und der Darmpermeabilität auf, die intestinale Integrität und Barrierefunktion können beeinträchtigt werden, und letztendlich können sich auch Zellnekrosen mit nachfolgenden epithelialen Erosionen und Blutungen bilden. Ist die Barrierefunktion gestört, dringen vermehrt fettunlösliche Stoffe, Polysaccharide und unvollständig gespaltene Nahrungsbestandteile in den Organismus ein. Gelangen gleichzeitig Bestandteile von Darmbakterien oder deren Zerfallsprodukte (Endotoxine) in das submuköse Bindegewebe, das darmassoziierte lymphatische Gewebe oder gar in die Blutzirkulation, können sowohl lokale als auch systemische Entzündungsprozesse in Gang gesetzt werden. Dieses als „leaky gut“ („durchlässiger Darm“) bezeichnete Phänomen wird in der Fachliteratur als hauptursächlich für Übelkeit, Leistungseinbrüche, Erschöpfungszustände und Hitzekollaps bis hin zum belastungsinduzierten Hitzschlag bei Ausdauerbelastungen unter extremen Außentemperaturen diskutiert (Cohen et al., 2009). Ob und unter welchen Bedingungen jedoch tatsächlich eine Endotoxinämie, d. h. ein Übertritt von intestinalen Bakterien oder bakteriellen Produkten in den Blutkreislauf, während oder nach einer intensiven Belastungssituation auftreten kann, ist momentan auch aufgrund methodischer Einschränkungen nicht zweifelsfrei geklärt (Hollander & Kaunitz, 2019).



Im vorliegenden Projekt sollte geklärt werden, inwieweit das Auftreten einer Barrierestörung des Darmes bei einer Laufbelastung unter erhöhten Umgebungstemperaturen nachweisbar ist und diese mit der individuellen Belastungsverträglichkeit und dem möglichen Auftreten von belastungsinduzierten Beschwerden zusammenhängt. Dabei sollte auch geklärt werden, ob es ein individuelles Muster an im Labor bei einer Ausdauerbelastung unter Hitzebedingungen gemessenen Messparametern gibt, das die individuelle Belastungsverträglichkeit vorhersagen lässt. Darüber hinaus stellten wir uns die Frage, ob die bei einer entsprechenden Ausdauerbelastung unter Hitzebedingungen mögliche Störung der Barrierefunktion des Darmes mit dem Mikrobiom des Darmes im Zusammenhang steht. Im Falle eines nachweisbaren Zusammenhangs zwischen dem Darmmikrobiom einerseits und dem Ausmaß der Störung der Barrierefunktion des Darmes andererseits bestünde zumindest theoretisch ein Ansatz darin, durch eine Ernährungsintervention Einfluss auf die individuelle Hitzetoleranz zu nehmen (Guy et al., 2018).

## Methode

Das Studienprotokoll ist in Abbildung 1 dargestellt. Nach einer Eingangsergometrie (Mehrstuftest mit Ermittlung der Laktatschwelle IAS) erfolgte bei insgesamt 14 Triathletinnen und Triathleten nach 4–5 Wochen eine 60-minütige Dauerbelastung auf dem Laufband bei 75 % der Laufgeschwindigkeit an der IAS. Der erste Dauertest wurde bei 18 °C Labortemperatur, der zweite 10–14 Tage später bei 28 °C Raumtemperatur durchgeführt. 3–4 Wochen später nahmen dann die Athletinnen und Athleten an einem offiziellen Halbdistanz-Triathlon teil, der bei erhöhten Umgebungstemperaturen stattfand.

Neben den Variablen Herzfrequenz und Körperkerntemperatur wurden sowohl bei den Tests im Labor als auch beim Wettkampf Blutproben für das Biosampling sowie Stuhlproben für die Mikrobiomanalyse im Darm vorgenommen. Darüber hinaus wurde eine Abfrage nach Beschwerden und dem subjektiven Belastungsempfinden im Rahmen der Dauerbelastung

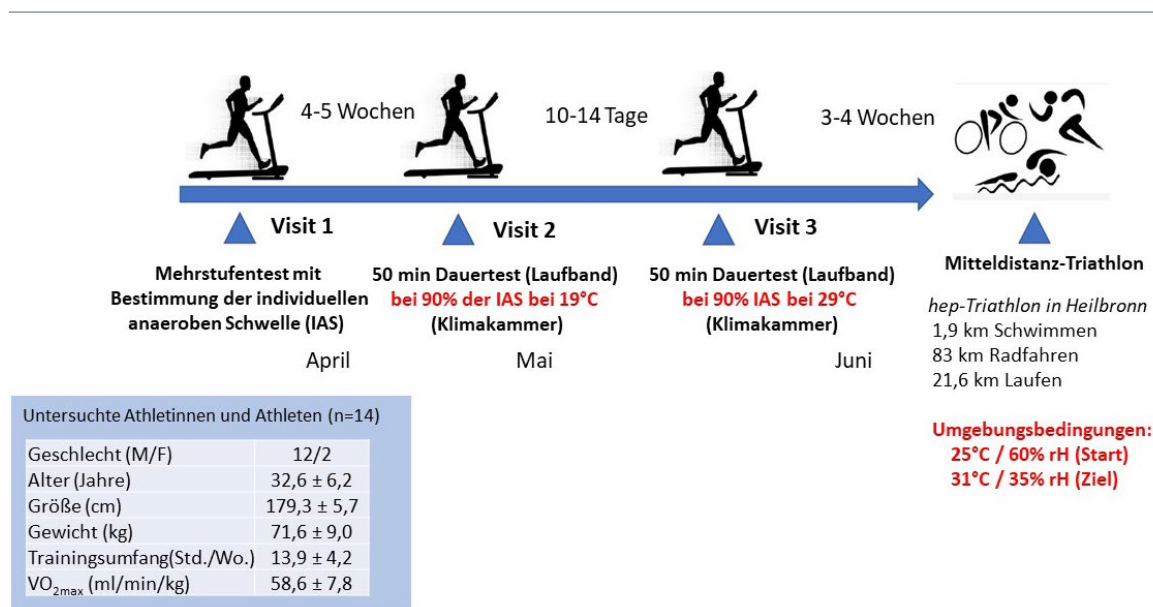


Abb. 1: Schematische Darstellung des Studienablaufs. Elf Triathleten (10 Männer, 1 Frau) absolvierten zwei einstündige Dauerbelastungen auf dem Laufband, eine unter gemäßigten Umgebungsbedingungen (N, 19,2 ± 0,9 °C) und eine unter erhöhten Raumtemperaturen (H, 28,7 ± 0,7 °C). Die Laufgeschwindigkeit wurde individuell an die zuvor in einem Mehrstuftest ermittelte individuelle anaerobe Schwelle (IAS) angepasst. Die Dauerbelastung begann mit einem 10-minütigen Aufwärmen (75 % IAS), gefolgt von 50 Minuten Hauptbelastung (90 % IAS). Venöse Blutproben wurden unmittelbar vor (vor), direkt nach (nach) sowie 2 Stunden (+2h) nach Belastungsende gewonnen. Der Mitteldistanz-Triathlon wurde 3–4 Wochen nach den Dauerbelastungen in der Klimakammer im Rahmen eines offiziellen Wettkampfs absolviert. Dabei lag die Temperatur (Start/Ziel) bei 25 bzw. 31°C, die relative Luftfeuchtigkeit (rH) bei 60 bzw. 30 %. Auch bei dieser Belastung erfolgte die Gewinnung der Bioproben.

sowie den Ernährungsgewohnheiten (einwöchiges Tagebuch) vorgenommen. Es erfolgte weiterhin ein Monitoring der Herzfrequenz und der Körperkerntemperatur sowie eine Ermittlung des Schweißverlustes unter Belastung.

An Leaky gut-Biomarkern wurden aus den gewonnenen Plasmaproben die Konzentrationen für die Lipopolysaccharide (LPS), das LPS-Bindingprotein (LBP), das intestinale Fatty-Acid-Binding-Protein (I-FABP), das D-Laktat (Metabolit gramnegativer Darmbakterien) und die bakterielle DNA analysiert.

## Ergebnisse

**Belastungsreaktion:** Die 60-minütige Dauerbelastung unter erhöhten Temperaturen führte zu signifikant höheren Werten der Körperkerntemperatur ( $p < 0,05$  ab 45 min), der Herzfrequenz ( $p < 0,05$  ab 35 min) und des subjektiven Beanspruchungsempfindens nach BORG-Skala ( $p < 0,05$  ab 35 min). Bei Belastungsende lagen die Werte im Mittel um 0,9 (95 % CI 0,6 – 1,3) °C, 16 (12 – 19) Schläge/min bzw. 4 (3 – 5) Punkte höher als unter Normalbedingungen.

**Leaky gut-Biomarker:** Mit Ausnahme der bakteriellen DNA konnte für alle Leaky gut-Biomarker während der Laufbandergometrie im Labor ein belastungsinduzierter Anstieg im Plasma nachgewiesen werden. Das LPS und auch das I-FABP zeigten dabei bereits unter „Normalbedingungen“, also bei 18 – 20 °C Labortemperatur, eine signifikante Zunahme direkt nach Belastungsende. Dabei korrelierte unter Hitzebedingungen das Ausmaß der Zunahme der Konzentration von I-FABP mit dem individuellen Anstieg der Körperkerntemperatur ( $r = 0,58$ ,  $p = 0,02$ ). Demgegenüber war der Anstieg der Plasmakonzentrationen für LBP und das D-Laktat nur bei 28 °C Labortemperatur signifikant. Zudem war im Labor ein signifikant höherer Anstieg der Leaky gut-Parameter-Marker bei Hitze im Vergleich zu den Normalbedingungen nur für das D-Laktat zu beobachten.

Der unter Laborbedingungen nachweisbare Anstieg der Konzentrationen von LBP ( $r = 0,86$ ,  $p = 0,001$ ) und D-Laktat ( $r = 0,77$ ,  $p = 0,001$ ) korrelierte auf individueller Ebene mit dem Anstieg nach dem Mitteldistanz-Triathlon. Demgegenüber zeigte das Verhalten der Leaky gut-Biomarker im Wettkampf keinen Zusammenhang zum Auftreten von gastrointestinalen Beschwerden. Für den Leaky gut-Biomarker I-FABP fanden wir einen stärkeren Anstieg im Plasma bei sich vegetarisch ernährenden Athletinnen und Athleten.

Die Befunde der individuellen Profile des Darmmikrobioms lagen bei Erstellung des Kurzberichts noch nicht vor, da die Analyse und Auswertung sich noch in Arbeit befinden. Eine umfangreichere und auch graphische Ergebnispräsentation findet sich in der ersten bereits veröffentlichten Originalpublikation des Projekts (Beiter et al., 2025).

## Diskussion

Zusammenfassend zeigt unsere Studie in Bestätigung bisheriger Befunde (Pires et al., 2017), dass sogenannte Leaky gut-Biomarker während einer akuten Ausdauerbelastung vermehrt im Blutkreislauf nachgewiesen werden können, v. a., wenn die Ausdauerbelastung bei erhöhter Umgebungstemperatur durchgeführt wird.

Dabei ist die Bedeutung des von uns beschriebenen mäßigen Anstieges eines Teils der Marker bereits bei „normalen“ Temperaturen unklar. Hypothetisch formuliert, könnte dies auch einen gesundheitlich sinnvollen Mechanismus darstellen, über den der wiederholte niedrigintensive Kontakt mit diesen Antigenen anti-entzündliche Effekte und Immuntoleranz stimuliert.

Mit der von uns erstmals gezeigten signifikant deutlicheren Zunahme von D-Laktat im Plasma bei Hitze konnten wir möglicherweise einen relativ sensiblen Indikator für eine zumindest beginnende Störung der Darmbarriere bei körperlicher Belastung identifizieren, was durch weitere Studien abgesichert werden sollte.

Dabei scheint im gewählten Untersuchungsansatz eine klinisch relevante Störung der Darmbarriere allerdings eher unwahrscheinlich. Diese Vermutung wird auch dadurch gestützt, als dass das eher geringe Ausmaß des Anstieges der Leaky gut-Biomarkern auf individueller Ebene nicht mit den erfragten Magen-Darm-Beschwerden korrelierte.

Auf der anderen Seite korrelierte jedoch das individuelle Ausmaß der Anstiege für das D-Laktat und LBP mit deren Verhalten beim Halbdistanz-Triathlon, was auf eine individuell unterschiedliche Zunahme der Durchlässigkeit der Darmbarriere hindeutet. Nicht ausgeschlossen ist, dass dieses individuell variable, aber reproduzierbare Verhalten dieser Leaky gut-Biomarker zumindest in Teilen durch die Zusammensetzung des Mikrobioms beeinflusst wird. Entsprechend erhoffen wir uns nach Vorliegen der Mikrobiomdaten weiteren Aufschluss. Auch dem beschriebenen Zusammenhang zwischen dem Anstieg des Leaky gut-Biomarkers I-FABP und der Ernährung mit einer deutlicheren Zunahme dieses Biomarkers bei den sich vegetarisch ernährenden Athletinnen und Athleten könnte ein differentes Darmmikrobiom zugrunde liegen.

## Ausblick

Unsere Ergebnisse machen es notwendig, die Rolle jedes Leaky gut-Markers in der komplexen Kette von Prozessen unter thermischem, oxidativem, metabolischem oder mechanischem Stress noch klarer zu definieren.

In Abhängigkeit von den finalen Ergebnissen aus der Analyse des Darmmikrobioms sehen wir, wie eingangs bereits thematisiert, das Potenzial, durch eine Ernährungsmodifikation das belastungsinduzierte Verhalten der Leaky gut-Biomarker im Plasma trainierter Ausdauerathletinnen und -athleten zu beeinflussen. Inwieweit dadurch auch eine günstige Beeinflussung der Hitzetoleranz möglich ist, bleibt derzeit allerdings noch weitgehend Spekulation. Bei der zukünftigen Identifikation eines Musters für ein „Thermotoleranzförderndes Mikrobiom“ wäre die Überprüfung im Tiermodell ein weiterer Forschungsansatz, der verfolgt werden könnte (Li et al., 2021).

Zur weiteren Klärung einer möglicherweise pathophysiologischen Bedeutung des Verhaltens der Leaky gut-Biomarker bei Ausdauerwettkämpfen wäre die gezielte Analyse von Plasmaproben anzustreben, die bei Athleten und Athletinnen, die einen belastungsinduzierten Hitzeschlag oder eine ausgeprägtere Hitzeerschöpfung erlitten haben, gewonnen worden sind.

## Literatur

- Beiter, T., Erz, G., Würden, A., Niess, A. M. (2025). Impact of moderate environmental heat stress during running exercise on circulating markers of gastrointestinal integrity in endurance athletes. *Physiol Rep*, 13(7), e70305.
- Cohen, D. C., Winstanley, A., Engledow, A., Windsor, A. C., Skipworth, J. R. (2009). Marathon-induced ischemic colitis: why running is not always good for you. *Am J Emerg Med*, 27, e255 – 257.
- Costa, R. J. S., Camões-Costa, V., Snipe, R. M. J., Dixon, D., Russo, I., Huschtscha, Z. (2019). Impact of exercise-induced hypohydration on gastrointestinal integrity, function, symptoms, and systemic endotoxin and inflammatory profile. *J Appl Physiol* (2019), 126, 1281 – 1291.
- Epstein, Y., Roberts, W. O. (2011). The pathophysiology of heat stroke: an integrative view of the final common pathway. *Scand J Med Sci Sports*, 21, 742 – 748.
- Guy, J. H., Vincent, G. E. (2018). Nutrition and Supplementation Considerations to Limit Endotoxemia When Exercising in the Heat. *Sports*, 6, 12.
- Hollander, D., Kaunitz, J. D. (2020). The “Leaky Gut”: Tight Junctions but Loose Associations? *Dig Dis Sci*, 65, 1277 – 1287.

Li, L., Wang, M., Chen, J., Xu, Z., Wang, S., Xia, X., Liu, D., Wang, S., Xie, C., Wu, J., Li, J., Zhang, J., Wang, M., Zhu, J., Ling, C., & Xu, S. (2021). Preventive Effects of *Bacillus licheniformis* on Heat Stroke in Rats by Sustaining Intestinal Barrier Function and Modulating Gut Microbiota. *Front. Microbiol*, 12, 630841.

Pires, W., Veneroso, C. E., Wanner, S. P., Pacheco, D. A. S., Vaz, G. C., Amorim, F. T., Tonoli, C., Soares, D. D., Coimbra, C. C. (2017). Association Between Exercise-Induced Hyperthermia and Intestinal Permeability: A Systematic Review. *Sports Med*, 47, 1389–1403.

# Schlaf oder Training? – Effekte von Trainingszeiten und Edukation auf Schlafverhalten und Regeneration im leistungssportlichen Schwimmen (SleepTrain)

AZ 070116/22-24

*Dr. Sabrina Forster, Maxime Brandts & Prof. Tim Meyer*

Institut für Sport- und Präventivmedizin, Universität des Saarlandes

## Schlaf und Leistungssport

Das Thema Schlaf ist sowohl in der Wissenschaft als auch in der Sportpraxis in den letzten Jahren stark in den Fokus gerückt. Gutem Schlaf wird hierbei eine große Bedeutung für die physische und kognitive Leistungsfähigkeit sowie für die körperliche und mentale Regeneration zugesprochen. Doch was steckt dahinter? Physiologisch betrachtet stellt der Schlaf nicht nur die Abwesenheit des Wachseins dar. Schlaf ist eine durch präzise Mechanismen gesteuerte Aktivität des Gehirns, der spezifische Funktionen zugesprochen werden und in dem der Körper zahlreiche Funktionen regeneriert (Fullagar et al., 2015; Hobson & Stickgold, 1995). So ist grundsätzlich bekannt, dass Schlaf eine wichtige Bedeutung für die kognitiven und physiologischen Funktionen des menschlichen Organismus hat. Zahlreiche Systeme wie das Immun-, das Hormon- und das Nervensystem erholen sich, wenn wir schlafen. Weiterhin spielt der Schlaf eine wichtige Rolle beim (motorischen) Lernen und der Gedächtnisentwicklung (Frank & Benington, 2006). Zwar ist die optimale Schlafdauer sehr individuell, dennoch empfehlen verschiedene Schlafexperten 7–9 Stunden pro Nacht für Erwachsene und 9–12 Stunden für Kinder und Jugendliche. Daher ist es besorgniserregend, dass eine Vielzahl von leistungssportlich aktiven Schwimmern und Schwimmerinnen die Empfehlungen im täglichen Training nicht einhält.

Dabei scheinen insbesondere die zum Teil sehr frühen Trainingszeiten zu einem chronischen Schlafdefizit zu führen (Sargent 2014 a & b). Ein Schlafdefizit kann sich sowohl auf die sportart-spezifische Leistung (Fullagar et al., 2014), die Regeneration (Fullagar et al., 2014) als auch auf die Psyche der Athleten auswirken (Sargent, Halson, & Roach, 2014). Im Bereich der Leistungsfähigkeit ist die maximale Wettkampfleistung zwar akut nur wenig eingeschränkt, die Leistungsfähigkeit bei wiederholten, hochintensiven Belastungen kann allerdings durch Schlafmangel reduziert sein (Reilly & Edwards, 2007). Dies kann insbesondere in intensiven Trainingsphasen, wie z. B. einem Trainingslager, relevant sein, wenn die Regenerationsfähigkeit der Athleten aufgrund eines höheren Trainingsumfangs bereits eingeschränkt ist. Ein Schlafdefizit kann diese Einschränkung noch verstärken, was zu einer verminderten Leistungsfähigkeit im Training und somit zu einer eingeschränkten Anpassung führen kann. Verschiedene Studien zeigen auch, dass chronisch schlechter bzw. verkürzter Schlaf die Infektanfälligkeit bei Erwachsenen erhöht (Prather, Janicki-Deverts, Hall, & Cohen, 2015). So haben Personen, die weniger als 6 Stunden pro Nacht schlafen, im Vergleich zu Personen, deren Schlafdauer bei mindestens 7 Stunden pro Nacht lag, eine 4-fach erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Infektion der oberen Atemwege (Prather et al., 2015). Diese Effekte auf das Immunsystem sind insbesondere in Ausdauersportarten wie

dem Schwimmen praxisrelevant, da hohe Trainingsbelastungen mit einer akuten Verschlechterung der Immunabwehr einhergehen können. So sorgen besonders hohe Trainingsvolumina ohne ausreichende Regenerationsphasen im Schwimmen immer wieder für vermehrte Infekte (Hellard, Avalos, Guimaraes, Toussaint, & Pyne, 2015).

## Das Forschungsprojekt

Es stellt sich daher die Frage, was gegen akuten und chronischen Schlafmangel getan werden kann. Da in anderen Sportarten bereits gezeigt werden konnte, dass sich eine Verlängerung der Schlafdauer positiv auf die körperliche und physische Leistung auswirkt (Bonnar, Bartel, Kakoschke, & Lang, 2018), haben wir im Projekt „SleepTrain“ einerseits versucht, durch eine Verschiebung der Trainingszeit am Morgen eine Verlängerung der Schlafdauer hervorzurufen. In einem zweiten Schritt sollten die Effekte einer dreimonatigen Schlafedukation auf das Schlafverhalten leistungsorientierter Schwimmer/innen untersucht werden. Für das erste Projekt wurden gemeinsam mit dem Bundesnachwuchstrainer zwei 8-tägige Trainingslager für NK1 und NK2 Athleten und Athletinnen beim Landessportverband für das Saarland (LSVS) in Saarbrücken organisiert (Januar und Oktober 2023). Insgesamt nahmen 27 Bundesnachwuchsschwimmer und -schwimmerinnen teil. Jede Athletin und jeder Athlet durfte in randomisierter Reihenfolge einmal länger (Trainingsstart um 9 Uhr) und einmal kürzer (Trainingsstart um 7 Uhr) schlafen.

Insgesamt erreichten wir, dass die Teilnehmenden bei einem späteren Trainingsstart 59 Minuten länger schlafen konnten (Mittelwert 9 Uhr Training:  $6:52 \pm 00:46$  Stunden, Mittelwert 7 Uhr Training:  $5:53 \pm 00:58$  Stunden; Abbildung 1).

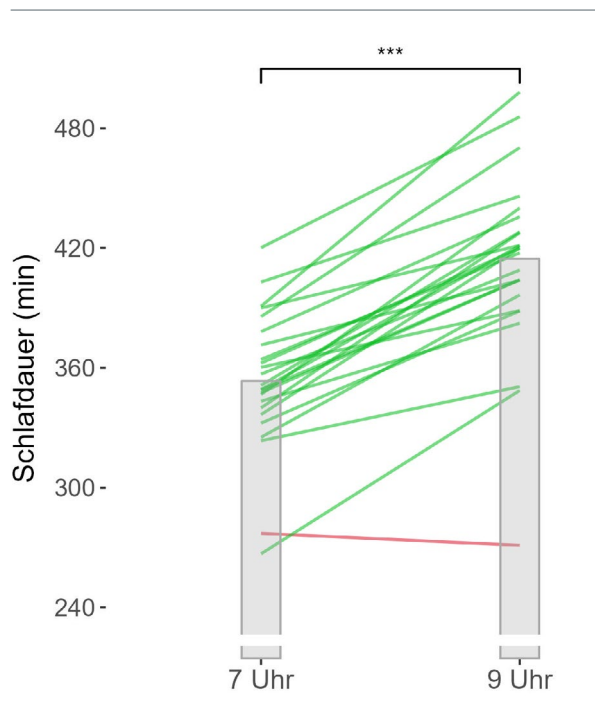


Abb. 1: Mittlere Schlafdauer (in Minuten) bei Trainingsbeginn um 7 Uhr (linker Balken) und Trainingsbeginn um 9 Uhr (rechter Balken). Die grünen Linien zeigen die Teilnehmenden, deren Schlaf sich im Trainingslager mit der späteren Frühtrainingszeit verlängert hat; der rote Balken stellt eine Reduktion der Schlafdauer dar.

Allerdings hat diese knappe Stunde mehr Schlaf im Anschluss an das Trainingslager keine Auswirkungen auf die Entwicklung der Leistungsfähigkeit über 100 m und 800 m (Abbildung 2).

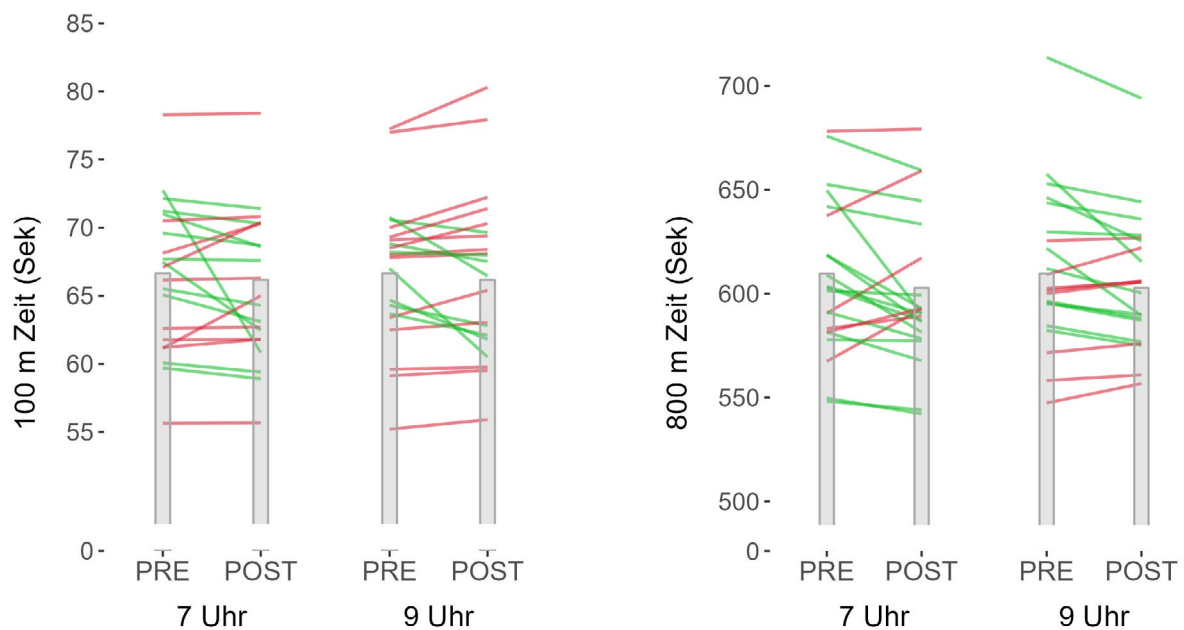


Abb. 2: Pre-Post Vergleich der Leistung über 100 m (A; in Sekunden) sowie über 800 m (B; in Sekunden) bei Trainingsbeginn um 7 Uhr (linke Balken) und Trainingsbeginn um 9 Uhr (rechte Balken). Die grünen Linien zeigen die Teilnehmenden, die sich nach dem Trainingslager mit der späteren Frühtrainingszeit verbessert haben; die roten Linien zeigen die Teilnehmenden, die nach dem entsprechenden Trainingslager langsamer geschwommen sind.

Die vorliegenden Ergebnisse werden durch bereits veröffentlichte Studien unterstützt. So konnten verschiedene Autoren zeigen, dass ein teilweiser Schlafverlust (z.B. 3–5 Stunden Schlaf in 24 Stunden) nur minimale Effekte auf die Ausdauer- (Mougin et al., 1991; Reilly & Deykin, 1983) und Sprintleistung hat (Romyn, 2024). Athleten und Athletinnen scheinen daher in der Lage zu sein, auch mit unzureichendem Schlaf ihre Wettkampfleistung abzurufen (Fulgagar, Vincent, McCullough, Halson, & Fowler, 2023). Es sollte allerdings erwähnt werden, dass die Teilnehmenden in der Phase mit der frühen Trainingseinheit signifikant häufiger einen Mittagsschlaf benötigt haben ( $n=39$  vs.  $N=28$ ;  $p=0,05$ ). Es konnte bereits mehrfach gezeigt werden, dass ein Mittagsschlaf insbesondere nach einer Nacht mit reduziertem Schlaf sowohl die kognitive als auch die physische Leistung verbessert (Lastella, Halson, Vitale, Memon, & Vincent, 2021). Es kann also vermutet werden, dass die Schwimmerinnen und Schwimmer in der vorliegenden Studie ihr Schlafdefizit in der Nacht durch einen Mittagsschlaf ausgleichen konnten und somit die negativen Effekte reduziert wurden.

Es ist auch erwähnenswert, dass während des „Langschläfer-Trainingslagers“ keine Infekte aufgetreten sind, während in der Phase mit den Frühtrainingseinheiten um 7 Uhr fünf Teilnehmende aufgrund eines Infektes das Trainingslager unter- oder abbrechen mussten. Im vorliegenden Projekt wurden in diesem Zusammenhang auch ausgewählte Immunmarker (C-reaktives Protein, Leukozyten, Interleukin-6 und Cortisol) erhoben, um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Schlaf und dem Immunsystem zu untersuchen. Es wurde lediglich ein signifikant niedrigeres Level des C-reaktiven Proteins im „Langschläfer-Trainingslager“ gefunden ( $p=0,005$ ), auf die restlichen Immunmarker hatte der verlängerte Schlaf keine Auswirkungen. Aus Studien mit Schichtarbeitenden ist aber bekannt, dass ein chronisches Schlafdefizit inflammatorische Marker erhöht, was langfristig negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann (Morris, Purvis, Mistretta, Hu, & Scheer, 2017; Wright et al., 2015). Ob die vorliegenden Daten auf chronisch erhöhte Entzündungswerte aufgrund von regelmäßigem Schlafmangel bei Schwimmern und Schwimmerinnen hinweisen, kann nicht abschließend geklärt werden.

Es sollte allerdings erwähnt werden, dass die CRP-Werte insgesamt deutlich unter dem als klinisch relevanten Wert lagen (10 – 50 mg/L weisen auf eine leichte Infektion hin).

Die chronischen Effekte einer Schlafedukation sollten in einem zweiten Teilprojekt untersucht werden. Da die Datenaufnahme erst im Februar 2025 abgeschlossen werden konnte, liegen aktuell nur erste Ergebnisse von n = 13 Athleten und Athletinnen vor. Diese zeigen, dass ein dreimonatiges Schlafhygieneprogramm keinen Einfluss auf das Schlafverhalten von Leistungsschwimmerinnen und -schwimmern hat (Tabelle 1).

Erwähnenswert ist jedoch, dass sich der Schlafrhythmus während des Schlafhygieneprogramms signifikant verändert hat (Tabelle 1). Die Gesamtschlafdauer ist in der Intervention mit 7 Stunden und 18 Minuten zwar unverändert geblieben, allerdings sind die Teilnehmenden während der Schlafedukation eine Stunde später zu Bett gegangen und eine Stunde später aufgestanden. Leider bleibt offen, inwiefern sich in der Phase der Intervention der Tagesablauf der Schwimmerinnen und Schwimmer, insbesondere die Schul- und Trainingszeiten, verändert hat.

**Tab. 1: Vergleich der Schlafparameter zwischen Baseline und Intervention (n=13; Mittelwert ± Standardabweichung)**

	Baseline	Intervention	Mittlere Differenz
Zubettgeh-Zeit (Std:min)	22:18 ± 00:43	23:24 ± 00:54*	01:07 ± 00:38
Aufsteh-Zeit (Std:min)	06:48 ± 00:25	07:48 ± 01:17*	01:02 ± 01:00
Schlafdauer (Std:min)	7:24 ± 00:30	7:24 ± 00:30	00:00 ± 00:36
Schlafeffizienz (%)	86,8 ± 2,2	87,8 ± 2,1	1,0 ± 0,9
Wachepisoden (min)	62,0 ± 2,0	61,0 ± 2,0	-0,1 ± 0,2
Regelmäßigkeitsindex	82 ± 4	81 ± 6*	-1 ± 6
Allgemeine Erholung (AU)	3,8 ± 0,7	4,0 ± 0,6	0,2 ± 0,5
Allgemeiner Beanspruchungszustand (AU)	2,0 ± 0,7	1,9 ± 0,7	-0,1 ± 0,7

\*signifikanter Unterschied zur Baseline



## Zusammenfassung und praktische Empfehlungen

Aus dem Projekt „SleepTrain“ lassen sich folgende Ergebnisse und Praxisempfehlungen ableiten:

- › Eine Veränderung der Frühtrainingszeit erhöht die Gesamtschlafdauer, hat aber weder Auswirkungen auf die Entwicklung der Leistungsfähigkeit noch auf die subjektive Erholung.
- › Athleten und Athletinnen können auch nach mehreren Tagen mit reduziertem Schlaf ihre Wettkampfleistung abrufen.
- › Der reduzierte Nachtschlaf wird über einen Mittagsschlaf kompensiert. Athleten und Athletinnen sollten daher die Möglichkeit bekommen, einen Mittagsschlaf in den Tagesablauf einzubauen.
- › Eine dreimonatige Schlafedukation hat keine Effekte auf das Schlafverhalten von Leistungsschwimmerinnen und -schwimmer.

## Literatur

- Bonnar, D., Bartel, K., Kakoschke, N., & Lang, C. (2018). Sleep Interventions Designed to Improve Athletic Performance and Recovery: A Systematic Review of Current Approaches. *Sports Med*, 48(3), 683 – 703. doi:10.1007/s40279-017-0832-x
- Frank, M. G., & Benington, J. H. (2006). The role of sleep in memory consolidation and brain plasticity: dream or reality? *Neuroscientist*, 12(6), 477 – 488. doi:10.1177/1073858406293552
- Fullagar, H. H., Skorski, S., Duffield, R., Hammes, D., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2014). Sleep and Athletic Performance: The Effects of Sleep Loss on Exercise Performance, and Physiological and Cognitive Responses to Exercise. *Sports Med*. doi:10.1007/s40279-014-0260-0
- Fullagar, H. H., Skorski, S., Duffield, R., Hammes, D., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2015). Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Med*, 45(2), 161 – 186. doi:10.1007/s40279-014-0260-0
- Hellard, P., Avalos, M., Guimaraes, F., Toussaint, J. F., & Pyne, D. B. (2015). Training-related risk of common illnesses in elite swimmers over a 4-yr period. *Med Sci Sports Exerc*, 47(4), 698 – 707. doi:10.1249/MSS.0000000000000461
- Hobson, J. A., & Stickgold, R. (1995). Sleep. Sleep the beloved teacher? *Curr Biol*, 5(1), 35 – 36. doi:10.1016/s0960-9822(95)00011-x
- Kolling, S., Steinacker, J. M., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T., & Kellmann, M. (2016). The longer the better: Sleep-wake patterns during preparation of the World Rowing Junior Championships. *Chronobiol Int*, 33(1), 73 – 84. doi:10.3109/07420528.2015.1118384
- Prather, A. A., Janicki-Deverts, D., Hall, M. H., & Cohen, S. (2015). Behaviorally Assessed Sleep and Susceptibility to the Common Cold. *Sleep*, 38(9), 1353 – 1359. doi:10.5665/sleep.4968
- Reilly, T., & Edwards, B. (2007). Altered sleep-wake cycles and physical performance in athletes. *Physiol Behav*, 90(2 – 3), 274 – 284. doi:10.1016/j.physbeh.2006.09.017
- Sargent, C., Halson, S., & Roach, G. D. (2014). Sleep or swim? Early-morning training severely restricts the amount of sleep obtained by elite swimmers. *Eur J Sport Sci*, 14 Suppl 1, S310 – 315. doi:10.1080/17461391.2012.696711

# Invasive Darstellung der muskelinterstitiellen Flüssigkeit mittels Mikrodialyse-Technik und dessen Veränderung durch die Modulation der mechanischen und metabolischen Belastung

AZ 070120/22-23

Sanghyeon Ji, M.Sc.<sup>1,2</sup>, Dr. med. Alexander Franz<sup>3,4</sup>, Prof. Dr. Dr. Michael Behringer<sup>5</sup> & Prof. Dr. Patrick Wahl (Projektleitung)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, Abteilung Leistungsphysiologie, Deutsche Sporthochschule Köln

<sup>2</sup> Das Deutsche Forschungszentrum für Leistungssport (momentum)

<sup>3</sup> Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Universitätsklinikum Bonn

<sup>4</sup> Unfallchirurgie und Orthopädie, BG Klinik Ludwigshafen

<sup>5</sup> Institut für Sportwissenschaften, Arbeitsbereich Sportmedizin & Leistungsphysiologie, Goethe Universität Frankfurt

## 1. Problem

Das Verständnis der physiologischen Reaktionen des Körpers auf Trainingsreize ist von grundlegender Bedeutung für die Trainingssteuerung im Leistungs- und Rehabilitationssport. Speziell im Kontext der Anpassungsprozesse auf molekularer und zellulärer Ebene ist es wichtig zu verstehen, wie sich homöostatische Störungen in Folge spezifischer Trainingsstimuli entwickeln (Flück und Hoppeler 2003; Hoppeler et al. 2011). In der bisherigen sportwissenschaftlichen Forschung wurden Muskelbiopsien und Blutanalysen als gängige Methoden zur Untersuchung der physiologischen Reaktionen verwendet. Muskelbiopsien bieten zwar detaillierte Einblicke in zelluläre Anpassungen, sind jedoch aufgrund der invasiven Natur und der limitierten Anzahl an Messzeitpunkten während einer Studie nicht immer praktikabel (Kuang et al. 2022). Demgegenüber steht die klassische Blutanalyse, welche deutlich weniger invasiv und sich als einfach durchzuführende Messmethode zur Erfassung der physiologischen Reaktionen über mehrere Zeitpunkte etabliert hat. Blutparameter dienen

jedoch häufig lediglich als Surrogat-Marker, die im Wesentlichen systemische Veränderungen widerspiegeln, ohne dabei einen direkten Einblick in lokale Stoffwechsel- und Signalvorgänge zu ermöglichen.

Eine Analyse-Methode aus der Intensivmedizin, die Mikrodialyse (MD) könnte eine Brücke zwischen den beschriebenen Techniken der Muskelbiopsie und der Analyse von Blutparametern darstellen. Bei der MD wird eine speziell entwickelte Sonde, bestehend aus einer doppellumigen Kapillare mit einer semipermeablen Membran, in das zu untersuchende Gewebe bzw. in den zu untersuchenden Muskel gelegt, um den extrazellulären Raum, der die Fasern umgibt, zu analysieren (Ungerstedt 1991). Mit der MD-Technik kann eine kontinuierliche (in vivo) Probenahme vor, während und nach der Belastung durchgeführt werden. Somit ist es möglich, verschiedenste Stoffwechselprodukte sowie Mikro- (z.B. Aminosäuren und Vitamine) und Makromoleküle (z.B. Proteine) aus dem extrazellulären Raum (Interstitium) zu analysieren (MacLean et al. 2000; Clough et al. 2007; Lundberg et al. 2002).

Dies ermöglicht, zeitliche Variationen in der Bildung und Freisetzung verschiedener Substanzen und Moleküle an diskreten Stellen innerhalb des Gewebes (z.B. Muskel) zu verfolgen (Clough et al. 2007). Somit liefert die MD-Technik detailliertere Informationen über die homöostatischen Veränderungen/Störungen und die molekularen Mechanismen der funktionellen und strukturellen Anpassungen der Muskulatur (Clough et al. 2007; Lott und Sinoway 2004). Während die MD-Technik im klinischen Bereich bereits ihre Anwendung findet, wurde ihr Potenzial im Bereich der Trainingswissenschaft bislang nur wenig erforscht. Durch die Untersuchung der akuten lokalen Reaktionen auf die Belastung mittels der MD-Technik, insbesondere bei einer gezielten Modulation einzelner homöostatischer Störungen, könnten wichtige Trainingsreize identifiziert und die dazugehörigen Anpassungsprozesse besser verstanden werden.

Zwei Trainingsmethoden, mit denen sich der metabolische bzw. der mechanische Stress gezielt modulieren bzw. intensivieren lassen, sind die „Blood-Flow-Restriction“ (BFR) und das „Eccentric Cycling“ (ECC). Das BFR-Training ermöglicht eine Intensivierung des metabolischen Stresses bei gleichzeitig geringer mechanischer Belastung (Ferguson et al. 2021), während ECC eine hohe mechanische Belastung bei gleichzeitig geringer metabolischer Beanspruchung bietet (Hoppeler 2016; Franchi et al. 2017). In den letzten Jahren wurden die positiven Effekte und die Anwendbarkeit von BFR und ECC bei verschiedenen Populationen beschrieben (Ellis et al. 2015; Barreto et al. 2021; Pignanelli et al. 2021; Hughes et al. 2017). Allerdings ist bisher nur wenig über die physiologischen Akutreaktionen auf lokaler (muskulärer) Ebene bekannt.

Das vorliegende Projekt fokussierte daher auf die invasive Untersuchung der akuten physiologischen Reaktionen auf lokaler Ebene (muskuläres Interstitium), aber auch auf systemischer Ebene (u.a. Atemgase und Blut) in Bezug auf die Modulation des metabolischen und mechanischen Stresses durch BFR bzw. ECC.

## 2. Methoden

Insgesamt 14 gesunde Männer wurden für die vorliegende Studie rekrutiert. Aufgrund von Krankheit oder Verletzungen während des Interventionszeitraums konnten vier Teilnehmer die Studie nicht abschließen. Folglich wurden die Daten von 10 Probanden (Alter:  $28,3 \pm 4,92$  Jahre, Größe:  $181 \pm 4,73$  cm, Körpermasse:  $75,7 \pm 8,16$  kg) in die Analyse einbezogen.

Vor dem Studienstart wurden die Leistungsfähigkeit der Probanden (u.a. die Leistung an der ersten Laktatschwelle ( $W_{LT1}$ ) (Biosen C-line; EKF Diagnostic, Magdeburg, Deutschland), die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) (MetaMax 3B, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland) und die maximale Herzfrequenz ( $HR_{max}$ ) im Rahmen einer Eingangsdiagnostik (stufenförmiger Belastungstest; Beginn bei 80 W mit einem Inkrement von 20 W alle 3 min bis zur vollständigen Ausbelastung) ermittelt.

Mindestens 2 Wochen nach der Eingangsdiagnostik absolvierten die Probanden, zusätzlich zu zwei Eingewöhnungseinheiten mit ECC und BFR, vier Testungen mit einem Abstand von mindestens vier Wochen, an denen jeweils unterschiedliche Belastungsformen in randomisierter Reihenfolge durchgeführt wurden (siehe Abbildung 1):

1. CON: Radbelastung mit konzentrisch verrichteter Muskularbeit
2. ECC: Radbelastung mit exzentrisch verrichteter Muskularbeit
3. cBFR: CON mit Blood-Flow-Restriction (BFR)
4. eBFR: ECC mit BFR

Bei jedem Durchgang begannen alle Probanden mit einem 10-minütigen Aufwärmen (bei 90%  $W_{LT1}$ ) und führten  $3 \times 15$ -minütige, kontinuierliche Radbelastung (Cyclus2 Recumbent, RBM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Deutschland) an  $W_{LT1}$  mit einer 10-minütigen passiven Erholungsphase zwischen den Sätzen durch.

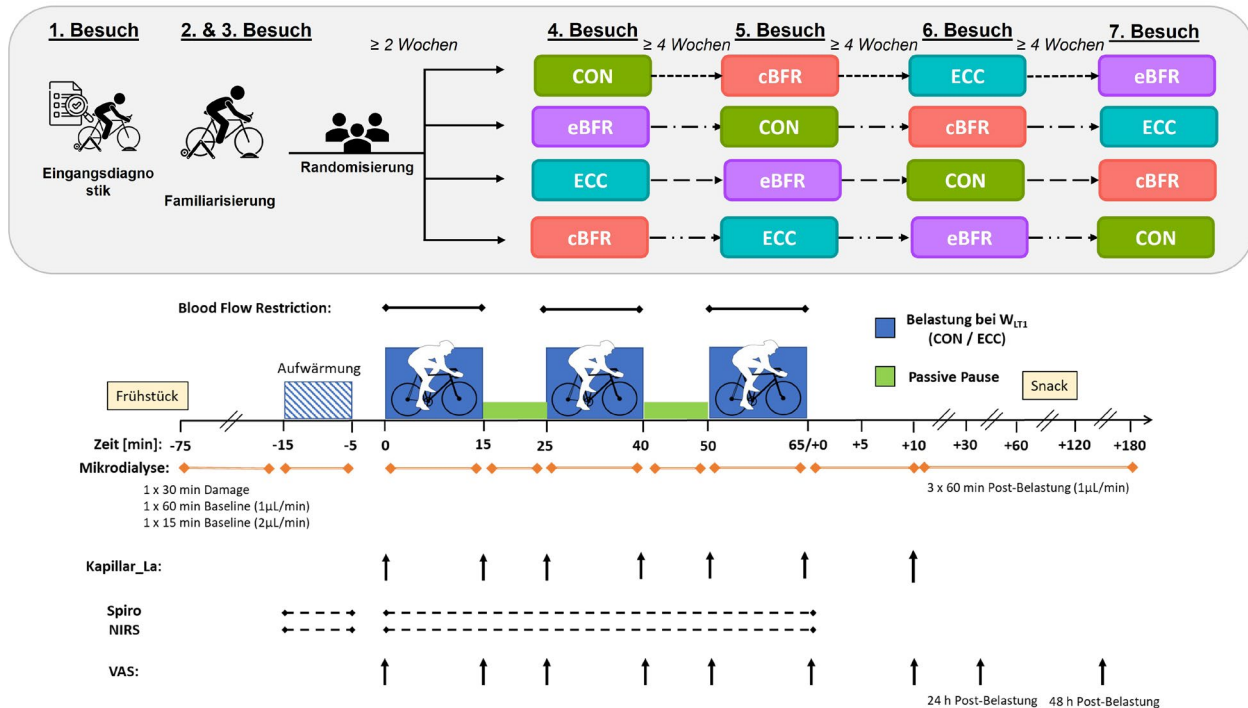


Abb. 1: Schematische Darstellung für das randomisierte Cross-over-Studiendesign und für den Versuchsablauf einschließlich der Messzeitpunkte. Alle Probanden absolvierten vier Testtermine für die Hauptmessung im Abstand von mindestens vier Wochen, die bestehend aus 3 × 15 min kontinuierlichen Radfahren mit konzentrisch verrichteter Muskularbeit (CON), mit exzentrisch verrichteter Muskularbeit (ECC), CON mit Blood-Flow-Restriction (BFR) und ECC mit BFR.

Für die BFR-Bedingungen (d.h. bei cBFR und eBFR) wurde vor der Belastung der individuelle arterielle Verschlussdruck (limb occlusion pressure, LOP) der Oberschenkelarterie (A. femoralis) mittels des „Personalized Tourniquet System for Blood Flow Restriction“ (Delfi Medical Inc., Vancouver, Kanada) ermittelt. Anschließend wurden die pneumatischen Blutdruckmanschetten (Easi-Fit Tourniquet Cuff, Delfi Medical Inc., Vancouver, Kanada, Breite: 11 cm) proximal um die Oberschenkel der Probanden befestigt und unmittelbar vor der Belastung auf 45–50 % des individuellen LOP aufgeblasen. Der Druck wurde konstant während der Belastungsphasen aufrechterhalten und während der Erholungsphasen wieder abgelassen.

Zur Erfassung der physiologischen Reaktionen auf systemischer Ebene wurden während der Belastung die Atemgase erfasst. Zur Analyse der zeitlichen Veränderung kardiorespiratorischer Parameter (u. a. der Sauerstoffaufnahme [ $\text{VO}_2$ ] und der Herzfrequenz [HR]) wurden die Mittelwerte aus zwei Zeitfenstern berechnet: der Mitte

(300–450 s) und dem Ende (750–900 s) der Belastungsphase jedes einzelnen Bouts. Zusätzlich wurde vor und nach jeder Belastungsphase Kapillarblut aus dem Ohrläppchen (20  $\mu$ L) entnommen, um die Veränderungen der Blutlaktat- und Blutglukosekonzentration zu bestimmen.

Zur Erfassung der metabolischen Veränderung innerhalb des muskulären Interstitiums wurde die MD-Sonde (CMA 70 Brain Microdialysis Catheter, CMA/Microdialysis AB, Solna, Schweden) steril und unter Lokalanästhesie in die Muskulatur des Oberschenkels (M. vastus lateralis) eingebracht. Eine elektrolyt- und laktatfreie Perfusionslösung wurde über ein inneres Lumen in die Sonde eingespült. Am distalen Ende der Sonde verteilt sich die Lösung zwischen dem Raum des inneren Lumens und der Dialysemembran (Cuprophane®) des äußeren Lumens. Während dieses Lösungsverlaufes in Richtung des proximalen Endes der Sonde findet der Metabolit-Austausch mit dem umliegenden Gewebe statt (s. Abbildung 2). Das Dialysat wurde während einer Ruhephase (d.h. Baseline, 15 min) und während

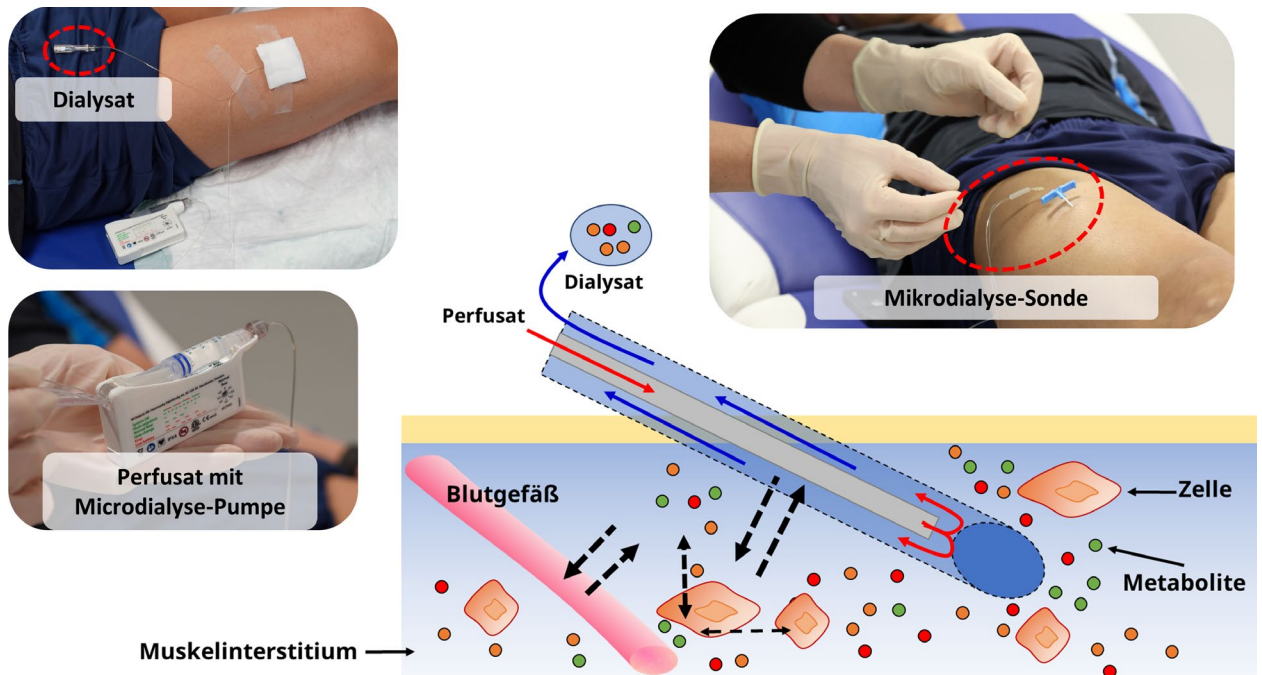


Abb. 2: Anwendung der Mikrodialyse am Musculus vastus lateralis; links: Perfusionspumpe mit Perfusat; oben rechts: Platzierung der Mikrodialyse-Sonde im Muskelgewebe; unten rechts: schematische Darstellung des Mikrodialyse-Prinzips im extrazellulären Raum: Das Perfusat strömt durch die semipermeable Membran der Sonde, Metabolite diffundieren entlang ihres Konzentrationsgradienten in die Sonde, während größere Moleküle und Zellen zurückgehalten werden. Das angereicherte Dialysat wird im Probenbehälter gesammelt und anschließend analysiert.

der Belastungs- ( $3 \times 15$  min) und Erholungsphasen ( $3 \times 10$  min) erhoben, welches anschließend auf die Stoffwechselfparameter (Glucose, Pyruvat, Laktat und Glycerol) unter Anwendung eines Probenanalysegeräts (CMA/600, CMA Microdialysis AB, Solna, Schweden) analysiert wurde.

Zur Erfassung der lokalen Sauerstoffsättigung in der Skelettmuskulatur (Tissue Saturation Index, TSI) während der Belastung wurde eine Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) eingesetzt. Das NIRS-Gerät (PortaMon, Artinis Medical Systems BV, Elst, Niederlande, Messfrequenz: 10 Hz, Wellenlänge: 760–850 nm) wurde auf dem M. vastus lateralis proximal bei  $\frac{1}{3}$  der zwischen dem vorderen Darmbeinstachel (Spina iliaca anterior superior) und der medialen Patella-Spitze gemessenen Muskellänge befestigt. Zur Analyse des TSIs wurden Mittelwerte aus zwei Zeitfenstern berechnet: der Mitte (300–450 s) und dem Ende (750–900 s) der Belastungsphase jedes einzelnen Bouts. Die prozentuale Veränderung des TSI ( $\Delta$ TSI) während der Belastungsphasen (Bout 1–3) wurde an-

schließend im Vergleich zu den Aufwärmphase berechnet, um die zeitliche Entwicklung der lokalen Sauerstoffsättigung zu analysieren.

### 3. Ergebnisse

Die gemessenen  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ - und  $W_{\text{LT1}}$ -Werte betrugen im Mittel  $3703 \pm 537 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  (relativ  $49,5 \pm 9,12 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) bzw.  $159 \pm 41,5 \text{ W}$ . Der individuell verwendete BFR-Druck während der cBFR- und eBFR-Belastungen lag durchschnittlich bei  $101 \pm 14,1 \text{ mmHg}$  (cBFR:  $102 \pm 12,0 \text{ mmHg}$ , eBFR:  $99,4 \pm 16,7 \text{ mmHg}$ ).

In Abbildung 3 sind die zeitlichen Verläufe der kardiorespiratorischen Parameter während der verschiedenen Belastungsformen dargestellt. Dabei konnten signifikante Haupteffekte für Zeit, Bedingung sowie deren Interaktion ( $p < 0,001$  für alle Parameter) festgestellt werden. Weiterführende Analysen ergaben, dass die konzentrischen Bedingungen (CON und cBFR) im Vergleich zu den exzentrischen Bedingungen



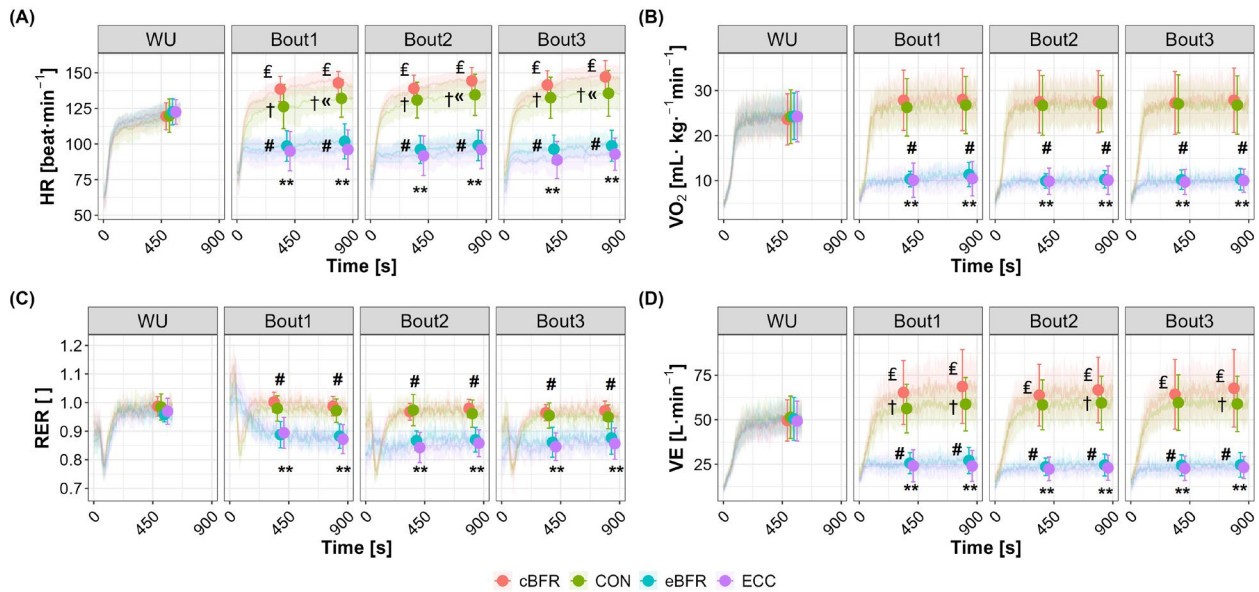


Abb. 3: Kardiorespiratorische Reaktionen während der Radbelastung mit konzentrisch verrichteter Muskelarbeit (CON), CON mit Blood-Flow-Restriction (cBFR), Radbelastung mit exzentrisch verrichteter Muskelarbeit (ECC) und ECC mit BFR (eBFR). (A) Herzfrequenz (HR), (B) Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>), (C) respiratorischer Quotient (RER) und (D) Atemminutenvolumen (VE). Die Daten sind dargestellt als Mittelwerte für jede Sekunde zusammen mit 95 % Konfidenzintervallen (Liniendiagramme) und als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen (Punktdiagramme) für das Aufwärmen (WU) und drei 15-minütige Belastungsphasen (Bout 1, 2 und 3). \* $p < 0,05$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb CON, £ $p < 0,001$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb cBFR, \*\* $p < 0,001$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb ECC und eBFR, # $p < 0,001$  signifikanter Unterschied zwischen CON und cBFR vs. ECC und eBFR, † $p < 0,05$  signifikanter Unterschied zwischen CON und cBFR.

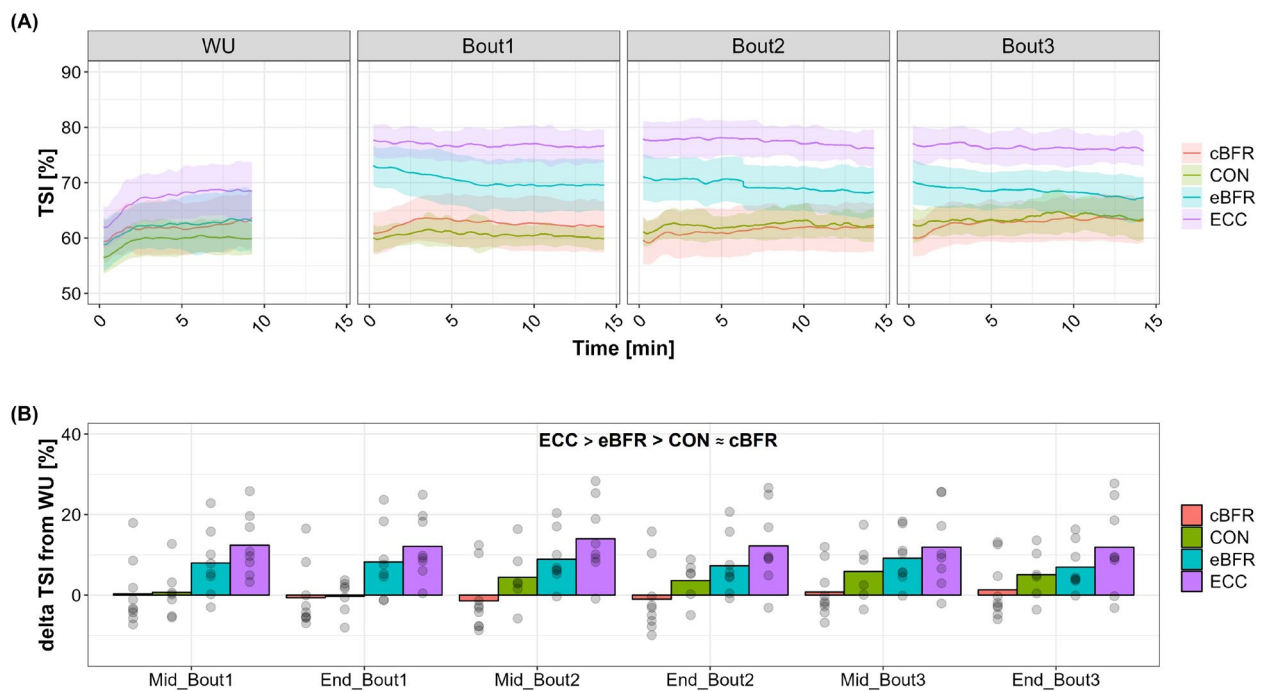


Abb. 4: Veränderung lokaler (M. vastus lateralis) Sauerstoffsättigung (TSI) während der Radbelastung mit konzentrisch verrichteter Muskelarbeit (CON), CON mit Blood-Flow-Restriction (cBFR), Radbelastung mit exzentrisch verrichteter Muskelarbeit (ECC) und ECC mit BFR (eBFR). Die Daten sind dargestellt als (A) Mittelwerte für jede Sekunde zusammen mit 95 % Konfidenzintervallen und (B) durchschnittliche Veränderungen während der 15-minütigen Belastungsphasen (Bout 1, 2 und 3) im Vergleich zu den Aufwärmwerten (WU).

(ECC und eBFR) signifikant stärkere kardiorespiratorische Reaktionen hervorriefen ( $p < 0,001$ ). Zudem zeigte die cBFR-Bedingung im Vergleich zu CON einen signifikant stärkeren Anstieg der HR und des Atemminutenvolumens ( $p < 0,05$ ).

Die Abbildung 4 zeigt die Veränderung der TSI während der verschiedenen Belastungsformen. Es konnte ein signifikanter Haupteffekt für die Bedingung festgestellt werden ( $p < 0,001$ ), jedoch kein signifikanter Zeiteffekt ( $p=0,74$ ) und keine signifikante Interaktion ( $p=0,97$ ). Weitere Analysen ergaben, dass die größte  $\Delta$ TSI bei ECC zu beobachten war, gefolgt von eBFR ( $12,4 \pm 9,04\%$  vs.  $8,09 \pm 6,97\%$ ,  $p=0,013$ ). Des Weiteren wies die  $\Delta$ TSI bei ECC und eBFR einen signifikant größeren Wert auf als bei CON ( $3,07 \pm 6,22\%$ ) und cBFR ( $-0,11 \pm 7,38\%$ ) ( $p < 0,001$  für alle).

In Abbildung 5 sind die zeitlichen Verläufe der Laktat- und Glukosekonzentration im Blut und im muskulären Interstitium vor, während und nach den verschiedenen Belastungsprotokollen dargestellt. Für die Blutlaktatkonzentration ( $La_{\text{Blut}}$ ) (Abbildung 5A oben) wurden signifikante Haupteffekte für Zeit, Bedingung sowie deren Interaktionen nachgewiesen ( $p < 0,001$  für alle). Die Post-hoc-Analysen zeigten, dass während der Belastungsphasen bei cBFR und CON die  $La_{\text{Blut}}$  signifikant höher war als der Ausgangswert ( $p < 0,05$ , mit Ausnahme der Zeitpunkte 40, 65 und 75 min bei CON [ $p \geq 0,71$ ]). Im Gegensatz dazu wurden bei ECC und eBFR keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zum Ausgangswert beobachtet ( $p=1,00$ ). Darüber hinaus waren die  $La_{\text{Blut}}$  bei cBFR und CON signifikant höher als bei ECC und eBFR ( $p < 0,05$ ), wobei cBFR im Vergleich zu CON die höchsten Werte erreichte ( $p < 0,001$ ). Zwischen ECC und eBFR konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ( $p=1,00$ ). Für die interstitielle Laktatkonzentration ( $La_{\text{interstitiell}}$ ) (Abbildung 5A unten) konnten signifikante Haupteffekte für Zeit, Bedingung sowie deren Interaktionen festgestellt werden ( $p < 0,001$  für alle). Dabei war die  $La_{\text{interstitiell}}$  während der Belastungsphasen bei CON (bei 15 und 25 min) und cBFR (von 15 bis 75 min) signifikant höher als der Ausgangswert ( $p < 0,001$ ), während ECC und eBFR keinen signifikanten Anstieg in  $La_{\text{interstitiell}}$  während der Belastung in-

duzierte ( $p=1,00$ ). Des Weiteren zeigte die cBFR-Bedingung die höchsten  $La_{\text{interstitiell}}$ -Werte (von 25 bis 75 min,  $p < 0,001$ ), gefolgt von der CON-Bedingung (nur von 15 bis 50 min,  $p < 0,05$ ). Zwischen ECC und eBFR wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt ( $p=1,00$ ).

Für die Blutglukose ( $Glu_{\text{Blut}}$ ) (Abbildung 5B oben) wurden signifikante Haupteffekte für Zeit ( $p < 0,001$ ), Bedingung ( $p < 0,001$ ) sowie deren Interaktionen nachgewiesen ( $p=0,03$ ). Aus weiteren Analysen ergab sich ein signifikanter Abfall der  $Glu_{\text{Blut}}$  in CON während der Belastung ( $p < 0,05$ , mit Ausnahme des Zeitpunktes 40 min,  $p=0,15$ ), während bei anderen Bedingungen kein nennenswerter Unterschied im Vergleich zum Ausgangswert ( $p \geq 0,32$ ) gefunden wurde. Darüber hinaus war  $Glu_{\text{Blut}}$  bei CON während der Belastungsphasen signifikant niedriger als bei den anderen Bedingungen ( $p < 0,05$ , mit Ausnahme des Zeitpunktes 15 min: nur im Vergleich zu cBFR signifikant niedriger ( $p=0,04$ )). Für die interstitielle Glukosekonzentration ( $Glu_{\text{interstitiell}}$ ) (Abbildung 5B unten) wurden signifikante Haupteffekte für die Zeit und die Bedingung ( $p < 0,001$  für beide), aber kein Interaktionseffekt ( $p=0,55$ ) festgestellt. Dabei zeigte ECC einen signifikant höheren  $Glu_{\text{interstitiell}}$ -Wert im Vergleich zu eBFR ( $p=0,03$ ).

In Abbildung 6 sind die zeitlichen Verläufe der interstitiellen Pyruvat- und Glycerol-Konzentration vor, während und nach den verschiedenen Belastungsprotokollen dargestellt. Für die interstitiellen Pyruvat-Konzentrationen ( $Pyr_{\text{interstitiell}}$ ) (Abbildung 6A) konnten signifikante Haupteffekte für die Zeit, die Bedingung sowie deren Interaktion ( $p < 0,001$  für alle) festgestellt werden. Dabei war die  $Pyr_{\text{interstitiell}}$  während der Belastungsphasen bei CON (bei 15 und 50 min) und cBFR (von 25 bis 75 min) signifikant höher als der Ausgangswert ( $p < 0,001$ ), während ECC und eBFR keinen signifikanten Anstieg in  $Pyr_{\text{interstitiell}}$  während der Belastung induzierte ( $p=1,00$ ). Zudem war die  $Pyr_{\text{interstitiell}}$  bei CON und cBFR signifikant höher als die bei ECC und eBFR ( $p < 0,05$ ), wobei es zwischen CON und cBFR ( $p > 0,06$ ) sowie zwischen ECC und eBFR ( $p > 0,89$ ) keinen signifikanten Unterschied gab. Für die Glycerol-Konzentration ( $Gly_{\text{interstitiell}}$ ) (Abbildung 6B) wurde

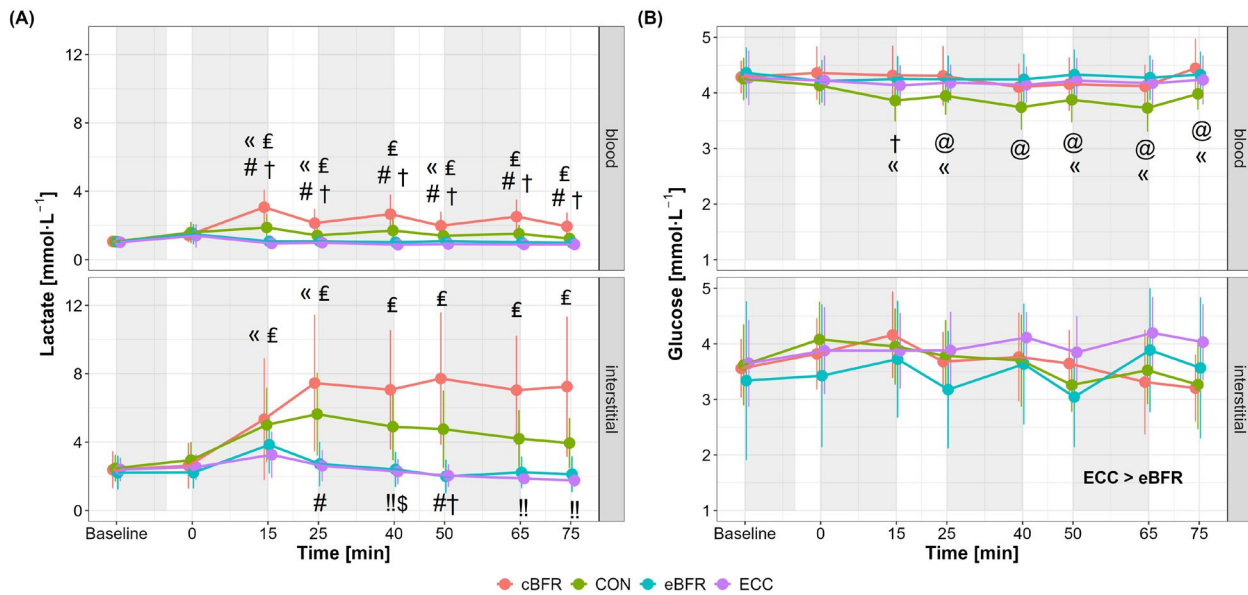


Abb. 5: Systemische (Kapillarblut, oben) und lokale (Interstitium des *M. vastus lateralis*, unten) Veränderungen der Laktat- (A) und Glukosekonzentration (B) vor, während und nach der Radbelastung mit konzentrisch verrichteter Muskelarbeit (CON), CON mit Blood-Flow-Restriction (cBFR), Radbelastung mit exzentrisch verrichteter Muskelarbeit (ECC) und ECC mit BFR (eBFR). Die Werte sind als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung angegeben. Die Belastungsphasen sind durch graue Flächen im Hintergrund gekennzeichnet. \* $p < 0,05$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb CON, † $p < 0,001$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb cBFR, # $p < 0,001$  signifikanter Unterschied zwischen CON und cBFR vs. ECC und eBFR, ‡ $p < 0,05$  signifikanter Unterschied zwischen CON und cBFR, @ $p < 0,05$  signifikanter Unterschied zwischen CON vs. cBFR, ECC und eBFR.

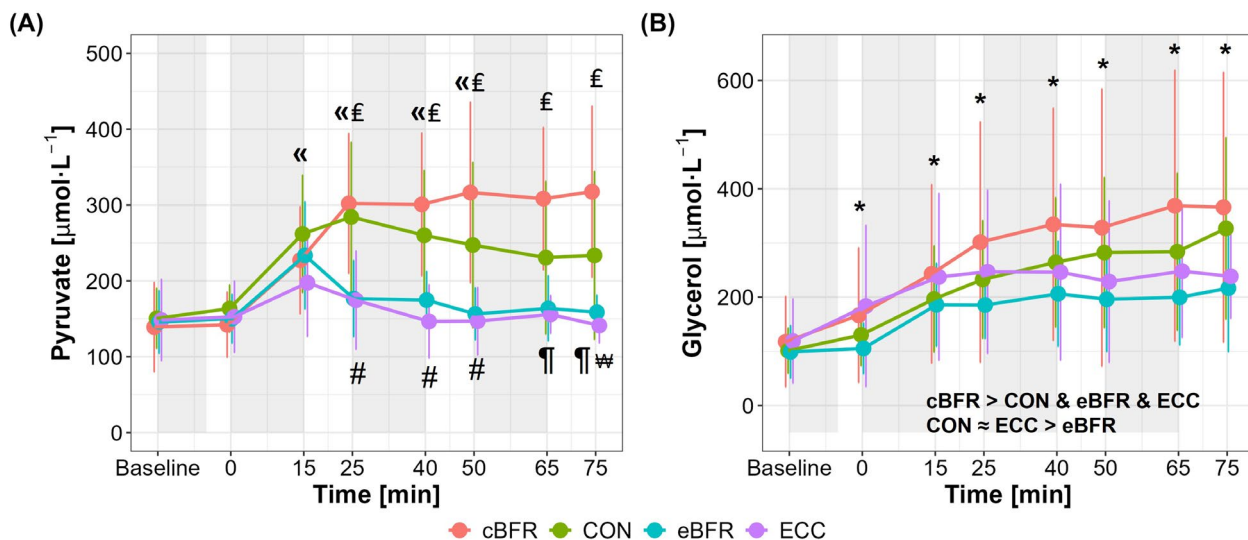


Abb. 6: Interstitielle Pyruvat- (A) und Glycerol-Konzentration (B) vor, während und nach der Radbelastung mit konzentrisch verrichteter Muskelarbeit (CON), CON mit Blood-Flow-Restriction (cBFR), Radbelastung mit exzentrisch verrichteter Muskelarbeit (ECC) und ECC mit BFR (eBFR). Die Werte sind als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung angegeben. Die Belastungsphasen sind durch graue Flächen im Hintergrund gekennzeichnet. \* $p < 0,001$ , signifikanter Unterschied zu WU unabhängig von der Bedingung, † $p < 0,05$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb CON, ‡ $p < 0,001$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb cBFR, # $p < 0,001$  signifikanter Unterschied zwischen CON und cBFR vs. ECC und eBFR, † $p < 0,001$  signifikanter Unterschied zwischen cBFR vs. ECC und eBFR, ‡ $p < 0,05$  signifikanter Unterschied zwischen CON und ECC, † $p < 0,05$  signifikanter Unterschied zwischen cBFR vs. CON, ECC und eBFR.



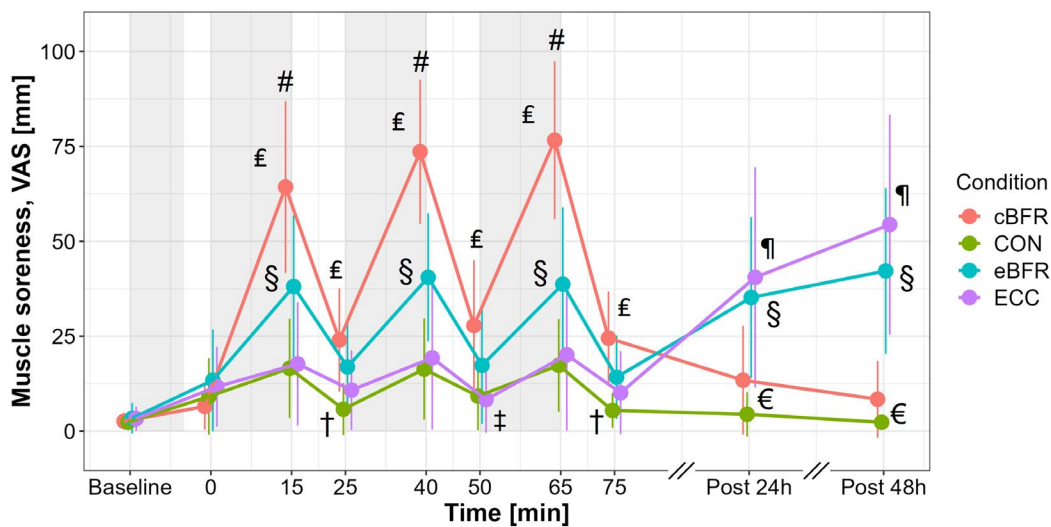


Abb. 7: Muskuläre Schmerzen vor, während und nach der Radbelastung mit konzentrisch verrichteter Muskelarbeit (CON), CON mit Blood-Flow-Restriction (cBFR), Radbelastung mit exzentrisch verrichteter Muskelarbeit (ECC) und ECC mit BFR (eBFR). Die Werte sind als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung angegeben. Die Belastungsphasen sind durch graue Flächen im Hintergrund gekennzeichnet.  $^{\dagger}p < 0,001$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb cBFR,  $^{\S}p < 0,001$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb eBFR,  $^{\ast}p < 0,001$  signifikanter Unterschied zu WU innerhalb ECC,  $^{\#}p < 0,001$  cBFR > eBFR > CON  $\approx$  ECC,  $^{\dagger}p < 0,05$  signifikanter Unterschied zwischen cBFR und CON,  $^{\ast}p < 0,05$  signifikanter Unterschied zwischen cBFR vs. CON und ECC,  $^{\S}p < 0,001$  CON  $\approx$  cBFR < ECC  $\approx$  eBFR.

ein signifikanter Haupteffekt für die Zeit und die Bedingung ( $p < 0,001$  für beide) festgestellt, aber kein Interaktionseffekt ( $p=0,11$ ). Weitere Analysen zeigten, dass die  $Gly_{interstitiell}$  während der Belastungsphase unabhängig von der Bedingung signifikant anstieg ( $p < 0,001$ ). Des Weiteren zeigte die cBFR-Bedingung die höchsten  $Gly_{interstitiell}$ -Werte ( $p < 0,03$ ).

Abbildung 7 zeigt die zeitlichen Verläufe der Schmerzen der Beinmuskulatur vor, während und nach den verschiedenen Belastungsprotokollen. Dabei wurden signifikante Haupteffekte für Zeit, Bedingung sowie deren Interaktion festgestellt ( $p < 0,001$  für alle). Weitere Analyse zeigte signifikant höhere Schmerzwerte während der cBFR- (sowohl am Ende als auch zwischen den Belastungsintervallen,  $p < 0,001$ ) und eBFR-Bedingung (am Ende der Belastungsphase,  $p < 0,001$ ) im Vergleich zu den Ausgangswerten. Bei den Belastungen unter CON- und ECC-Bedingungen wurden hingegen keine signifikanten Unterschiede zu den Ausgangswerten festgestellt ( $p \geq 0,30$ ). 24 und 48 h nach der Belastung wurde ein signifikanter Anstieg der Schmerzwerte bei ECC und

eBFR beobachtet ( $p < 0,001$ ), was ebenfalls einen signifikanten Unterschied im Vergleich zu CON und cBFR darstellte ( $p < 0,001$ ).

## 4. Diskussion

Ziel des vorliegenden Projekts war es, belastungsinduzierte physiologische Veränderungen auf lokaler (muskuläres Interstitium) und systemischer Ebene (u.a. Atemgase und Blut) zu analysieren. Dabei wurde der metabolische und mechanische Stress durch den gezielten Einsatz von BFR und/oder exzentrisch verrichteter Ergometer-Belastung spezifisch modifiziert.

Im Einklang mit den Ergebnissen vorhergehender Studien (Lipski et al. 2018; Peñailillo et al. 2017; Beaven et al. 2014; Rakobowchuk et al. 2018) wurde in der vorliegenden Untersuchung eine niedrigere kardiorespiratorische (HR:  $\sim 26\%$  und  $VO_2$ :  $\sim 55\%$ ) Beanspruchung bei exzentrischer Radbelastung (d.h. ECC) im Vergleich zum konzentrischen Radfahren (d.h. CON) bei gleicher externer Belastungsintensität gefunden.

Zudem zeigte sich bei ECC eine höhere muskuläre Sauerstoffsättigung ( $\sim 11\%$  höhere  $\Delta\text{TSI}$ ). Da der systemische und lokale Sauerstoffverbrauch als Indikator für die ATP-Synthese während submaximaler Belastung dient (Salin et al. 2015), könnte der vorliegende Befund der niedrigeren  $\text{VO}_2$  und gleichzeitig höheren  $\Delta\text{TSI}$  bei ECC darauf hindeuten, dass der ATP-Bedarf sowohl auf systemischer (Ganzkörper) als auch auf lokaler (M. vastus lateralis) Ebene reduziert ist (Peñailillo et al. 2017). Es ist jedoch anzumerken, dass die ECC- und eBFR-Belastungen stärkere muskuläre Schmerzen (d.h. Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS) in den Post-Belastungsphasen (24 und 48 h nach der Belastung) verursachten, was auf einen erhöhten mechanischen Stress und damit auf eine verstärkte Muskelschädigung durch exzentrische Belastung hinweist (Hotfiel et al. 2018; Peñailillo et al. 2020).

Zahlreiche Studien haben bereits gezeigt, dass die Anwendung von BFR bei niedrig- bzw. moderat-intensiver Belastung zu einem erhöhten metabolischen Stress führt (Christiansen et al. 2018; Corvino et al. 2017; Kilgas et al. 2022), was auch in der vorliegenden Untersuchung bestätigt wurde ( $\sim 30\%$  höhere  $\text{La}_{\text{Blut}}$  bei cBFR im Vergleich zu CON). Allerdings beschränkte sich die aktuelle Diskussion über physiologische Reaktionen auf das BFR-Training im Großteil auf systemischer Ebene (d.h. aus Ableitungen aus den Surrogat-Markern wie z.B. Spiroergometrie oder Biomarker aus dem Blut). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnten wir mittels MD-Technik die akuten lokalen (muskulären) Reaktionen auf die modulierten Trainingsreize durch die BFR quantifizieren. Somit konnte eine zusätzliche Erhöhung der  $\text{La}_{\text{interstitiell}}$  während der cBFR ( $\sim 29\%$  höhere  $\text{La}_{\text{interstitiell}}$  im Vergleich zu CON) festgestellt werden. Dies unterstreicht die verstärkte Beanspruchung des glykolytischen Systems hinsichtlich der intramuskulären Energiebereitstellung durch BFR während einer moderat-intensiven Radbelastung.

Im Gegensatz dazu zeigte sich bei exzentrischer Belastung kein signifikanter Effekt von BFR (eBFR vs. ECC oder CON) auf den metabolischen Stress. Dies steht im Widerspruch zu einer aktuellen Studie, in der höhere  $\text{La}_{\text{Blut}}$  nach einer 30-min exzentrischen Radbelastung mit BFR im Vergleich zu ohne BFR ( $\sim 7$  vs.  $\sim 4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) beobachtet wurde (Peñailillo et al. 2020). Ein möglicher Grund für diese Diskrepanz könnte die Verwendung eines höheren relativen BFR-Drucks in der genannten Studie (60 % vs. 40–50 % LOP) sein, der möglicherweise zu einer stärkeren venösen Okklusion führte. Dies könnte eine reduzierte muskuläre Sauerstoffversorgung und eine verstärkte Akkumulation von Metaboliten bewirken, was den metabolischen Stress entsprechend erhöhen kann (Kilgas et al. 2022). In der vorliegenden Untersuchung wurde zwar eine reduzierte muskuläre Sauerstoffversorgung ( $\sim 4\%$  niedrigere  $\Delta\text{TSI}$ ) bei eBFR im Vergleich zu ECC festgestellt, jedoch liegen die ähnlichen  $\text{La}_{\text{Blut}}$ - und  $\text{La}_{\text{interstitiell}}$ -Werte zwischen den beiden Bedingungen nahe, dass der in dieser Studie angewendete BFR-Druck (40–50 % LOP) nicht ausreichte, um einen verstärkten metabolischen Stress während der exzentrischen Belastung zu induzieren.

Mechanischer und metabolischer Stress sind entscheidende Faktoren für funktionelle und strukturelle Anpassung (z.B. Muskelwachstum) (Dankel et al. 2017; Gonzalez et al. 2016). Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung deuten darauf hin, dass durch die Applikation von BFR und/oder ECC ein verstärkter metabolischer und mechanischer Stress hervorgerufen werden kann, der normalerweise nur bei hohen Belastungsintensitäten während konzentrischer Muskelarbeit und/oder ohne BFR erreicht wird. Diese Erkenntnisse bieten Trainern und Trainerinnen innovative Ansätze für die gezielte Modulierung und Periodisierung mechanischer und metabolischer Trainingsreize, die sowohl für die optimale Trainingssteuerung als auch für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Prävention von Verletzungen genutzt werden können.

## Literatur

- Barreto, Renan Vieira; Lima, Leonardo Coelho Rabello de; Denadai, Benedito Sérgio (2021): Moving forward with backward pedaling: a review on eccentric cycling. In: *European journal of applied physiology* 121 (2), S. 381 – 407. DOI: 10.1007/s00421-020-04548-6.
- Beaven, C. Martyn; Willis, Sarah J.; Cook, Christian J.; Holmberg, Hans-Christer (2014): Physiological comparison of concentric and eccentric arm cycling in males and females. In: *PloS one* 9 (11), e112079. DOI: 10.1371/journal.pone.0112079.
- Christiansen, D.; Murphy, R. M.; Bangsbo, J.; Stathis, C. G.; Bishop, D. J. (2018): Increased FXD1 and PGC-1 $\alpha$  mRNA after blood flow-restricted running is related to fibre type-specific AMPK signalling and oxidative stress in human muscle. In: *Acta physiologica* (Oxford, England) 223 (2), e13045. DOI: 10.1111/apha.13045.
- Clough, Geraldine F.; Jackson, Claire L.; Lee, Jacob J. P.; Jamal, Sarah C.; Church, Martin K. (2007): What can microdialysis tell us about the temporal and spatial generation of cytokines in allergen-induced responses in human skin in vivo? In: *The Journal of investigative dermatology* 127 (12), S. 2799 – 2806. DOI: 10.1038/sj.jid.5700930.
- Corvino, Rogério B.; Rossiter, Harry B.; Loch, Thiago; Martins, Jéssica C.; Caputo, Fabrizio (2017): Physiological responses to interval endurance exercise at different levels of blood flow restriction. In: *European journal of applied physiology* 117 (1), S. 39 – 52. DOI: 10.1007/s00421-016-3497-5.
- Dankel, Scott J.; Mattocks, Kevin T.; Jessee, Matthew B.; Buckner, Samuel L.; Mouser, J. Grant; Loenneke, Jeremy P. (2017): Do metabolites that are produced during resistance exercise enhance muscle hypertrophy? In: *European journal of applied physiology* 117 (11), S. 2125 – 2135. DOI: 10.1007/s00421-017-3690-1.
- Ellis, Rachel; Shields, Nora; Lim, Kwang; Dodd, Karen J. (2015): Eccentric exercise in adults with cardiorespiratory disease: a systematic review. In: *Clinical rehabilitation* 29 (12), S. 1178 – 1197. DOI: 10.1177/0269215515574783.
- Ferguson, Richard A.; Mitchell, Emma A.; Taylor, Conor W.; Bishop, David J.; Christiansen, Danny (2021): Blood-flow-restricted exercise: Strategies for enhancing muscle adaptation and performance in the endurance-trained athlete. In: *Experimental physiology* 106 (4), S. 837 – 860. DOI: 10.1113/EP089280.
- Flück, M.; Hoppeler, H. (2003): Molecular basis of skeletal muscle plasticity – from gene to form and function. In: *Reviews of physiology, biochemistry and pharmacology* 146, S. 159 – 216. DOI: 10.1007/s10254-002-0004-7.
- Franchi, Martino V.; Reeves, Neil D.; Narici, Marco V. (2017): Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. In: *Frontiers in physiology* 8, S. 447. DOI: 10.3389/fphys.2017.00447.
- Gonzalez, Adam M.; Hoffman, Jay R.; Stout, Jeffrey R.; Fukuda, David H.; Willoughby, Darryn S. (2016): Intramuscular Anabolic Signaling and Endocrine Response Following Resistance Exercise: Implications for Muscle Hypertrophy. In: *Sports medicine (Auckland, N. Z.)* 46 (5), S. 671 – 685. DOI: 10.1007/s40279-015-0450-4.

- Hoppeler, Hans (2016): Moderate Load Eccentric Exercise; A Distinct Novel Training Modality. In: *Frontiers in physiology* 7, S. 483. DOI: 10.3389/fphys.2016.00483.
- Hoppeler, Hans; Baum, Oliver; Lurman, Glenn; Mueller, Matthias (2011): Molecular mechanisms of muscle plasticity with exercise. In: *Comprehensive Physiology* 1 (3), S. 1383 – 1412. DOI: 10.1002/cphy.c100042.
- Hotfiel, Thilo; Freiwald, Jürgen; Hoppe, Matthias Wilhelm; Lutter, Christoph; Forst, Raimund; Grim, Casper et al. (2018): Delayed Onset Muscle Soreness – Teil I: Pathogenese und Diagnostik. In: *Sportverletzung Sport-schaden: Organ der Gesellschaft für Ortho-pädisch-Traumatologische Sportmedizin* 32 (4), S. 243 – 250. DOI: 10.1055/a-0753-1884.
- Hughes, Luke; Paton, Bruce; Rosenblatt, Ben; Gissane, Conor; Patterson, Stephen David (2017): Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. In: *British journal of sports medicine* 51 (13), S. 1003 – 1011. DOI: 10.1136/bjsports-2016-097071.
- Kilgas, Matthew A.; Yoon, Tejin; McDaniel, John; Phillips, Kevin C.; Elmer, Steven J. (2022): Physiological Responses to Acute Cycling With Blood Flow Restriction. In: *Frontiers in physiology* 13, S. 800155. DOI: 10.3389/fphys.2022.800155.
- Kuang, Jujiao; McGinley, Cian; Lee, Matthew J-C; Saner, Nicholas J.; Garnham, Andrew; Bishop, David J. (2022): Interpretation of exercise-induced changes in human skeletal muscle mRNA expression depends on the timing of the post-exercise biopsies. In: *PeerJ* 10, e12856. DOI: 10.7717/peerj.12856.
- Lipski, Marcin; Abbiss, Chris R.; Nosaka, Kazunori (2018): Oxygen consumption, rate of perceived exertion and enjoyment in high-intensity interval eccentric cycling. In: *European journal of sport science* 18 (10), S. 1390 – 1397. DOI: 10.1080/17461391.2018.1498131.
- Lott, Mary E. J.; Sinoway, Lawrence I. (2004): What has microdialysis shown us about the metabolic milieu within exercising skeletal muscle? In: *Exercise and sport sciences reviews* 32 (2), S. 69 – 74. DOI: 10.1097/00003677-200404000-00006.
- Lundberg, G.; Olofsson, P.; Ungerstedt, U.; Jansson, E.; Sundberg, C. J. (2002): Lactate concentrations in human skeletal muscle biopsy, microdialysate and venous blood during dynamic exercise under blood flow restriction. In: *Pflugers Archiv: European journal of physiology* 443 (3), S. 458 – 465. DOI: 10.1007/s004240100706.
- MacLean, D. A.; Imadojemu, V. A.; Sinoway, L. I. (2000): Interstitial pH, K(+), lactate, and phosphate determined with MSNA during exercise in humans. In: *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology* 278 (3), R563-71. DOI: 10.1152/ajpregu.2000.278.3.R563.
- Peñailillo, Luis; Santander, Miguel; Zbinden-Foncea, Hermann; Jannas-Vela, Sebastian (2020): Metabolic Demand and Indirect Markers of Muscle Damage After Eccentric Cycling With Blood Flow Restriction. In: *Research quarterly for exercise and sport* 91 (4), S. 705 – 712. DOI: 10.1080/02701367.2019.1699234.
- Peñailillo, Luis; Blazevich, Anthony J.; Nosaka, Kazunori (2017): Factors contributing to lower metabolic demand of eccentric compared with concentric cycling. In: *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 123 (4), S. 884 – 893. DOI: 10.1152/jappphysiol.00536.2016.

Pignanelli, Christopher; Christiansen, Danny; Burr, Jamie F. (2021): Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. In: *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 130 (4), S. 1163 – 1170. DOI: 10.1152/jappphysiol.00982.2020.

Rakobowchuk, Mark; Isacco, Laurie; Ritter, Ophélie; Represas, Alicia González; Bouhaddi, Malika; Degano, Bruno et al. (2018): Muscle Oxygenation Responses to Low-intensity Steady Rate Concentric and Eccentric Cycling. In: *International journal of sports medicine* 39 (3), S. 173 – 180. DOI: 10.1055/s-0043-121272.

Salin, Karine; Auer, Sonya K.; Rey, Benjamin; Selman, Colin; Metcalfe, Neil B. (2015): Variation in the link between oxygen consumption and ATP production, and its relevance for animal performance. In: *Proceedings. Biological sciences* 282 (1812), S. 20151028. DOI: 10.1098/rspb.2015.1028.

Ungerstedt, U. (1991): Microdialysis – principles and applications for studies in animals and man. In: *Journal of internal medicine* 230 (4), S. 365 – 373. DOI: 10.1111/j.1365-2796.1991.tb00459.x.

# Kognitive Einflüsse im Kontext vorderer Kreuzbandverletzungen – eine biomechanische Analyse schneller Richtungswechsel bei Fußballerinnen

AZ 070601/24-25

Clara Ebner<sup>1</sup>, Urs Granacher<sup>1</sup>, Andrea Kiesel<sup>2</sup> & Dominic Gehring<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Sport und Sportwissenschaft, Lehrstuhl Trainings- und Bewegungswissenschaft, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

<sup>2</sup>Institut für Psychologie, Lehrstuhl Allgemeine Psychologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

## Einleitung und Problemstellung

Verletzungen des vorderen Kreuzbands (VKB) sind im Frauenfußball mit etwa 0,7 VKB-Verletzungen pro Team und Saison im Vergleich zu männlichen Fußballern um das 4- bis 6-Fache erhöht und stellen Vereine und Spielerinnen vor große Herausforderungen (Hallén et al., 2024). Bemerkenswert ist dabei, dass Amateur- und Profispielerinnen ähnliche Inzidenzraten aufweisen (Chia et al., 2022).

Das Verständnis biomechanischer Risikofaktoren ist entscheidend für die Entwicklung und Anwendung effektiver Verletzungspräventionsstrategien wie etwa neuromuskuläres Training. Die Mehrheit der VKB-Verletzungen im Frauenfußball tritt ohne Kontakt (54%) oder nach indirektem Kontakt (34%) auf, d.h. ohne eine unmittelbare, externale Krafteinwirkung am verletzten Knie (Lucarno et al., 2021). Diese Verletzungen entstehen meist in komplexen Defensivsituationen, die schnelles Abbremsen und Richtungswechsel (RW) erfordern. Eine Videoanalyse von 29 VKB-Verletzungen im Frauenfußball ergab, dass in 88% der Fälle eine ausgeprägte Knievalgusstellung vorlag, begleitet von Hüftabduktion und zunehmender Hüftinnenrotation ab Beginn des Bodenkontakts (engl. Initial Contact, IC) bis zum Verletzungszeitpunkt (Lucarno et al., 2021). Zudem zeigten Spielerinnen häufig eine laterale Rumpfneigung

zur verletzten Seite sowie eine Rumpfrotation zur unverletzten Gegenseite (Lucarno et al., 2021). Diese Befunde unterstreichen die Bedeutung der Ganzkörperkinematik bei der Untersuchung von VKB-Verletzungsmechanismen.

In den letzten Jahren richtete sich das Forschungsinteresse neben biomechanischen zunehmend auch auf neurokognitive Einflussfaktoren auf das Verletzungsgeschehen. Der Hintergrund für diese innovative Forschungsausrichtung ist, dass VKB-Verletzungen häufig in komplexen Spielsituationen auftreten, in denen Athleten und Athletinnen schnell auf gegnerische Aktionen reagieren müssen, wobei sich der Aufmerksamkeitsfokus weg von der eigenen Bewegung hin zu externen Reizen verschiebt (Gokeler et al., 2024). Dies kann motorische Feedforward-Kontrollstrategien beeinträchtigen, die wichtig sind, um den gesamten Körper und folglich auch das Kniegelenk zu stabilisieren (Gokeler et al., 2021). Da VKB-Verletzungen typischerweise innerhalb von 50 ms nach dem IC auftreten, sind reaktive Schutzmechanismen wie Muskelreflexe oft unzureichend, um das Verletzungsrisiko zu verringern (Krogsgaard et al., 2002). Die Bedeutung neurokognitiver Aspekte für das VKB-Verletzungsgeschehen wird in einem Modell von Hughes und Dai (2021) veranschaulicht (Hughes & Dai, 2021). Im Modell unterscheiden die Autoren zwischen antizipierten (geplanten) und nicht-antizipierten RW, wobei letztere insbesondere von der Anzahl und

Komplexität der Bewegungsoptionen sowie der verfügbaren Reaktionszeit (engl. Available Time to React, ATR) abhängen.

Einige biomechanische Laborstudien konnten bereits zeigen, dass nicht-antizipierte RW mit erhöhten Knieabduktionsmomenten (Giesche et al., 2021), verstärkter lateraler Rumpfneigung (Lee et al., 2013) und einer erhöhten Hüftabduktion und -innenrotation (Bill et al., 2022; Weinhandl et al., 2013) einhergehen. Diese Studien verwendeten jedoch meist artifizielle Stimuli, z.B. Lichtsignale oder Pfeile, um nicht-antizipierte Bedingungen mit zwei oder drei Bewegungsoptionen zu erzeugen. Nur wenige WissenschaftlerInnen nutzen ökologisch valide Testszenarien mit echten GegenspielerInnen in möglichst realen Spielsituationen. Lee et al. (2013) verglichen die Effekte ökologisch valider Stimuli (ein vs. zwei videoanimierte Gegner) mit einem künstlichen Stimulus (Pfeil) bei Fußballern unterschiedlicher Leistungsniveaus (Lee et al., 2013). Die höchsten Knieabduktionsmomente und eine verletzungsassoziierte Rumpfkinematik traten bei den pfeilbasierten RW auf. Interessanterweise zeigten Spieler mit niedrigem Leistungsniveau in der Bedingung mit ökologisch validen Reizen nachteilige biomechanische Bewegungsmuster im Vergleich zu hochklassigen Spielern (Lee et al., 2013). Diese Befunde legen nahe, dass ökologisch valide Reize zur Beurteilung verletzungsassoziierter biomechanischer Bewegungsmuster verwendet werden sollten.

Trotz eines gestiegenen Forschungsinteresses hinsichtlich kognitiver Einflüsse auf das VKB-Risiko gab es bislang keine Studie, die die Effekte progressiv ansteigender kognitiver Anforderungen durch eine systematische Erhöhung der Entscheidungs- und damit Bewegungsoptionen in komplexen Spielsituationen untersuchte. Zudem konzentrierte sich die bisherige Forschung hauptsächlich auf die Knie- und Hüftbiomechanik, während die Ganzkörperbiomechanik, als wesentlicher Bestandteil des Verletzungsmechanismus, häufig unberücksichtigt blieb (Ebner et al., 2025).

Ziel dieser Studie war es daher, den Einfluss progressiv ansteigender kognitiver Anforderungen auf die VKB-assozierte Ganzkörperbiomecha-

nik bei RW im Frauenfußball zu untersuchen. Dafür wurden kognitive Anforderungen über vier Stufen verändert, indem die Anzahl möglicher Bewegungsoptionen in einem fußballspezifischen Laborszenario erhöht wurde. Ein weiteres Ziel war es, den Einfluss der fußballspezifischen Expertise auf die biomechanische Anpassung an die kognitiven Anforderungen in diesem Testszenario zu untersuchen.

## Methodik

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde eine kontrollierte, quasi-experimentelle Laborstudie durchgeführt, in der alle Probandinnen in allen vier Versuchsbedingungen in randomisierter Abfolge getestet wurden.

In die Analyse wurden die biomechanischen Daten von N=29 Fußballerinnen mit unterschiedlichem Leistungsniveau inkludiert. Die Gruppe der Fußball-Expertinnen (FE) (n=15; Alter:  $22,9 \pm 3,8$  Jahre; Körpergröße:  $168,5 \pm 4,7$  cm; Körpermasse:  $63,9 \pm 5,1$  kg) spielte mindestens auf Oberliga-Niveau, hatte durchschnittlich  $14,7 \pm 3,8$  Jahre Spielerfahrung im Verein und trainierte bzw. spielte im Schnitt  $8,1 \pm 5,1$  Stunden pro Woche. Die Gruppe der Fußball-Novizinnen (FN) (n=14; Alter:  $22,5 \pm 1,8$  Jahre; Körpergröße:  $168,6 \pm 5,6$  cm; Körpermasse:  $63,6 \pm 5,6$  kg) hatte maximal ein Jahr Fußball-Erfahrung durch Teilnahme an einem Universitätskurs mit einer wöchentlichen Spielzeit von  $0,5 \pm 0,7$  Stunden. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung waren die Probandinnen frei von muskuloskelettalen Verletzungen. Ein positives Votum der Ethikkommission der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg lag zu Beginn der Studie vor (Aktenzeichen 24-1142-S2) und die Studie wurde im *Open Science Framework (OSF)* prä-registriert (<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/4Z5R8>).

Für die Datenerhebung wurde eine Verteidigungssituation simuliert, in der die jeweilige Probandin RW in Reaktion auf einen realen, ballführenden Gegenspieler durchführte. Die vier experimentellen Bedingungen sind wie folgt charakterisiert (siehe Abbildung 1):

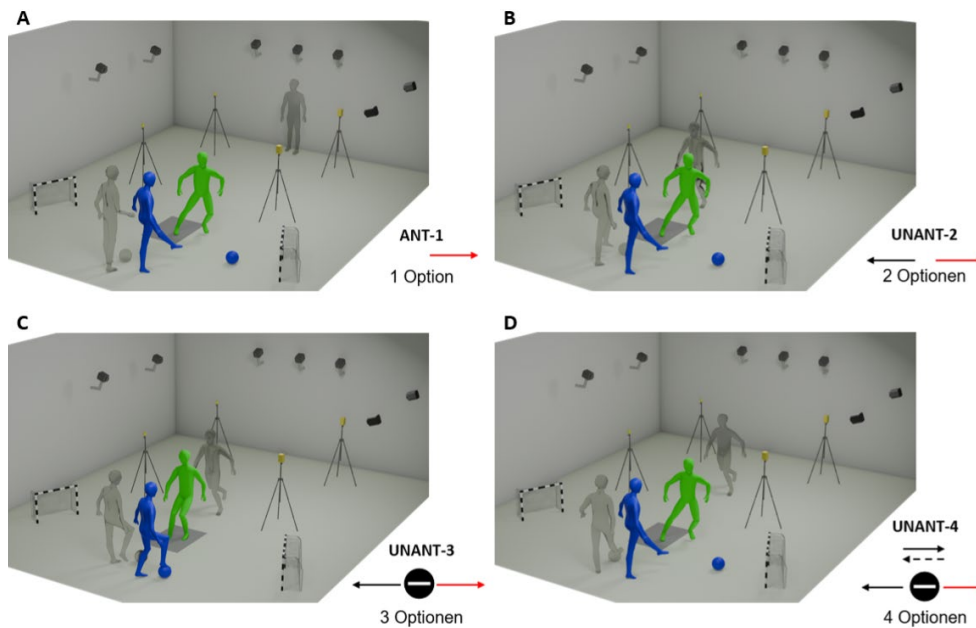


Abb. 1: Darstellung des Versuchsaufbaus und der Versuchsbedingungen. Gegenspieler in Blau, Probandin in Grün.

- (A) ANT-1: antizipierter RW nach rechts oder links. Die Bewegungsrichtung wurde der Probandin vor dem Anlauf durch den Gegenspieler mittels eines Handzeichens vorgegeben, was in einer RW-Option für die Probandin resultierte.
- (B) UNANT-2: nicht antizipierter RW nach rechts oder links und somit mit zwei Bewegungsoptionen. Die Bewegungsrichtung erhielt die Probandin erst zu einem standardisierten Zeitpunkt durch den Ballschuss des Gegenspielers in die entsprechende Richtung.
- (C) UNANT-3: nicht antizipierter RW nach rechts oder links oder Abstopp-Bewegung und somit mit drei Bewegungsoptionen. Der Gegenspieler spielte den Ball entweder nach rechts, links oder stoppte ihn.
- (D) UNANT-4: nicht antizipierter RW mit vier Optionen. Zusätzlich zu den vorherigen Bewegungsoptionen konnte der Gegenspieler noch eine Finte ausführen. Bei der Finte bewegte der Gegenspieler zunächst den Fuß in Richtung des Balls und deutete damit einen Pass in eine Richtung an, bevor er schnell das Standbein wechselte und den Ball auf die entgegengesetzte Seite spielte.

In Anlehnung an eine kürzlich publizierte Meta-Analyse (Ebner et al., 2025), wurde eine ATR zwischen 300 – 600 ms bei einer Anlaufgeschwindigkeit von  $4,0 \pm 0,3$  m/s angestrebt. Die ATR wurde definiert als das Zeitintervall zwischen Ballkontakt durch den Gegenspieler und dem IC des RW-Schrittes der Probandin. Für jede Teilnehmerin wurde nur der 90°-RW in eine Richtung analysiert. Die übrigen Bewegungsoptionen dienten lediglich der Erhöhung der kognitiven Anforderung. Jede Teilnehmerin führte mindestens 14 Versuche pro Bedingung durch, wovon fünf gültige Versuche mit dem Zielbein vorhanden sein mussten.

Die biomechanischen Daten wurden mittels eines 3D-Bewegungsanalysesystems mit 12 Kameras (Vicon Motion Systems Ltd., Oxford, Großbritannien) und einer Kraftmessplatte (AMTI BP600900, Watertown, MA, USA) mit einer Aufnahmefrequenz von 200 Hz bzw. 1000 Hz erfasst. Das Markerset der Probandinnen bestand aus 37 Markern, die an Kopf, Oberkörper, unteren Extremitäten und Schuhen angebracht wurden. Zusätzlich wurden der Gegenspieler mit 18 Markern und der Ball mit drei Markern ausgestattet, um die Initiierung der visuellen Stimuli zu erfassen.



Die kinematischen und kinetischen Daten wurden anschließend in Vicon Nexus bereinigt und gefiltert (Butterworth 4. Ordnung; 20 Hz Tiefpass) und in Matlab (R2022b, The MathWorks Inc.) weiter prozessiert. Zum Zeitpunkt des IC wurden Knieflexions- und Fußprogressionswinkel sowie Becken-, Hüft- und Rumpfwinkel in der Frontal- und Transversalebene extrahiert. Darüber hinaus wurden die Maximalwerte der Knieabduktionswinkel und -momente während der Gewichtsübernahmephase (engl. weight acceptance [WA]) – definiert als die Zeit vom IC bis zur maximalen Knieflexion (Wortchen-Chaudhari et al., 2014) – extrahiert. Um die Reliabilität der Versuchsbedingungen zu kontrollieren, wurden die Anlaufgeschwindigkeit, die  $ATR_{Ball}$  (= IC bis initiale Ballbewegung) sowie die  $ATR_{Opp}$  (= IC bis initiale Gegenspieler-Bewegung) analysiert.

Die statistischen Analysen wurden in R (Version 2023.12.0+369) durchgeführt. Die biomechanischen Daten wurden zunächst für jede Teilnehmerin innerhalb der einzelnen Experimentalbedingungen über fünf gültige Versuche gemittelt. Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test und durch visuelle Inspektion der Q-Q-Plots überprüft. Die Homogenität der Varianz wurde mithilfe des Levene-Tests getestet. Eine gemischte  $4 \times 2$  ANOVA wurde verwendet, um die Auswirkungen des Innersubjektfaktors *Bedingung* (vier Stufen) und des Zwischensubjektfaktors *Expertise* (zwei Stufen) zu untersuchen. Die statistische Signifikanz wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt. Signifikante Haupteffekte und Interaktionen wurden mit gepaarten t-Tests unter Anwendung der Bonferroni-Korrektur weiter analysiert. Die Effektgrößen der ANOVA-Analysen und der gepaarten t-Tests werden als partielles Eta-Quadrat ( $\eta^2$ ) bzw. Cohen's d angegeben. Zusätzlich wurde ein statistischer parametrischer Mapping (SPM)-Ansatz verwendet, um kontinuierliche biomechanische Daten mit dem spm1d-Paket in MATLAB (R2022b, The MathWorks Inc.) zu analysieren. Hierfür wurde eine rmANOVA durchgeführt, um Unterschiede der kontinuierlichen Variablen zwischen den vier Experimentalbedingungen zu untersuchen. Bei signifikanten Ergebnissen wurden paarweise t-Tests mit Bonferroni-Korrektur gerechnet.

## Ergebnisse

Die Anlaufgeschwindigkeit betrug im Mittel  $4,0 \pm 0,3$  m/s. Die  $ATROpp$  lag zwischen  $0,70 \pm 0,06$  s und  $0,75 \pm 0,11$  s, während die  $ATRBall$  deutlich geringer ausfiel mit  $0,34 \pm 0,07$  s bis  $0,41 \pm 0,10$  s. Alle Kontrollparameter zeigten akzeptable, d.h. gute bis exzellente, Reliabilitätswerte zwischen den Bedingungen mit Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICCs) von 0,89 [95 % CI: 0,82; 0,94] für die Anlaufgeschwindigkeit, 0,76 [95 % CI: 0,63; 0,89] für  $ATR_{Opp}$  und 0,79 [95 % CI: 0,68; 0,86] für  $ATR_{Ball}$ .

Für keine der kniegelenksbezogenen diskreten Variablen wurden signifikante Haupteffekte der Bedingung beobachtet. Signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen zeigten sich jedoch für die proximale Gelenk- und Segmentkinematik. Hinsichtlich der Hüft- und Beckenkinematik zum IC konnten signifikante Haupteffekte für die Hüftrotation ( $p=0,034$ ;  $\eta^2=0,101$ ), die frontale Beckenkipfung ( $p=0,004$ ;  $\eta^2=0,149$ ) und die Beckenrotation ( $p=0,012$ ;  $\eta^2=0,125$ ) festgestellt werden (Abbildung 2). Post-hoc-Tests zeigten, dass das Becken in der UNANT-4-Bedingung signifikant weniger in Laufrichtung gekippt und rotiert war als in ANT-1 ( $p=0,006$ ;  $d=-0,686$  bzw.  $p=0,041$ ;  $d=0,543$ ). Ein signifikanter Bedingungseffekt wurde auch für die Rumpfrotation zum IC ( $p < 0,001$ ;  $\eta^2=0,249$ ) festgestellt, wobei der Rumpf in der Bedingung ANT-1 im Vergleich zu UNANT-2 ( $p=0,023$ ;  $d=-0,585$ ), UNANT-3 ( $p=0,002$ ;  $d=-0,745$ ) und UNANT-4 ( $p=0,007$ ;  $d=-0,669$ ) signifikant stärker zum Abdruckbein rotierte (Abbildung 2). Es wurden keine signifikanten Effekte der Bedingung für den Fußprogressionswinkel zum IC gefunden.

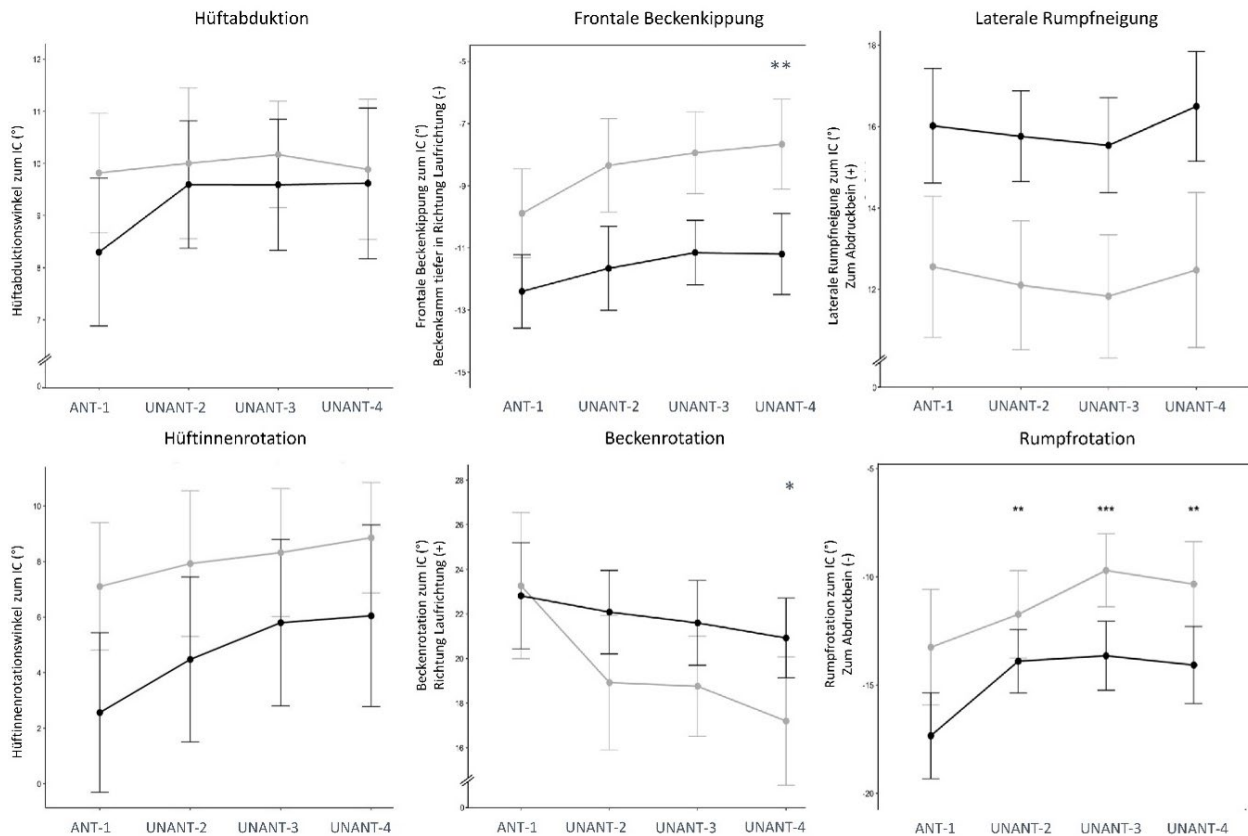


Abb. 2: Hüft-, Becken- und Rumpfkineametik zum Zeitpunkt IC.

Die SPM-Analysen zeigten keine signifikanten Haupteffekte der Bedingung für die Parameter Knieabduktionsmoment und Knieflexionswinkel während der WA. Signifikante Unterschiede in den Knieabduktionswinkeln wurden von 39–48 % der WA gefunden (Abbildung 3,  $p=0,0458$ ;  $F=3,975$ ). Die Bonferroni-korrigierten Post-hoc-Analysen waren jedoch nicht signifikant. Hinsichtlich der Hüftkinematik wurden signifikante Unterschiede für den Hüftabduktionswinkel (63–100 % der WA,  $p=0,035$ ;  $F=3,540$ ) und den Hüftrotationswinkel (8–32 % der WA,  $p=0,032$ ;  $F=3,866$ ) festgestellt (Abbildung 3).

## Diskussion und Ausblick

Entgegen unserer ursprünglichen Hypothesen zeigten sich keine signifikanten Haupteffekte der Versuchsbedingungen auf die Kniegelenksbiomechanik, insbesondere nicht auf VKB-assoziierte Parameter wie Knieabduktionsmoment und Knieflexionswinkel. Ein möglicher Erklärungsan-

satz dafür könnte in der verwendeten ATR liegen. Frühere Studien legen nahe, dass eine ATR von ca. 600 ms notwendig ist, um antizipierte von nicht-antizipierten RW bei einer Anlaufgeschwindigkeit von 4,0 m/s zu unterscheiden. Während die ATR basierend auf der Ballbewegung ( $ATR_{Ball}$ ) im angestrebten Bereich von 300–600 ms lag, betrug die ATR basierend auf der Gegnerbewegung ( $ATR_{Opp}$ ) 700–750 ms. Je nachdem, ob die Probandinnen eher auf die Körperbewegung des Gegenspielers oder auf die Ballbewegung reagierten, variierte die ATR dementsprechend erheblich. Es ist zu vermuten, dass die verlängerte  $ATROpp$  die Effekte der Testbedingungen auf biomechanische Parameter – insbesondere der Kniemechanik – abgeschwächt haben könnte.

Gleichzeitig zeigten sich jedoch sowohl für den Hüftabduktionswinkel während der WA als auch für die Hüftinnenrotation zum Zeitpunkt des IC und der WA signifikante Haupteffekte der Bedingung. Die visuelle Inspektion der kontinuierlichen Kurvenverläufe (Abbildung 3) legt nahe,

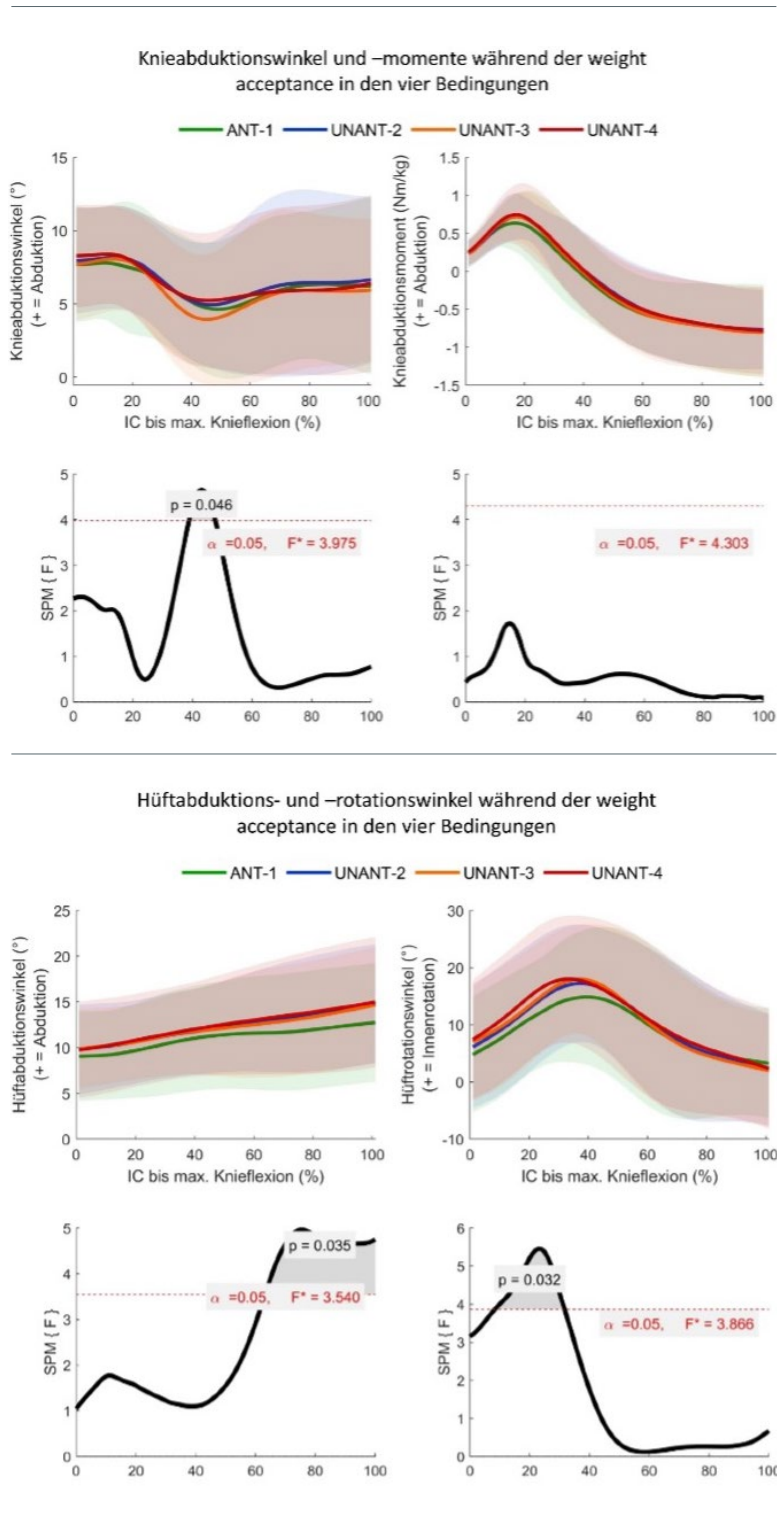


Abb. 3: SPM-Analysen der Kniegelenksmechanik und Hüftkinematik.

dass beide Parameter in den nicht-antizipierten Bedingungen im Vergleich zur antizipierten Bedingung erhöht waren. Diese Ergebnisse decken sich mit früheren Studien (Bill et al., 2022; Cortes et al., 2011) und gewinnen zusätzliche Relevanz im Hinblick auf Videoanalysen von VKB-Verletzungen, in denen eine ausgeprägte Hüftab-

duktion und -innenrotation beobachtet wurde (Lucarno et al., 2021). Da Hüft- und Kniegelenk mechanisch über den Oberschenkelknochen miteinander verbunden sind, können Veränderungen in der Hüftkinematik direkt zu einer veränderten – potenziell ungünstigen – Kniebio-mechanik führen (Powers, 2010).

Auch die Beckenkinematik wurde signifikant durch die kognitive Anforderung beeinflusst. In der kognitiv anspruchsvollsten Bedingung (UNANT-4) war das Becken signifikant weniger seitlich in Richtung der neuen Laufrichtung geneigt, d. h., der Beckenkamm war zur neuen Laufrichtung hin im Vergleich zur ANT-1-Bedingung relativ erhöht. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen einer Studie von Byrne et al. (2022), die zeigte, dass eine stärkere laterale Beckenneigung bei antizipierten RW eine laterale Fußplatzierung begünstigt und damit höhere Abdruckkräfte ermöglicht, während gleichzeitig die Notwendigkeit starker Hüftabduktion reduziert wird (Byrne et al., 2022). Dieser Mechanismus deckt sich mit unseren Befunden einer erhöhten Hüftabduktion während der WA in den nicht-antizipierten Bedingungen. Die reduzierte Beckenrotation in die neue Laufrichtung in der UNANT-4-Bedingung im Vergleich zu ANT-1 deutet außerdem auf eine reduzierte bzw. verzögerte Neuausrichtung in der kognitiv anspruchsvollsten Bedingung hin. Eine verringerte Beckenrotation kann wiederum einen höheren Bedarf an Hüftinnenrotation zur Richtungsänderung erfordern (Donelon et al., 2020). Dieser Zusammenhang wird durch den in unserer Studie beobachteten Haupteffekt der Hüftrotation während der WA gestützt.

Wir fanden keine signifikanten Bedingungs-effekte für die laterale Rumpfneigung, was im Widerspruch zu früheren Studien steht (Lee et al., 2013; Mornieux et al., 2014). Aufgrund der großen Masse des Rumpfes und seines Einflusses auf den Körperschwerpunkt wird angenommen, dass eine laterale Rumpfneigung das externe Knieabduktionsmoment erhöht, indem sie die Bodenreaktionskraft seitlich zum Kniegelenk verschiebt (Donelon et al., 2020). Powers et al. (2010) betonen die Bedeutung proximaler Segmente und Gelenke, insbesondere in der Frontalebene, im Hinblick auf VKB-Verletzungen (Powers, 2010). Demnach könnte das Fehlen signifikanter Effekte auf die laterale Rumpfneigung erklären, warum auch keine signifikanten Effekte für die Knieabduktionsmechanik festgestellt wurden. Darüber hinaus zeichnen sich Rumpf und Hüfte durch einen größeren Bewegungsumfang aus, während das Kniegelenk hin-

sichtlich des physiologischen Bewegungsspielraums in der Frontalebene anatomisch begrenzt ist. Mögliche Effekte steigender kognitiver Anforderungen könnten sich daher vorwiegend an proximalen Gelenken manifestiert haben, während systematische Veränderungen am Kniegelenk möglicherweise zu gering oder durch Messfehler überdeckt wurden.

Wir konnten in dieser Studie keinen Einfluss der fußballspezifischen Expertise auf die untersuchten biomechanischen Variablen feststellen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass sich die Gruppen hinsichtlich ihrer Erfahrung in der Durchführung nicht-antizipierter RW nicht wesentlich unterschieden. Sechs der Teilnehmerinnen der FN spielten Handball (n=3) oder Rugby (n=3). Diese sportartspezifischen Vorerfahrungen könnten zu einer ähnlichen Fähigkeit in der Antizipation gegnerischer Bewegungen wie bei den Fußballerinnen mit hoher Expertise geführt haben.

Obwohl die Stichprobengröße auf einer a priori durchgeführten Power-Analyse basierte, war sie im Hinblick auf die Vielzahl der durchgeführten Unterschiedstests relativ klein, was die statistische Power der Post-hoc-Analysen reduziert haben könnte. Darüber hinaus bleibt aufgrund des ökologisch validen Versuchsaufbaus mit einem realen Gegner die tatsächlich verfügbare Reaktionszeit (ATR) unklar, da sie davon abhing, ob die jeweilige Probandin auf die Ball- oder Gegenspielerbewegung reagierte. Zukünftige Studien könnten diese Einschränkung beispielsweise durch den Einsatz von Eye-Tracking adressieren. Zudem enthielt unser Messaufbau, abgesehen davon, dass der Gegenspieler einen Ball schoss, keine weiteren fußballspezifischen Elemente. Zukünftige Studien, die den Einfluss von Expertise untersuchen, sollten den Versuchsaufbau spezifischer auf die Zielsportart abstimmen, z. B. durch die Einbindung einer sportartspezifischen Aufgabe für die Probandin, wie das Annehmen, Passen oder Dribbeln eines Balls. Auch der Einsatz von Kunstrasen und fußballspezifischem Schuhwerk anstelle eines standardisierten Laborbodens und neutraler Schuhe könnte die Untersuchung des Einflusses von Expertise auf biomechanische Parameter weiter verbessern.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Studie, dass der Einsatz eines ökologisch validen Stimulus – hier eines realen Gegenspielers – eine reliable Möglichkeit darstellt, den Einfluss kognitiver Anforderungen auf biomechanische Variablen während hochdynamischer RW-Bewegungen zu untersuchen. Die beobachteten Veränderungen in der Hüft- und Beckenkinematik unterstreichen die Bedeutung proximaler Bewegungsmuster bei zunehmender Entscheidungsanforderung. Auf Grundlage dieser Befunde empfehlen wir die Integration einer kognitiv fordernden Entscheidungsaufgabe sowie die Analyse der Ganzkörperbiomechanik in Test- und Verletzungspräventionsstrategien, etwa in Form komplexer Richtungswechsel mit realitätsnahen, reaktiven Stimuli. Diese Empfehlung gilt unabhängig vom Expertiseniveau der Athletinnen.

## Literatur

- Bill, K., Mai, P., Willwacher, S., Krosshaug, T., & Kersting, U. G. (2022). Athletes with high knee abduction moments show increased vertical center of mass excursions and knee valgus angles across sport-specific fake-and-cut tasks of different complexities. *Front. Sports Act. Living*, 4. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.983889>
- Byrne, S., Lay, B., Staynor, J., Alderson, J., & Donnelly, C. J. (2022). The effect of planning time on penultimate and ultimate step kinematics and subsequent knee moments during sidestepping. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 32(9), 1366 – 1376. <https://doi.org/10.1111/sms.14194>
- Chia, L., De Oliveira Silva, D., Whalan, M., McKay, M. J., Sullivan, J., Fuller, C. W., & Pappas, E. (2022). Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology in Team-Ball Sports: A Systematic Review with Meta-analysis by Sex, Age, Sport, Participation Level, and Exposure Type. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01697-w>
- Cortes, N., Blount, E., Ringleb, S., & Onate, J. A. (2011). Soccer-specific video simulation for improving movement assessment. *Sports Biomechanics*, 10(1), 22 – 34. <https://doi.org/10.1080/14763141.2010.547591>
- Donelon, T. A., Dos'Santos, T., Pitchers, G., Brown, M., & Jones, P. A. (2020). Biomechanical Determinants of Knee Joint Loads Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading During Cutting: A Systematic Review and Technical Framework. *Sports Medicine – Open*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00276-5>
- Ebner, C., Granacher, U., & Gehring, D. (2025). Effects of Anticipation and Dual-Tasking on Lower Limb Biomechanics While Performing Change-of-Direction Tasks in Physically Active Individuals: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 55, 857 – 876. <https://doi.org/10.1007/s40279-025-02182-w>
- Giesche, F., Stief, F., Groneberg, D. A., & Wilke, J. (2021). Effect of unplanned athletic movement on knee mechanics: A systematic review with multilevel meta-analysis. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 55, Issue 23, pp. 1366 – 1378). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-103933>
- Gokeler, A., Benjaminse, A., Della Villa, F., Tosarelli, F., Verhagen, E., & Baumeister, J. (2021). Anterior cruciate ligament injury mechanisms through a neurocognition lens: Implications for injury screening. In *BMJ Open Sport and Exercise Medicine* (Vol. 7, Issue 2). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001091>

- Gokeler, A., Tosarelli, F., Buckthorpe, M., & Della Villa, F. (2024). Neurocognitive Errors and Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Male Soccer Players. *Journal of Athletic Training*, 59(3), 262 – 269. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0209.22>
- Hallén, A., Tomás, R., Ekstrand, J., Bengtsson, H., Van den Steen, E., Hägglund, M., & Waldén, M. (2024). UEFA Women's Elite Club Injury Study: a prospective study on 1527 injuries over four consecutive seasons 2018/2019 to 2021/2022 reveals thigh muscle injuries to be most common and ACL injuries most burdensome. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-107133>
- Hughes, G., & Dai, B. (2021). The influence of decision making and divided attention on lower limb biomechanics associated with anterior cruciate ligament injury: a narrative review. *Sports Biomechanics*. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1898671>
- Krogsgaard, M. R., Dyhre-Poulsen, P., & Fischer-Rasmussen, T. (2002). Cruciate ligament reflexes. In *Journal of Electromyography and Kinesiology* (Vol. 12). [www.elsevier.com/locate/jelekin](http://www.elsevier.com/locate/jelekin)
- Lee, M. J. C., Lloyd, D. G., Lay, B. S., Bourke, P. D., & Alderson, J. A. (2013). Effects of different visual stimuli on postures and knee moments during sidestepping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(9), 1740 – 1748. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318290c28a>
- Lucarno, S., Zago, M., Buckthorpe, M., Grassi, A., Tosarelli, F., Smith, R., & Della Villa, F. (2021). Systematic Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Female Soccer Players. *American Journal of Sports Medicine*, 49(7), 1794 – 1802. <https://doi.org/10.1177/03635465211008169>
- Mornieux, G., Gehring, D., Furst, P., & Gollhofer, A. (2014). Anticipatory postural adjustments during cutting manoeuvres in football and their consequences for knee injury risk. *Journal of Sports Sciences*, 32(13), 1255 – 1262. <https://doi.org/10.1080/002640414.2013.876508>
- Powers, C. M. (2010). The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: A bio-mechanical perspective. In *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* (Vol. 40, Issue 2, pp. 42 – 51). Movement Science Media. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3337>
- Weinhandl, J. T., Earl-Boehm, J. E., Ebersole, K. T., Huddleston, W. E., Armstrong, B. S. R., & O'Connor, K. M. (2013). Anticipatory effects on anterior cruciate ligament loading during sidestep cutting. *Clinical Biomechanics*, 28(6), 655 – 663. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.06.001>
- Worthen-Chaudhari, L., Bing, J., Schmiedeler, J. P., & Basso, D. M. (2014). A new look at an old problem: Defining weight acceptance in human walking. *Gait and Posture*, 39(1), 588 – 592. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.09.012>

# XR als Trainingsmethode im Golf: Visuelle und taktile Rückmeldung zur Bewegungsoptimierung

AZ 070803/23-24

Univ.-Prof. Dr. Stefanie Klatt & Dr. Mai Geisen

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik,  
Abteilung Kognitions- und Sportspielforschung

## 1 Problem

Das Projekt der Deutschen Sporthochschule Köln (DSHS) in Kooperation mit dem Deutschen Golf Verband (DGV) hatte zum Ziel, eine golf-spezifische Bewegung mithilfe moderner Technologie zu optimieren. Besonders die präzise Steuerung der Handgelenksbewegung im Pitch stellt für Spielerinnen und Spieler eine Herausforderung dar. Durch den Einsatz innovativer Technologien sollten effektive Lösungen für visuelles und taktiles Feedback entwickelt werden, um das motorische Lernen zu fördern bzw. zu unterstützen.

Rückmeldungen durch menschliche Expertinnen und Experten oder technische Systeme können motorisches Lernen positiv beeinflussen (Sigrüst et al., 2013). Extended-Reality-(XR)-Systeme ermöglichen es Lernenden, über Brillen während der Bewegungsausführung visuelle Rückmeldung zu erhalten, die zur Wahrnehmung von Fehlern im motorischen Lernen beitragen (Davaris et al., 2019; Kaplan et al., 2020). Im Rahmen des Projekts sollten Nachwuchsathletinnen und -athleten im Golf durch den Einsatz sensorischer Feedbackmethoden dabei unterstützt werden, notwendige Korrekturen in ihrer Bewegungsausführung wahrzunehmen und eine gezielte Bewegungsausführung zu erlernen. Neben der visuellen Rückmeldung mittels XR wurde auch taktile Rückmeldung fokussiert. Der Tastsinn, eng verknüpft mit propriozeptiven und kinästhetischen Systemen, ermöglicht das Erfassen von Körperpositionen (Breda et al., 2017).

Studien haben ergeben, dass taktile Signale zur Bewegungspräzision beitragen können (Ewerton et al., 2018). Sportartspezifische Anwendungen könnten die Genauigkeit motorischer Abläufe weiter steigern.

Im Projektverlauf erwies sich die gleichzeitige Bereitstellung von visuellem und taktilem Feedback in Echtzeit als technische Herausforderung. Zur Diskussion in der Scientific Community, insbesondere im Bereich technologiegestützten Lernens, wurde ein Konzept für eine internationale Konferenz entwickelt (Geisen et al., 2024), das die programmiertechnische Integration beider Systeme beschreibt. In Abstimmung mit dem DGV wurde der Schwerpunkt auf das XR-basiertes visuelle Feedback-Tool gelegt. Das Echtzeit-Feedback zur Handgelenksbewegung beim 50-Meter-Pitch erwies sich als vielversprechende alternative Trainingsmethode, da es trotz der visuellen Neuinformationen und des Tragens einer XR-Brille bereits nach kurzer Zeit das motorische Lernen förderte. Qualitative Interviews und Fragebogenerhebungen bestätigten die Benutzerfreundlichkeit sowie positive Trainingserfahrungen. Das Projekt liefert wertvolle Erkenntnisse zur Nutzung innovativer Technologien im Golfsport, während das Konzept für zusätzliches taktiles Feedback eine Grundlage für zukünftige Entwicklungen bildet.

## 2 Methode

### 2.1 Entwicklung Trainingsmethode

#### (1) Erfassung der Zielbewegung

Im Rahmen der Trainingsmethode sollte eine möglichst genaue Erfassung der gezielten Bewegungsleistung für die spätere Feedbackgenerierung realisiert werden. Die Kadertrainerin der am Forschungsprojekt teilnehmenden Nachwuchsathletinnen und -athleten wurde vom DGV als qualifizierte Expertin eingesetzt, und ihr Pitch diente als Referenzbewegung. Zur Einführung in die Bewegungsaufgabe wurde ein Instruktionsvideo erstellt, in dem die Kadertrainerin die Zielbewegung demonstrierte und die wichtigsten Komponenten des Pitches verbal erläuterte.

Der HackMotion-Sensor für das Handgelenk erfasste Daten zur Flexion und Extension sowie zur ulnaren und radialen Bewegung des Handgelenks. Dabei wurden Informationen zur Schlägerposition in den Phasen Address (Ausgangsposition), Top (höchster Punkt des Golfschwungs) und Impact (Treffmoment) generiert. Die HackMotion iOS-App diente der Speicherung und Analyse der erfassten Daten. In dieser Studie wurde das führende, linke Handgelenk der Kadertrainerin aufgezeichnet. Zusätzlich wurde eine 2D-Aufzeichnung der Ganzkörperbewegung vorgenommen, um die Handgelenksbewegung mit der Gesamtbewegung während des Schwungs zeitlich abstimmen zu können.

#### (2) Bereitstellung der Zielbewegung

Die Zielbewegung wurde über eine XR-Brille (Microsoft HoloLens 2) visuell dargestellt. Das Training begann mit der Präsentation des Instruktionsvideos. Dabei wurde das Video über XR in das Sichtfeld der Spielerinnen und Spieler projiziert, sodass diese sowohl die reale Trainingsumgebung als auch zeitgleich das Instruktionsvideo sehen konnten.

Die Trainingsmethode nutzte die Handgelenksbewegungsdaten der Kadertrainerin, um daraus ein 3D-Handmodell zur Echtzeit-Darstellung

per XR zu entwickeln. Zur Erstellung des Modells wurden die Daten zur Flexion, Extension sowie zur ulnaren und radialen Bewegung frame-by-frame in Blender (Open-Source-Software) integriert. Das Handmodell wurde anschließend in Unity (Entwicklungsplattform) importiert. Unity, in Kombination mit Visual Studio (Entwicklungsumgebung), diente der Programmierung und Strukturierung der visuellen Komponenten der Trainingsmethode (Handmodell, 2D-Ganzkörpervideo, schriftliche Instruktionen), um diese schließlich in die XR-Umgebung zu übertragen.

Die Trainingsmethode wurde so gestaltet, dass eine Trainingssequenz aus der Beobachtung von zehn Pitches und der Ausführung weiterer zehn Pitches bestand. Beim Erlernen komplexer Fertigkeiten werden motorische Aufgaben meist zunächst in reduzierter Geschwindigkeit ausgeführt, um sich schrittweise an die Zielgeschwindigkeit anzunähern (Moon, 2022). Daher wurden in der neuen Trainingsmethode beide zeitlichen Repräsentationen der Zielbewegung dargestellt. Die reduzierte Geschwindigkeit („in Zeitlupe“) ergab sich aus der Hälfte der gezielten Geschwindigkeit der Kadertrainerin („normale Geschwindigkeit“). Abbildung 1 zeigt links eine Nachwuchsathletin, während sie die XR-Brille trägt und die Pitch-Bewegung ausführt, und rechts die Sicht aus der XR-Brille.

#### Erfassung weiterer Leistungsparameter

Der Launch Monitor Rapsodo® MLM2PRO™ wurde in die Studie integriert, um zusätzliche Leistungsparameter zu messen, darunter Schlagweite, Ball- und Schlägerkopfgeschwindigkeit sowie Abschlagwinkel. Das System wurde ca. 8 Fuß rechts von den Nachwuchsathletinnen und -athleten positioniert und erfasste den gesamten Schlag samt Ballflugbahn. Die zugehörige Android-App diente der Datenspeicherung und -analyse.

### 2.2 Datenerhebung

#### Stichprobe

Insgesamt nahmen 20 Testpersonen an der Studie teil. Vollständige Datensätze über alle vier Messzeitpunkte lagen letztendlich für





Abb. 1: Nachwuchsathletin mit XR-Brille während der Pitch-Bewegung (links) und XR-Anzeige zur optimierten Handgelenksbewegung (rechts).

7 Nachwuchsathletinnen und 6 Nachwuchsathleten mit einem Durchschnittsalter von  $15,77 \pm 1,64$  Jahren vor. Alle Testpersonen waren zum Zeitpunkt der Datenerhebung entweder einem Landeskader, einem Spitzenkader oder der professionellen Golfszene zugeordnet. Die Testpersonen hatten keine Erfahrung mit XR und konnten sich vor der ersten Nutzung mit der Methode vertraut machen. Die Ethikkommission der DSHS Köln genehmigte die Studie (019/2024). Alle Testpersonen unterzeichneten eine schriftliche Einverständniserklärung.

### Studiendesign

Die Studie wurde auf den Driving Ranges des Kölner Golfclubs und Golfclubs Hösel durchgeführt und umfasste vier Termine inklusive Trainings und Leistungstests. Beim ersten Termin fanden ein Prätest und eine Trainingseinheit statt, während der zweite und dritte Termin für Trainingseinheiten genutzt wurde. Der vierte Termin beinhaltete den Posttest und den Follow-up-Posttest. Die Langzeitmessung dauerte ca. drei Monate, während die Kurzzeitmessung den Posttest und den Follow-up-Posttest am selben Tag umfasste. Die Termine wurden an die individuellen Trainings- und Wettkampfpläne der Athletinnen und Athleten angepasst und dauerten je nach Gruppe 15–45 Minuten.

### Training

Die Testpersonen wurden randomisiert in eine XR-Gruppe ( $n = 9$ ) und Kontrollgruppe ( $n = 4$ ) aufgeteilt. Die XR-Gruppe trainierte mit der XR-Brille, die Kontrollgruppe schaute sich ausschließlich das Instruktionsvideo an. Beide Gruppen absolvierten während jeder Trainingseinheit 30 Pitches über 50 m. Die XR-Gruppe kombinierte das Training mit und ohne Brille, um den Transfer der erlernten Handgelenksbewegung in ihr gewohntes Training zu unterstützen. Das Training umfasste neben den zehn zu beobachtenden Pitches (fünf Pitches bei langsamer und fünf bei normaler Geschwindigkeit) die Ausführung von zehn Pitches (fünf Pitches bei langsamer und fünf bei normaler Geschwindigkeit). Danach führte die XR-Gruppe fünf Pitches ohne Brille durch, setzte diese erneut auf und wiederholte die Methode inklusive weiterer fünf Pitches ohne Brille. Die Kontrollgruppe führte 30 Pitches ohne technische Hilfsmittel aus, nachdem das Instruktionsvideo abgespielt wurde.

### Leistungstests

Zur Ermittlung der Lernergebnisse absolvierten alle TeilnehmerInnen einen Prätest, Posttest und Follow-up-Posttest. In jedem Test wurden 30 Pitches durchgeführt. HackMotion zeichnete die Handgelenksbewegungen auf, die über die HackMotion iOS-App analysiert und so mit dem Soll-Wert der Kadertrainerin verglichen werden

konnten. Leistungsdaten wie Schlagweite, Ballgeschwindigkeit, Abschlagwinkel und Schlägerkopfgeschwindigkeit wurden vom Rapsodo®-System erfasst und über die Android-App MLM2PRO ausgewertet. Diese Daten dienten ebenfalls dem Vergleich mit den Werten der Kadertrainerin.

### System-Gebrauchstauglichkeit

Am Ende des letzten Termins füllte die XR-Gruppe den System-Gebrauchstauglichkeits-Fragebogen (SUS) aus. Dieser bewertet die Nutzbarkeit von Systemen hinsichtlich Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit. Es wurde die deutsche Version des SUS (Rummel & Ruegenhagen, 2016) verwendet.

### Kurzinterview (schriftlich)

Zuletzt stellte die Testleiterin der XR-Gruppe zwei abschließende Fragen zur Anwendung der Trainingsmethode: (1) Wie war dein grundsätzliches Erlebnis/Empfinden beim XR-gestützten Training? Hast du Anwendungen für die zukünftige Nutzung der neuartigen Trainingsmethode im Golf? (2) Wie schätzt du deine eigene Leistung in Bezug auf die Handgelenksbewegung ein? Denkst du, dass du dich verbessert/angepasst hast? Die Athletinnen und Athleten gaben ihre Antworten in schriftlicher Form auf einem Antwortbogen an.

## 2.3 Auswertung

Die HackMotion-Daten der Testpersonen wurden zur Abweichung in der Flexion, Extension (FE) und ulnaren, radialen Bewegung des Handgelenks (UR) während Address (Add), Top und Impact (Imp) von den HackMotion-Daten der Kadertrainerin untersucht. Für jede der sechs Variablen – FE-Add, FE-Top, FE-Imp, UR-Add, UR-Top, UR-Imp – wurden die Mittelwerte der 30 Pitches berechnet und Abweichungen vom Sollwert ermittelt. Für die Rapsodo®-Daten zur Schlagweite, Ballgeschwindigkeit, Abschlagwinkel und Schlägerkopfgeschwindigkeit wurden die Mittelwerte aus allen 30 Pitches berechnet und die Abweichungen von den Sollwerten er-

mittelt. Zur Analyse der Leistungsunterschiede vor und nach dem Langzeittraining sowie vor und nach dem Kurzzeittraining wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) durchgeführt. Interaktionseffekte des „Messzeitpunkts“ (Prätest, Posttest, Follow-up-Posttest) und „Gruppe“ (XR-Gruppe, Kontrollgruppe) wurden ermittelt. Die Effektgrößen wurden mit Eta-Quadrat ( $\eta^2$ ) berechnet und nach Cohen (1988) interpretiert.

Die SUS-Antworten wurden nach dem Verfahren von Brooke et al. (1996) berechnet und für jede Testperson der XR-Gruppe eine SUS-Punktzahl ermittelt, resultierend in einem Gesamtgruppenwert. Zur Auswertung der Interview-Antworten wurde eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) angewendet. Es wurden paraphrasierte Aussagen übergreifenden Kategorien zugeordnet. Dann wurden ähnliche Aussagen reduziert und zusammengefasst.

## 3 Ergebnisse

In beiden Gruppen näherten sich die Spielerinnen und Spieler in *FW-Add* der Zielbewegung der Kadertrainerin vom Prätest bis zum Posttest an – die XR-Gruppe um 8,25° und die Kontrollgruppe um 2,06°. Vom Posttest bis zum Follow-up-Posttest wich die XR-Gruppe um 3,34° von der Zielbewegung ab, während sich die Kontrollgruppe um 1,19° weiter annäherte. Es konnten keine signifikanten Interaktionseffekte für den Messzeitpunkt und die Gruppe festgestellt werden ( $p > .05$ ).

Bei *FE-Top* zeigte sich in beiden Gruppen eine Anpassung vom Prätest zum Posttest – bei der XR-Gruppe um 5,23° und bei der Kontrollgruppe um 2,03°. Vom Posttest bis zum Follow-up-Posttest passte sich die XR-Gruppe um 3,33° und die Kontrollgruppe um 3,71° an. Es konnten keine signifikanten Interaktionseffekte festgestellt werden. Bei den paarweisen Vergleichen (Bonferroniadjustierte Post-hoc-Analyse) zeigte sich in der XR-Gruppe ein signifikanter Unterschied ( $p=.44$ ) zwischen Prätest und Follow-up-Posttest ( $M_{\text{Diff}} = 8.55, 95\% \text{-CI} [-16.91, -0.2]$ ).

Die Ergebnisse für *FE-Imp* zeigten eine Anpassung in beiden Gruppen vom Prätest zum Posttest – bei der XR-Gruppe waren es 6,23° und bei der Kontrollgruppe 6,94°. Vom Posttest bis zum Follow-up-Posttest zeigte sich eine leichte Vergrößerung der Abweichung von der Zielbewegung in beiden Gruppen – in der XR-Gruppe um 0,15° und in der Kontrollgruppe um 1,01°. Auch hier konnten keine signifikanten Interaktionseffekte festgestellt werden.

In Bezug auf *UR-Add* zeigte die Kontrollgruppe eine Anpassung von 0,82° vom Prätest bis zum Posttest. Die XR-Gruppe vergrößerte hingegen ihre Abweichung von der Zielbewegung in diesem Zeitraum um 5,67°, konnte diese jedoch vom Posttest bis zum Follow-up-Posttest um 2,15° reduzieren. Die Kontrollgruppe wies eine größere Abweichung von der Zielbewegung, die sich vom Posttest bis zum Follow-up-Posttest um 2,1° vergrößerte. Es wurden keine signifikanten Interaktionseffekte gefunden.

Bei *UR-Top* zeigte sich in der XR-Gruppe eine Anpassung von 2,75° vom Prätest bis zum Posttest sowie eine geringfügige Anpassung von 0,13° vom Posttest bis zum Follow-up-Posttest. In der Kontrollgruppe vergrößerte sich die Abweichung hingegen um 2,71° vom Prätest bis zum Posttest und um 3,16° vom Posttest bis Follow-up-Posttest. Es ergaben sich keine signifikanten Interaktionseffekte.

In Bezug auf *UR-Imp* passte die XR-Gruppe ihre Leistung vom Prätest bis Posttest um 0,22° an und vom Posttest bis zum Follow-up-Posttest um weitere 1,35°. Die Abweichung der Kontrollgruppe vergrößerte sich vom Prätest bis zum Posttest um 2,41°. Vom Posttest bis Follow-up-Posttest reduzierte sich diese Abweichung um 0,74°. Auch hier wurden keine signifikanten Interaktionseffekte festgestellt.

Zur *Schlagweite* zeigte sich eine zunehmende Abweichung der XR-Gruppe von der geschlagenen Distanz der Kadertrainerin vom Prätest bis Posttest (1,96 m). Die Kontrollgruppe passte ihre Leistung um 0,5 m an. Vom Posttest bis Follow-up-Posttest näherte sich die XR-Gruppe um

1,08 m und die Kontrollgruppe um 1,28 m der Zieldistanz an. Es wurden keine signifikanten Interaktionseffekte festgestellt. Bezüglich der *Ballgeschwindigkeit* vergrößerte die XR-Gruppe ihre Abweichung zum Sollwert vom Prätest zum Posttest um 0,12 km/h und vom Posttest zum Follow-up-Posttest um 1,8 km/h. Die Kontrollgruppe näherte sich der Zielleistung vom Prätest zum Posttest um 1,32 km/h an. Vom Posttest zum Follow-up-Posttest vergrößerte sich die Abweichung der Kontrollgruppe um 0,1 km/h. Es konnten keine signifikanten Interaktionseffekte festgestellt werden. Die Ergebnisse zum *Abschlagwinkel* ergaben für die XR-Gruppe eine Anpassung vom Prätest zum Posttest um 0,11° und vom Posttest zum Follow-up-Posttest um 1,1°. Für die Kontrollgruppe ergab sich eine um 5,33° vergrößerte Abweichung von der Zielleistung vom Prätest zum Posttest sowie eine Anpassung vom Posttest zum Follow-up-Posttest um 1,71°. Es konnten signifikante Interaktionseffekte zwischen Messzeitpunkt und Gruppe festgestellt werden,  $F(2,22)=4,807$ ,  $p=.019$ ,  $\eta^2=.304$ . Es ergaben sich keine signifikanten Gruppenunterschiede zu den einzelnen Messzeitpunkten und keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten innerhalb der Gruppen. In Bezug auf die *Schlägerkopfgeschwindigkeit* zeigte sich eine Anpassung vom Prätest bis Posttest in beiden Gruppen: XR-Gruppe=0,8 km/h und Kontrollgruppe=4,55 km/h. Vom Posttest zum Follow-up-Posttest vergrößerten beide Gruppen die Abweichung: XR-Gruppe=0,3 km/h und Kontrollgruppe=3,41 km/h. Es wurden keine signifikanten Interaktionseffekte festgestellt.

Der SUS-Wert der XR-Gruppe ergab  $74,7 \pm 7,5\%$  auf einer Skala von 0–100 %. Die qualitative Inhaltsanalyse identifizierte elf Kategorien zu den Interview-Antworten (Abbildung 2). Am häufigsten wurden die wahrgenommene Bewegungsverbesserung, die positive Erfahrung, die Vorstellbarkeit der Anwendung im regulären Training und die einfache System-Anwendung genannt.

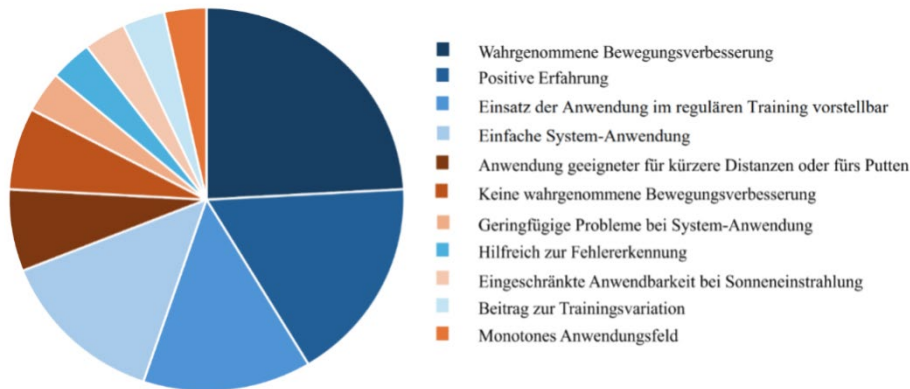


Abb. 2: Interview-Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse. Es wurden elf Kategorien identifiziert, welche die Inhalte der Antworten der Golfspielerinnen und -spieler zusammenfassen.

## 4 Diskussion

### Praktische Implikationen

**Potenzial der XR-gestützten Trainingsmethode:** Die Ergebnisse zeigen, dass sich die XR-Gruppe mindestens vergleichbar mit der Kontrollgruppe der Zielbewegung annähern konnte bzw. in bestimmten Bewegungsparametern (z. B. *FE-Add* und *FE-Top*) eine größere Verbesserung aufwies. Dies gelang, obwohl die Spielerinnen und Spieler zuvor keine Erfahrung mit dieser Technologie hatten und zusätzlich visuelle Neuinformationen verarbeiten mussten. Trotz der dadurch erhöhten kognitiven Belastung (Cognitive Load Theory, Sweller, 2011) näherten sich die Testpersonen der Zielbewegung bereits nach kurzer Zeit an. Dies unterstreicht das Potenzial von XR, spezifische Bewegungsmuster schon nach wenigen Trainingseinheiten zu optimieren.

**Individualisierung des Trainings:** Die unterschiedliche Ausprägung der Anpassungen in den Bewegungsparametern zwischen den Gruppen und innerhalb der Messzeitpunkte deutet darauf hin, dass individualisierte Trainingspläne von Vorteil sein könnten. XR-Technologien bieten durch personalisierte und unmittelbare Rückmeldungen eine effektive Möglichkeit, Trainingsinhalte an spezifische Bedürfnisse von Athletinnen und Athleten anzupassen.

### Integration von Technologie in das reguläre Training:

Die hohe Benutzerfreundlichkeit des XR-Systems (SUS-Score=74,7 %) sowie die positiven Rückmeldungen der Testpersonen zur Bedienbarkeit und wahrgenommenen Bewegungsverbesserung sprechen dafür, XR-Technologien verstärkt in das reguläre Training einzubinden. Insbesondere in der Nachwuchsförderung könnte das XR-Training, neben den bekannten Methoden, als ein innovativer Ansatz zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit eingesetzt werden.

### Nutzung für weitere Leistungsparameter:

Die Erkenntnisse zur Schlagweite, Ballgeschwindigkeit, Abschlagwinkel und Schlägerkopfgeschwindigkeit zeigen, dass die neue Trainingsmethode nicht nur im hauptsächlich untersuchten Kontext der Handgelenksbewegung, sondern auch hinsichtlich weiterer mit der Bewegungsaufgabe verbundener Leistungsfaktoren mindestens vergleichbare Lernergebnisse wie das bewährte Training der Kontrollgruppe erzielte.

Innovative Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz von XR-Technologie in der sportlichen Leistungsentwicklung ergeben, werden deutlich. Dennoch gilt es zu betonen, dass weitere Forschung notwendig ist, um den langfristigen Nutzen und die optimale Integration solcher Technologien in die golfspezifische Trainingspraxis zu untersuchen. Weitere Optimierungen der Trainingsmethode sind nötig, um eine breite Akzeptanz und Anwendung zu erzielen.

## Transfer

Im Rahmen des Projekts wurden die entwickelten sensorischen Feedbackansätze praxisnah in den Golfsport übertragen. Ein Workshop an der DSHS Köln, organisiert im Rahmen der Ausbildung von Golftrainerinnen und -trainern (Trainerakademie Köln des DOSBs), vermittelte die innovativen Trainingsmethoden direkt an angehende Trainerinnen und Trainer. Die Kadertrainerin, deren Bewegung als Zielbewegung diente, bestätigte nach der Studie eine positive Entwicklung der Nachwuchsathletinnen und Nachwuchsathleten, was das Potenzial der Methode im Leistungssport unterstreicht. Die Projektergebnisse wurden auf dem 8. Jugendgolf-Kongress 2024 in Paderborn präsentiert, wo ein intensiver Austausch mit Trainerinnen und Trainern stattfand, die großes Interesse am technologiegestützten Training zeigten. Zudem wurde ein neues Handbuch für Trainerinnen und Trainer des DGVs erstellt, welches die Projektergebnisse zusammenfasst und eine Grundlage für die Integration innovativer Trainingsmethoden im Golfsport bietet. Die Ergebnisse werden innerhalb von Artikeln wissenschaftlicher Zeitschriften veröffentlicht. Das Konzept für ein taktilen Feedbacksystem, welches gezielte Handgelenkbewegungen in Echtzeit signalisiert, wurde auf einer internationalen Konferenz vorgestellt und bildet die Grundlage für künftige Forschung (Geisen et al., 2024). Durch diese Transfermaßnahmen wird die nachhaltige Verwertung der Projektergebnisse im Leistungssport und der Scientific Community sichergestellt.

## Literatur

- Breda, E., Verwulgen, S., Saeys, W., Wuyts, K., Peeters, T., & Truijten, S. (2017). Vibrotactile feedback as a tool to improve motor learning and sports performance: A systematic review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 3.
- Brooke, J. (2013). SUS: A retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29–40.
- Brooke, J. (1996). SUS: A 'quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (1st ed., pp. 189–194). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429157011>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2<sup>nd</sup> ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Davaris, M., Wijewickrema, S., Zhou, Y., Piromchai, P., Bailey, J., Kennedy, G., & O'Leary, S. (2019). The importance of automated realtime performance feedback in virtual reality temporal bone surgery training. In S. Isotani, E. Millán, A. Ogan, P. Hastings, B. McLaren, R. Luckin (Eds.), *Artificial Intelligence in Education. Lecture Notes in Computer Science*, 11625. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23204-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23204-7_9)
- Ewerton, M., Rother, D., Weimar, J., Kollegger, G., Wiemeyer, J., Peters, J. & Maeda, G. (2018). Assisting movement training and execution with visual and haptic feedback. *Frontiers in Neurorobotics*, 12, 24. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2018.00024>

- Geisen, M., Samanta, A., Mat Sanusi, K. A., Duong-Trung, N., Kravcik, M., & Klatt, S. (2024). Visual and tactile information provision in golf: Conceptualization of a training application incorporating wearable devices and extended reality. *Proceedings of the 21st International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*. <https://doi.org/10.1109/ITHET61869.2024.10837636>
- Hirtz, P. & Hummel, A. (2003). Motorisches Lernen im Sportunterricht. *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre*. Münster: Hofmann Verlag.
- Kaplan, A. D., Cruik, J., Endsley, M. R., Beers, S. M., Sawyer, B. D., & Hancock, P. A. (2020). The effects of virtual reality, augmented reality, and mixed reality as training enhancement methods: A metaanalysis. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1. <https://doi.org/10.1177/0018720820904229>
- Katz, L., Parker, J., Treyman, H., Kopp, G., Levy, R., & Chang, E. (2006). Virtual reality in sport and wellness: Promise and reality. *International Journal of Computer Science in Sport*, 4, 4 – 16.
- Kelly, P., Healy, A. Moran, K., & O'Connor, N. E. (2010). A virtual coaching environment for improving golf swing technique. *Proceedings of the 2010 ACM workshop on Surreal media and virtual cloning*, 51 – 56. <https://doi.org/10.1145/1878083.1878098>
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12<sup>th</sup> ed.). Beltz Pädagogik.
- Moon, J. (2022). Connecting sport coaching, physical education, and motor learning to enhance pedagogical practices. *Journal of Physical Education and Sport*, 22(1), 3 – 12. <https://doi.org/10.7752/jpes.2022.01001>
- Rummel, B. & Ruegenhagen, E. (2013). Fragebogen zur Systemgebrauchstauglichkeit. System Usability Scale (Translation into German). Abgerufen am 23.08.2021, von <https://experience.sap.com/skillup/system-usability-scale-jetzt-auch-auf-deutsch/>.
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20, 21 – 53.
- Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. In B. H. Ross (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 55, pp. 37 – 76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>

## 2 Sozial- und Verhaltenswissenschaft



# Talentsuche im paralympischen Sport (*ParaTalent*)

AZ 070402/22-24

Prof. Dr. Sabine Radtke (Projektleitung) & Alina Vogel

Universität Paderborn, Department Sport & Gesundheit, AB Inklusion im Sport

## 1 Problem

Zur Umsetzung der Talentsuche im Para Sport verfolgt der Deutsche Behindertensportverband (DBS) seit mehreren Jahren unterschiedliche Strategien – darunter die seit 2014 gemeinsam mit Landes- und Fachverbänden sowie lokalen Sportvereinen durchgeführten *TalentTage* sowie die im Jahr 2021 eingeführte Informations- und Veranstaltungsplattform *Parasport.de*. Diese Initiativen sollen den Zugang von Menschen mit Behinderung zum Para Sport verbessern und Möglichkeiten der Talentsuche eröffnen. Vor dem Hintergrund vielfältiger Maßnahmen betonen Patatas et al. (2021; 2020b) die zentrale Bedeutung des Breitensports für die Entwicklung eines nachhaltigen Talentpools im Para Sport. Nur wenn Menschen mit Behinderung über niedrigschwellige Angebote zunächst Zugang zum Breiten- und Freizeitsport erhalten, kann daraus perspektivisch eine Rekrutierung leistungssportorientierter Athletinnen und Athleten erfolgen. Gleichzeitig verdeutlicht der Teilhabebericht der Bundesregierung (BMAS, 2021), dass Menschen mit Behinderung im Vergleich zu Menschen ohne Behinderung deutlich seltener sportlich aktiv sind – dies gilt sowohl für Erwachsene als auch für Kinder und Jugendliche. Die Zugangswege von Menschen mit Behinderung zum Sport gestalten sich höchst heterogen – abhängig von der Art der Behinderung und dem Zeitpunkt ihres Erwerbs, den geografischen und infrastrukturellen Bedingungen des Wohnorts, dem sozialen Umfeld, den individuellen Ressourcen sowie der Klassifizierbarkeit im paralympischen System (Patatas et al., 2020a; Radtke & Doll-Tepper, 2014; Tweedy & Vanlandewijck, 2011). Eine besondere Bedeutung kommt im

Kinder- und Jugendbereich den Eltern zu, deren Einfluss im Behindertensport nochmals gesteigert ist (Dehghansai et al., 2021; Patatas et al., 2018). Vor dem Hintergrund dieser strukturellen und individuellen Zugangsbarrieren gewinnen die bestehenden Maßnahmen des DBS zusätzlich an Bedeutung – eine systematische Evaluation ihrer Wirksamkeit und Nachhaltigkeit steht bislang jedoch aus. Die vorliegende Studie leistet hierzu einen praxisorientierten Beitrag.

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie sind Maßnahmen zur Talentsuche, die im Zeitraum von April 2023 bis März 2024 auf *Parasport.de* angekündigt wurden. Darunter werden Veranstaltungen verstanden, bei denen Teilnehmende aktiv verschiedene Sportarten ausprobieren. Ziel der Studie ist es zu untersuchen, wie zielführend die derzeit angebotenen Maßnahmen zur Talentsuche im Para Sport sind und welche Chancen und Herausforderungen aus Sicht unterschiedlicher Stakeholder bestehen. Dabei werden drei Perspektiven berücksichtigt: erstens die Perspektive von für die Talentsuche verantwortlichen Personen auf Verbandsebene, zweitens die Perspektive von Organisatorinnen und Organisatoren von Maßnahmen zur Talentsuche, drittens die Perspektive von Teilnehmenden bzw. von Eltern teilnehmender Minderjähriger.

Zwei spezifische Zielstellungen liegen dem Forschungsprojekt zugrunde:

1. Es gilt zu eruieren, wie Maßnahmen zur Talentsuche in den verschiedenen Landesverbänden und sonstigen DBS-Mitgliedsorganisationen konkret aufgebaut sind, welche personellen Ressourcen für die



Talentsuche bereitgestellt werden, welche Kooperationen zwischen welchen Stakeholdern bestehen und welche konkreten Ziele von den verschiedenen Stakeholdern anvisiert werden.

2. Es gilt, Erkenntnisse zu generieren zur Konzeption, Durchführung und Nachbereitung der Maßnahmen zur Talentsuche unter Berücksichtigung der Perspektive aller relevanten Stakeholder.

## 2 Methode

Das Projekt setzt sich aus fünf Teilstudien zusammen.

### Durchführung der fünf Teilstudien & Stichprobenbeschreibung

Im Rahmen der *ersten Teilstudie* wurden die Websites (DBS, Deutsche Behindertensportjugend/DBSJ, Landesbehindertensportverbände), die Konzepte (Leistungssportkonzepte, Rahmenwachstumskonzeptionen) und die Ausschreibungen von Maßnahmen zur Talentsuche im Hinblick auf allgemeine Informationen zur Talentsuche im Para Sport untersucht. Im Rahmen der *zweiten Teilstudie* wurden leitfadengestützte Expertinnen- und Experteninterviews (Gläser & Laudel, 2009) geführt mit n=18 Personen, die in ihrer Funktion im DBS, in der DBSJ oder in einem der Landesbehindertensportverbände im Bereich der Konzeption und/oder Durchführung der Talentsuche Verantwortung tragen. Die durchschnittliche Interviewlänge lag bei 82 Minuten (Min: 52 min, Max: 154 min). Die *dritte Teilstudie* bestand aus einer Online-Umfrage unter Organisatorinnen und Organisatoren von konkreten Maßnahmen zur Talentsuche. Die Stichprobe umfasste n=58 Organisatorinnen und Organisatoren (26 weiblich, 32 männlich) mit einem Durchschnittsalter von 43,36 Jahren, von denen n=14 Personen eine – in elf Fällen erworbene – Behinderung aufweisen. Die *vierte Teilstudie* widmete sich einer Online-Umfrage unter Teilnehmenden von Maßnahmen zur Talentsuche. Insgesamt nahmen n=76 Teilnehmende (28 weiblich, 45 männlich, drei ohne Geschlechtsangabe) am Online-Survey teil.

Das Durchschnittsalter der Stichprobe lag bei 19,47 Jahren; die meisten Teilnehmenden (n=53) weisen eine angeborene Behinderung auf. In ihrer Selbstbeschreibung erwähnen n=45 Teilnehmende eine körperliche Behinderung, gefolgt von denjenigen mit einer Sehbehinderung (n=17). In der *fünften Teilstudie* wurden Teilnehmende der Maßnahmen in einem Erstinterview direkt nach der Maßnahme sowie einem Folgeinterview rund sechs Monate nach der Maßnahme bezüglich der Veranstaltung und deren Nachbereitung befragt. Für die Erstinterviews konnten n=18 Teilnehmende und für die Folgeinterviews n=14 Teilnehmende gewonnen werden. Die Folgeinterviews dienten u.a. dem Zweck, die langfristige Nachbereitung der Maßnahme zu hinterfragen. Die durchschnittliche Interviewlänge für das Erstinterview lag bei 50 Minuten (Min: 19 min, Max: 73 min), für das Folgeinterview bei 27 Minuten (Min: 11 min, Max: 61 min). Die Teilnehmenden der Maßnahmen (fünf weiblich, zwölf männlich), mit denen ein Interview geführt wurde bzw. – im Falle eines Elterninterviews – über die im Interview gesprochen wurde, waren zum Zeitpunkt des Erstinterviews durchschnittlich 15,12 Jahre alt.

### Auswertung der Teilstudien

Die Interviews wurden auf Basis eines entwickelten Kategoriensystems analysiert und interpretiert. Die Kategorien wurden zunächst deduktiv aus der Theorie abgeleitet und im Anschluss induktiv durch materialgeleitete Unterkategorien ergänzt (Mayring, 2015; Kuckartz, 2012). Die Aufbereitung und Codierung der Daten erfolgte mithilfe der Software MAXQDA Analytics Pro (Version 20.4.2, 2020). Die Auswertung basierte auf der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015). Die deskriptive Auswertung der in den Online-Surveys erhobenen quantitativen Daten erfolgte mittels Häufigkeitsauszählungen sowie der Berechnung von Lage- und Streuungsmaßen. Aufgrund der geringen Fallzahl und der gleichzeitig hohen Heterogenität der Stichprobe wurde auf die Berechnung von Zusammenhangsmaßen sowie auf multivariate Analyseverfahren verzichtet.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Zu den Rahmenbedingungen von Talentsuche: Stakeholder, Strukturen und Zielsetzungen

Im Kontext der Talentsuche im Para Sport sind auf Bundesebene der DBS und die DBSJ sowie auf Landesebene die Landesbehindertensportverbände zentrale Stakeholder. Die personellen Ressourcen und Zuständigkeiten variieren zwischen den einzelnen Verbänden stark, was die Vergleichbarkeit erschwert. Von den 18 interviewten Personen, die auf Verbandsebene für die Talentsuche verantwortlich sind, geben acht an, aktuell eine neu geschaffene Stelle zu besetzen. *TalentScouts* auf Landesebene haben eine Schlüsselrolle, da sie als zentrale Schnittstelle zwischen Sportlerinnen/Sportlern, Vereinen und Verbänden gelten. Laut DBS-Rahmennachwuchskonzeption sollen sie flächendeckend in allen Landesverbänden eingesetzt werden. Zum Erhebungszeitpunkt konnten jedoch nur drei aktive *TalentScouts* identifiziert werden. Zwei weitere wurden zwar konzeptionell erwähnt, ihre Existenz ließ sich jedoch nicht verifizieren. Kooperationen mit Partnerinnen und Partnern aus Sport, Bildung und Gesundheit könnten die Talentsuche stärken. Tatsächlich bestehen jedoch in den meisten Fällen keine schriftlichen Kooperationsvereinbarungen – entgegen den Empfehlungen der DBS-Rahmennachwuchskonzeption.

Insgesamt zeigt sich eine deutliche Diskrepanz zwischen theoretischen Zielen und praktischer Umsetzung. Es mangelt an einer gemeinsamen Perspektive, was die Ziele der verschiedenen Stakeholder in Bezug auf die Talentsuche im Para Sport im Allgemeinen sowie die Maßnahmen zur Talentsuche im Speziellen anbelangt. Die Mehrheit der Verantwortlichen betont ihren Anspruch, mittels der Maßnahmen den generellen Zugang von Menschen mit Behinderung zum organisierten Sport ermöglichen bzw. verbessern zu wollen. Eine Minderheit verbindet mit den derzeitigen Maßnahmen den Anspruch, vorrangig klassifizierbare und leistungsorientierte Teilnehmende zu erreichen. Diese Differenzen erschweren eine einheitliche Ausrichtung der Maßnahmen.

### 3.2 Zur Umsetzung der Talentsuche

Die Analyse der Ausschreibungen auf Parasport.de zeigt, dass etwa ein Drittel der Veranstaltungen nicht offen für alle potenziellen Zielgruppen kommuniziert wird. In diesen Fällen finden Talentauswahlkriterien (vor allem in Form von Altersbeschränkungen) Anwendung. Begriffe wie *TalentTag* werden seitens der Befragten mit Leistungsanforderungen assoziiert und wirken auf einige abschreckend. Rund 32 Prozent der Organisatorinnen und Organisatoren weisen selbst eine Behinderung auf, was als ein potenziell identifikationsfördernder Faktor wahrgenommen wird. Die Teilnehmenden sind überwiegend jung (Ø 15 bis 19 Jahre), jedoch reicht die Altersspanne bis 75 Jahre. Rund 87 Prozent sind in ihrem Alltag bereits sportlich aktiv, etwa 80 Prozent davon in einem Verein, die Mehrheit in Regelsportvereinen. Lediglich 13 Prozent der Befragten haben keine sportliche Vorerfahrung.

Die Maßnahmenformate sind vielfältig, die Bekanntmachung erfolgt primär über persönliche Netzwerke und Social Media. Die Website Parasport.de wird kaum wahrgenommen. Fehlende Ortsangaben und fehlende Kontaktpersonen in Ausschreibungen erschweren den Zugang zusätzlich. Zwischen April 2023 und März 2024 wurden 345 Maßnahmen erfasst. Mit Abstand fanden mit n=72 die meisten Angebote in Bayern statt, was rund 20 Prozent aller Maßnahmen ausmacht. Bundesweit war der Schneesport mit n=41 Angeboten am häufigsten vertreten, gefolgt von Leichtathletik (n=34) und Schwimmen (n=22). Auffällig ist, dass in der bundesweiten Angebotsstruktur regionale Versorgungslücken bestehen, was mit teils erheblichen Anfahrtswegen für die Teilnehmenden verbunden ist. Viele Teilnehmende zeigen hohe Motivation zum weiteren Sportengagement über die spezifische Maßnahme hinaus, doch eine strukturierte Nachbereitung der Maßnahmen fehlt meist. Weniger als die Hälfte der Organisatorinnen und Organisatoren nimmt nach der Veranstaltung proaktiv Kontakt zu Teilnehmenden auf. Eine gezielte Weitervermittlung in wohnortnahe Strukturen bleibt oft aus. Nach Einschätzung der Befragten wird das Potenzial langfristiger Sportbindung bislang nicht vollständig ausgeschöpft.

### 3.3 Zur Stakeholder-Zufriedenheit mit den aktuellen Prozessen der Talentsuche

Während die unmittelbare Durchführung der Maßnahmen meist positiv bewertet wird, zeigen sich in der Nachbereitung deutliche Defizite. Die Mehrheit der Teilnehmenden kritisiert die fehlende Anschlusskommunikation, was zu Frustration führen kann. Verantwortliche auf Verbandsebene äußern grundsätzliche Kritik: Das Verhältnis von Ressourceneinsatz und Wirksamkeit wird als unzureichend empfunden. Als Hauptursache gilt der Mangel an hauptamtlichem Personal. Zudem wurde ein grundlegendes Kommunikationsdefizit zwischen den beteiligten Stakeholdern festgestellt. Für eine nachhaltige Verbesserung werden zwei Maßnahmen als zentral benannt: erstens die Entwicklung einer bundesweit unter den verschiedenen Verbänden abgestimmten Zielsetzung zur Talentsuche und zweitens der Aufbau einer verbandsübergreifenden Kommunikationsstrategie. Auch die strukturellen Rahmenbedingungen – insbesondere personelle Ressourcen – müssen nach Meinung der Befragten gestärkt werden, um die Wirksamkeit und Nachhaltigkeit der Talentsuche im Para Sport zu erhöhen.

## 4 Diskussion

Die Ergebnisse des *ParaTalent*-Projekts zeigen, dass die bestehenden Maßnahmen zur Talentsuche im Para Sport zwar wichtige Impulse setzen, jedoch bislang nur eingeschränkt ihre Zielgruppen erreichen. Besonders auffällig ist, dass überwiegend bereits sportlich aktive und organisatorisch gut angebundene Personen teilnehmen – insbesondere solche mit vergleichsweise geringem Unterstützungsbedarf. Zielgruppen mit komplexeren Behinderungsformen oder ohne bisherigen Zugang zum Sport werden hingegen kaum erreicht. Auch hinsichtlich der Gestaltung, Ansprache und Bekanntmachung der Maßnahmen bestehen strukturelle Schwächen. Es mangelt an einer klaren Zielgruppenorientierung sowie an einer kohärenten Strategie zwischen den beteiligten Stakeholdern. Darüber hinaus werden strukturelle Schwächen in der

praktischen Umsetzung deutlich: Insbesondere die Formulierungen in den Ausschreibungen erweisen sich teils als unklar oder missverständlich und erschweren potenziellen Teilnehmenden den Zugang zu den Angeboten. Der Begriff *TalentTag* wird häufig leistungsbezogen interpretiert und kann abschreckend wirken. Die geografische Verteilung der Angebote ist auf das gesamte Bundesgebiet bezogen ungleich, und eine strukturierte Nachbereitung der Maßnahmen – insbesondere in Form persönlicher Anschlusskommunikation oder Weitervermittlung in lokale Sportstrukturen – erfolgt nur selten. Die Kooperation zwischen den relevanten Stakeholdern ist oft unzureichend institutionalisiert, und es fehlt an abgestimmten Zielsetzungen und einer nachhaltigen Steuerung.

Einzelne Entwicklungen deuten auf positive strukturelle Veränderungen hin: So bekleidet etwa die Hälfte der befragten Verantwortlichen in den Verbänden neu eingerichtete Positionen, was als Hinweis auf eine zunehmende strukturelle Unterstützung im Themenfeld Talentsuche gewertet werden kann. Ein Beispiel für gelingende Praxis stellt die beim DBS eingerichtete hauptamtliche Projektstelle für den Bereich Schneesport dar. Die hohe Präsenz des Schneesports unter den erfassten Maßnahmen verweist auf die Wirkung kontinuierlicher struktureller Zuständigkeit. Derartige Entwicklungen können als Ausgangspunkt für zukünftige Strategien dienen, um vorhandene Potenziale gezielt zu erschließen.

## 5 Ausblick

Das Ziel des an die vorliegende Studie anschließenden Transferprojekts *Para-Potenzial* besteht darin, praxisnahe Handlungsstrategien zur Optimierung der Talentsuche im Para Sport zu entwickeln und dadurch unerschlossenes Potenzial zu erkennen und zu nutzen. Im Fokus steht die Entwicklung differenzierter, niedrigschwelliger Handlungsempfehlungen für Stakeholder und Kooperationspartner, die sich an deren spezifischen Herausforderungen und Bedarfen orientieren und eine erfolgreiche Implementierung in die Sportpraxis ermöglichen sollen.

## 6 Literaturverzeichnis

- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2021). *Dritter Teilhabebericht der Bundesregierung über die Lebenslagen von Menschen mit Beeinträchtigungen: Teilhabe – Beeinträchtigung – Behinderung*. Abruf unter [https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/a125-21-teilhabebericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/a125-21-teilhabebericht.pdf?__blob=publicationFile&v=7)
- Deutscher Behindertensportverband e.V. (o. J.). *Rahmennachwuchskonzeption des DBS e.V.*
- Dehghansai, N., Pinder, R. A., & Baker, J. (2021). “Looking for a Golden Needle in the Haystack”: Perspectives on Talent Identification and Development in Paralympic Sport. *Frontiers in sports and active living*, 3, 635977. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.635977>
- Gläser, J., & Laudel, G. (2009). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. VS Verl. für Sozialwissenschaften (2009)
- Kuckartz, U. (2012). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Beltz Juventa
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Beltz
- Patatas, J. M., De Bosscher, V., De Cocq, S., Jacobs, S., & Legg, D. (2021). Towards a System Theoretical Understanding of the Parasport Context. *Journal of Global Sport Management*, 6(1), 87 – 110. <https://doi.org/10.1080/24704067.2019.1604078>
- Patatas, J. M., De Bosscher, V., Derom, I., & De Rycke, J. (2020a). Managing parasport: An investigation of sport policy factors and stakeholders influencing para-athletes’ career pathways. *Sport Management Review*, 23(5), 937 – 951. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2019.12.004>
- Patatas, J. M., De Bosscher, V., Derom, I., & Winckler, C. (2020b). Stakeholders’ perceptions of athletic career pathways in Paralympic sport: from participation to excellence. *Sport in Society*, 1 – 22. <https://doi.org/10.1080/17430437.2020.1789104>
- Patatas, J. M., De Bosscher, V., & Legg, D. (2018). Understanding parasport: an analysis of the differences between able-bodied and parasport from a sport policy perspective. *International Journal of Sport Policy and Politics*, 10(2), 235 – 254. <https://doi.org/10.1080/19406940.2017.1359649>
- Radtko, S., & Doll-Teppe, G. (2014). *Nachwuchsgewinnung und -förderung im paralympischen Sport: Ein internationaler Systemvergleich unter Berücksichtigung der Athleten-, Trainer- und Funktionärsperspektive*. Sportverlag Strauß
- Tweedy, S. M., & Vanlandewijck, Y. C. (2011). International Paralympic Committee position stand – background and scientific principles of classification in Paralympic sport. *British journal of sports medicine*, 45(4), 259 – 269. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.065060>

# CULTurn – Coaching- und Leadership-kultur für Trainerinnen und Trainer im Deutschen Turner-Bund

AZ 071004/22-24

*Maike Tietjens<sup>1</sup>, Sebastian Brückner<sup>1</sup>, Ralf Lanwehr<sup>2</sup>, Jasper Guzmann<sup>1,2</sup> & Bernd Strauß<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institut für Sportwissenschaft, Universität Münster

<sup>2</sup> FB Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften, Fachhochschule Südwestfalen, Meschede

Kooperationspartner: Deutscher Turner-Bund e.V. vertreten durch Thomas Gutekunst (Vorstand DTB)

## Zusammenfassung

Das *CULTurn-Projekt* im Deutschen Turner Bund (DTB) untersucht die Führungskompetenz von Trainerinnen und Trainern im Rahmen einer Interventionsstudie. Ziel war die Entwicklung eines Diagnosetools zur Führungskompetenz, basierend auf dem Competing Values Framework (CVF) und charismatischer Führung. Dieses Instrument wurde zur Analyse von Selbst- und Fremdbild der Trainer sowie zur Verbesserung ihrer Führungskompetenzen in den Sportarten Gerätturnen, Trampolin und Rhythmische Sportgymnastik eingesetzt.

Die Ergebnisse zeigen eine hohe Übereinstimmung zwischen Selbst- und Fremdbild der Trainer, wobei insbesondere im Bereich Charisma das größte Verbesserungspotenzial besteht. In den Coaching-Prozessen wurden vier zentrale Themen bearbeitet: Selbstführung, Athletenbetreuung, Trainingskultur und Verbandsarbeit. Der Fokus auf Selbstreflexion und die Entwicklung von Charisma waren entscheidend für die Förderung der Führungskompetenz.

Das Projekt wurde positiv bewertet, besonders die Kombination von Diagnostik, Einzel-Coachings und Gruppen-Workshops. Auch der Austausch zwischen verschiedenen Stakeholdern im DTB wurde als bereichernd empfunden. In Zukunft besteht Potenzial, das Modell auf andere Sportarten und Trainingsstrukturen zu übertragen und die Unterstützung von Spitzen-

sport-Personal zu intensivieren, um die Arbeitszufriedenheit und Führungskompetenz weiter zu stärken.

## 1 Einleitung

Der Einfluss des Führungsverhaltens von Trainerinnen und Trainern auf Athletinnen und Athleten sowie Teams im Leistungssport ist unbestritten und wird heute als tiefgreifend und nachhaltig anerkannt (Arthur & Bastardo, 2020; Peachey et al., 2015). Führung im Sport zielt darauf ab, individuelle und gemeinsame Anstrengungen so zu lenken, dass kollektive Ziele erreicht werden (Yukl, 2012). Das soziale Umfeld im Leistungssport ist durch enge, kontinuierliche und unmittelbare Interaktionen zwischen Athletinnen und Athleten sowie Trainerinnen und Trainern gekennzeichnet, wobei die Ergebnisse direkt und objektiv messbar sind (Elgar, 2016). Trainerinnen und Trainer können auf verschiedene Ebenen Einfluss nehmen – sowohl individuell als auch auf Gruppenebene (Arthur et al., 2017). Da sie die entscheidende Grundlage für erfolgreiche Teams bilden, kommt ihnen eine zentrale Bedeutung zu. Aber warum sind manche Trainerinnen und Trainer besser darin, ihre Athletinnen und Athleten zu motivieren, als andere? Diese Frage steht im Mittelpunkt der Forschung zu Führungsverhalten und dessen Einfluss auf den Erfolg, ein Thema, das seit den Anfängen der sportpsychologischen Forschung von besonderem Interesse ist (Arthur & Bastardo, 2020). Eine

der größten Herausforderungen für erfolgreiche Führung im Leistungssport liegt in der Fähigkeit, unterschiedliche Rollenanforderungen zu erkennen und gleichzeitig persönliche Führungsstärken sowie die situationsgerechte Handlungskompetenz effektiv einzusetzen.

In Deutschland fehlt bislang eine valide Führungsdiagnostik für Trainerinnen und Trainer im Leistungssport. Die bestehende Forschung konzentriert sich häufig auf das methodisch und konzeptionell problematische Konzept der transformationalen Führung (Arthur et al., 2017). Daher kann der Nutzen von Führungsdiagnostik im Leistungssport bisher nicht vollständig ausgeschöpft werden. Im Rahmen dieses Projekts wurde deshalb ein neuer Ansatz zur Führungsdiagnostik entwickelt, der auf aktuellen Erkenntnissen aus der Arbeits- und Organisationspsychologie basiert: das **Competing Values Framework** (CVF), das auf den Olympischen Spitzensport übertragen wurde. Das CVF beschreibt spezifische Führungsrollen, die gegensätzlich sind, aber dennoch koexistieren und den komplexen Alltag von Trainerinnen und Trainern gut widerspiegeln. Diese Führungsrollen stammen aus dem Modell organisatorischer Effektivität (Quinn, 1984). Laut diesem Modell erfordert Führung die Integration gegensätzli-

cher Erwartungen, die sich durch die Leistung konkurrierender Rollen manifestieren und die Notwendigkeit von Paradoxien verdeutlichen (vgl. Abbildung 1). Eine Sichtweise, die von sich gegenseitig ausschließenden Kategorien ausgeht, wie sie in der traditionellen „entweder/oder“-Perspektive von Führungsverhalten zu finden ist, ist nicht sinnvoll (Densten & Gray, 2001). Stattdessen müssen Führungskräfte in der Lage sein, konkurrierende Rollen zu integrieren (Lawrence et al., 2009; Zaccaro, 2001) und situationsadäquat zwischen diesen zu wechseln.

Ergänzend zum theoretischen Ansatz des Competing Values Framework bildet die **visionär-charismatische Führung** eine wichtige Säule für ein effektives Führungsdiagnose-Instrument für Trainerinnen und Trainer im Leistungssport. Charisma basiert auf symbolischen, wertebasierten und emotionalen Führungssignalen (Antonakis et al., 2016). Charismatische Führungskräfte haben die Fähigkeit, solche Signale zu setzen, um Aufmerksamkeit zu erzeugen und mit Inhalten zu füllen, die die Vision und strategischen Ziele rechtfertigen. In diesem Projekt wurde daher ein 5C-Führungsmodell eingesetzt, das Elemente des Competing Values Framework und charismatischer Führung kombiniert.

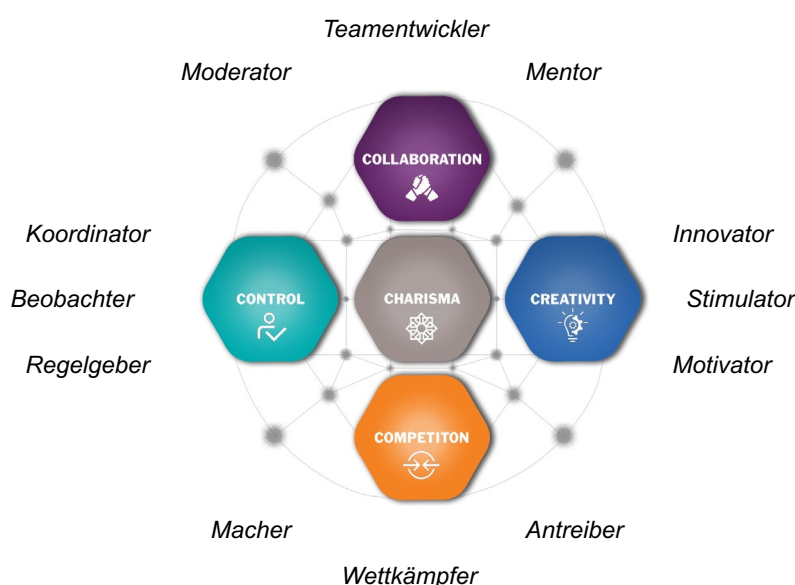


Abb. 1: Das 5C-Führungsmodell aus Competing Values und Charisma.

Ziel des Projekts ist die individuelle Entwicklung der Führungskompetenzen von Bundeskader- und A-Trainerinnen sowie -Trainern in den vier olympischen Disziplinen Gerätturnen (weiblich und männlich), Trampolin und Rhythmische Sportgymnastik des DTB. Dabei wurden folgende Fragestellungen bearbeitet:

1. *Selbst- und Fremdbild der Trainer und Trainerinnen:* Wie schätzen diese ihr eigenes Führungsverhalten ein? Welche Wahrnehmung haben Athleten, Kollegen und Vorgesetzte von diesem Verhalten? Gibt es Unterschiede im Selbst- und Fremdbild der Trainer und Trainerinnen? Ist das Fremdbild homogen oder gibt es unterschiedliche Bewertungen?
2. *Soziographische und Persönlichkeitsfaktoren:* Beeinflussen Faktoren wie Berufserfahrung, Geschlecht, Alter oder Persönlichkeitseigenschaften (z. B. Neurotizismus, Extraversion) die Differenz zwischen Selbst- und Fremdbild?
3. *Anwendbarkeit:* Ist der Ansatz einer individualisierten Intervention basierend auf der Differenz und der Qualität des Führungsprofils effektiv?
4. *Transfer:* Inwiefern lässt sich dieser Ansatz auf andere Sportarten übertragen und nachhaltig im DTB sowie in anderen Verbänden implementieren? Welche Impulse ergeben sich für Trainerfortbildung und Trainingskultur im DTB?

## 2 Methode

Die Intervention basierte auf dem Prozessmodell sportpsychologischer Interventionen von Beckmann und Elbe (2008) und gliederte sich in mehrere Phasen (vgl. Abbildung 2). In der ersten Phase wurden Ziele festgelegt und ein Soll-Profil entwickelt (ein ausbalanciertes, homogenes Selbst- und Fremdbild). In der zweiten Phase erfolgte die Bestimmung des Ist-Profiles anhand eines 360-Grad-Feedbacks. Auf Basis der Feedbackgespräche mit den Trainerinnen und Trainern wurde in der dritten Phase eine Reihe von Maßnahmen umgesetzt: je 3 – 4 Individual-Coachings, Trainingsbesuche, Gruppen-Workshops und Fokusgruppengespräche. In der vierten Phase wurde die Wirksamkeit der Intervention durch eine Post-Erhebung überprüft, sowohl auf individueller Ebene (Trainerinnen und Trainer), auf Gruppenebene (Trainerteams) als auch auf Verbandsebene (Fokusgruppen). Hierbei kam ein Mixed-Methods-Design zum Einsatz.

### Stichprobe

Insgesamt nahmen 21 Trainerinnen und Trainer aus ganz Deutschland auf freiwilliger Basis an dem Projekt teil, die sich paritätisch, mit Ausnahme der Rhythmischen Sportgymnastik, über die Sportarten Gerätturnen männlich, Gerätturnen weiblich und Trampolinturnen verteilen (Alter  $M=44,73$ , weiblich 52 %). Es konnten 241 Personen (Athletinnen und Athleten, Kollegium, Vorgesetzte) zur Erstellung des Fremdbildes der Trainerinnen und Trainer gewonnen werden.

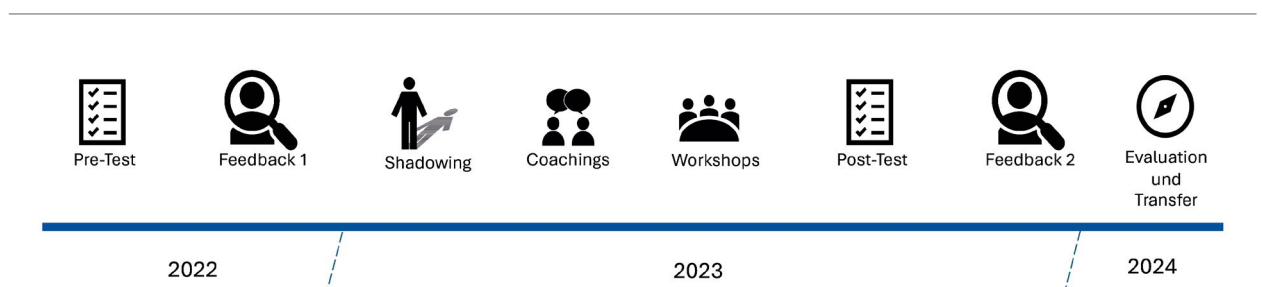


Abb. 2: Forschungsdesign „CULTurn: Coaching- und Leadershipkultur für Trainerinnen und Trainer im Deutschen Turner Bund“.

## Instrument

Für die Führungsdiagnostik im Leistungssport wurde der CVF-Fragebogen von Lawrence, Lenk und Quinn (2009) für den Turnsport adaptiert. Basierend auf dem Competing Values Framework wurden für die Dimensionen Collaboration, Competition, Creativity und Control jeweils drei Konstrukte mit je drei Items verwendet. Die drei Konstrukte zur Erfassung von Charisma wurden nach Bastardo (2020) psychometrisch entwickelt, zunächst von Trainerinnen und Trainern aus dem Leistungssport auf ihre Augenscheinvalidität geprüft, mehrfach validiert und schließlich über eine Eichstichprobe in die Anwendung überführt. Die Items zu Selbst- und Fremdbild sind für alle 15 Konstrukte identisch formuliert, unterscheiden sich jedoch im Beginn („Ich ...“ versus „Der/die Trainer/Trainerin ...“). Die Persönlichkeitsdiagnostik erfolgte mit dem BFI-10 (Rammstedt et al., 2014) sowie der Honesty-Humility-Skala (Moshagen, Hilbig & Zettler, 2014).

## 3 Ergebnisse

Quantitative Befunde der Selbst- und Fremdbilder: Die Trainerinnen und Trainer zeigen sowohl im Prä- als auch im Post-Test hohe Werte in allen Führungsrollen. Sie schätzen sich überwiegend gleich ein, mit Ausnahme im Bereich Wettkampf. Unterschiede bzgl. Alter und Berufserfahrung zeigten sich nicht. In den Persönlichkeitsdimensionen Extraversion, Verträglichkeit, Verlässlichkeit, Offenheit und Ehrlichkeit gaben sie hohe Werte an, während sie in der Neurotizismusskala niedrige Werte erzielten. Dabei korrelieren Neurotizismus durchgängig negativ und Verlässlichkeit positiv mit den 5C's (vgl. Abbildung 3).

Unterschiede zwischen den Reviewer-Gruppen und verschiedenen Sportarten sind marginal und nicht signifikant. Dies verdeutlicht, dass die Trainerinnen und Trainer im DTB in fast allen Führungsrollen überdurchschnittlich hohe Werte erzielen, was auch von Vorgesetzten, Kollegium sowie Athletinnen und Athleten in gleicher Weise bestätigt wird. Obwohl die Trainerinnen und Trainer eine hohe Führungskompetenz

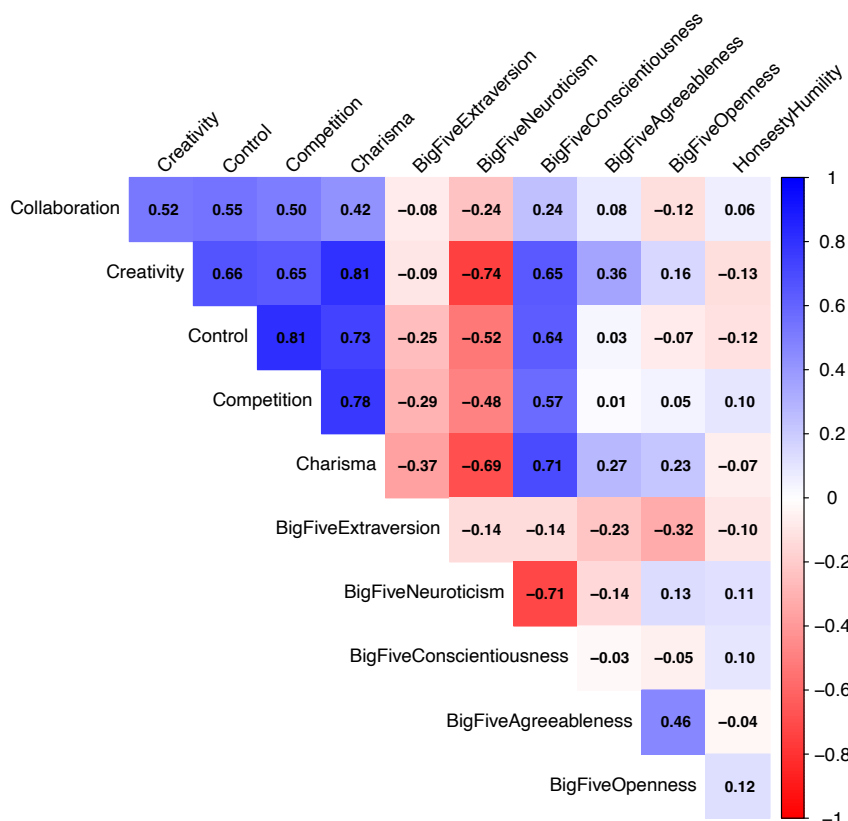


Abb. 3: Zusammenhangsmatrix Persönlichkeitseigenschaften und Führungskompetenz.





Abb. 4: Themenschwerpunkte im Coaching und Competing Values sowie Charisma.

aufweisen, konnten trotz eines zu berücksichtigenden Deckeneffekts in der Abschlussdiagnostik noch deskriptive Verbesserungen in einzelnen Führungsrollen festgestellt werden. Die quantitativen Daten zeigen, dass Charisma das größte Entwicklungspotenzial bietet. Dieses Entwicklungspotenzial, insbesondere im Bereich Charisma, wurde in den Feedback-Gesprächen ebenfalls explizit angesprochen, was eine Übereinstimmung der quantitativen Ergebnisse mit der qualitativen Auswertung bestätigt.

Qualitative Befunde hinsichtlich der Anwendbarkeit: Die Coaching-Prozesse konzentrierten sich auf vier zentrale Themenbereiche, in denen die Trainerinnen und Trainer ihre Führungskompetenzen im täglichen Handeln weiterentwickelt haben. Dabei bildet die Selbstführung die Grundlage für die anderen drei Themen: 1. Selbstführung (z.B. Umgang mit Extremsituationen wie Erfolg vs. Niederlage und allgemeinem Wettkampfstress), 2. Athletinnen und Athleten (z.B. Feedback, Motivation, Konfliktbewältigung), 3. Trainingskultur (z.B. Kommunikation im Trainerteam und mit Eltern), 4. Verband (z.B. Verbandsentwicklung und -strukturen) (vgl. Abbildung 4).

Die Kernaussagen zu den Führungsrollen, basierend auf dem CVF und Charisma, zeigen, dass insbesondere im Bereich Charisma das größte Verbesserungspotenzial besteht, obwohl es anfänglich oft als nicht trainierbar angesehen wurde. Zum Thema Collaboration lässt sich festhalten, dass stärkenorientierte Interaktionen zwischen Trainerinnen und Trainern sowie Athletinnen und Athleten eine kontinuierliche Herausforderung darstellen, die schrittweise erlernt werden muss. Besonders der frühe Einstieg in die leistungssportliche Karriere, der oft schon in jungen Jahren beginnt, stellt hierbei eine besondere Schwierigkeit dar. Veränderungen können nicht erzwungen, sondern müssen gemeinsam und auf Augenhöhe entwickelt werden.

Eine weitere Besonderheit zeigt sich im Competition-Bereich: Obwohl Turnen als Individualsport gilt, wird es im Training oft als Team sport erlebt. Leistung wird hier als Teil einer werteorientierten Persönlichkeitsentwicklung verstanden. Allerdings entstehen im Trainingsalltag Schwierigkeiten, leistungsorientiert zu arbeiten, da äußere Einflüsse wie Personen, Strukturen und gesellschaftliche Veränderungen eine Herausforderung darstellen.

## 4 Diskussion mit Schlussfolgerungen, insbesondere im Praxisbezug

Die Ergebnisse des CULTurn-Projekts haben sowohl eine hohe theoretische als auch praktische Relevanz. Es konnte erstmals ein Diagnostik-Ansatz auf Basis des Competing Values Framework und visionär-charismatischer Führung im Olympischen Spitzensport etabliert werden. Die quantitativen Ergebnisse zeigen, dass sich das Führungsverhalten der Trainerinnen und Trainer in den vier olympischen Sportarten des DTB mithilfe des Diagnostik-Tools sehr gut abbilden lässt. Besonders interessant ist, dass die Teilnehmenden sich unabhängig vom Geschlecht in ihrem Führungsverhalten weitgehend gleich einschätzen. Dieser Befund unterscheidet sich von Ergebnissen einer Meta-Analyse zur Selbst- und Fremdeinschätzung der Führungseffektivität (Paustian-Underdahl et al., 2014), die geschlechtsspezifische Unterschiede aufzeigt: Frauen werden im Fremdbild tendenziell höher bewertet als Männer, während sich letztere selbst positiver einschätzen. Solche Unterschiede ließen sich in unserer Stichprobe jedoch nicht nachweisen.

Die qualitative Analyse (vgl. Abbildung 4) hat zentrale Themenbereiche der Führungskompetenzentwicklung aufgezeigt. Dabei nimmt Selbstführung eine Schlüsselrolle ein, da sich durch gezielte Selbstreflexion sowie durch Unterstützung externer Partner ein besseres Bewusstsein für eigene Emotionen, Bedürfnisse, Stärken und Schwächen entwickeln lässt. Diese Prozesse fördern die Effektivität als Führungskraft. Teilnehmer 10 brachte dies in seiner Abschluss-Reflexion treffend auf den Punkt: „Selbstreflexion ist für mich das Schlüsselwort des gesamten CULTurn-Prozesses.“

Ein Blick auf die Prozess-Analyse der Interventionsphase zeigt, dass die verschiedenen Tools und Settings positiv bewertet wurden: 1) die Führungs-Diagnostik mit Auswertungsgespräch, 2) die Einzelcoachings und Trainingsbesuche, 3) die Gruppen-Workshops. Besonders die Kombination dieser Elemente sowie die Vielfalt der Impulse wurden von den Trainerinnen und Trainern geschätzt. Die Einstiegsdiagnostik und der

individuelle Kompetenzreport boten eine sehr gute Gelegenheit, sich kennenzulernen und Vertrauen aufzubauen. Auf dieser Grundlage konnten im ersten Feedback-Gespräch gezielt spezifische Coaching-Themen erarbeitet werden, was dem Prozess Struktur und Richtung verlieh. Dies hob auch Teilnehmer 14 hervor: „Das gibt einen Rahmen, innerhalb dessen wir besser planen können, was wir brauchen, und ich finde das sehr interessant.“ Auch die Einzel-Coachings wurden als sehr hilfreich wahrgenommen: „Ich fand es sehr, sehr gut, und danke dir auf jeden Fall. Es hat mir immer gutgetan, die Gespräche zu führen ... Ich konnte immer viel für mich mitnehmen.“ (Teilnehmer 2). Die Idee des „Peer Learnings“ in den Gruppen-Workshops, mit Teilnehmenden aus unterschiedlichen Sportarten, wurde ebenfalls positiv aufgenommen: „Es war super, den Workshop mit anderen Trainern aus verschiedenen Sportarten zu haben ... Es war interessant zu sehen, dass viele Probleme ähnlich sind, obwohl es unterschiedliche Sportarten sind.“ (Teilnehmer 6).

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Projektplanung war die Einbeziehung zusätzlicher Handlungsebenen innerhalb des Verbandes. In drei Fokusgruppen-Workshops wurden Vertretungen der Trainer, Athletinnen, des Wissenschaftlichen Beirats des DTB, Stützpunktleitungen und Spitzensport-Verantwortliche aus den Landesverbänden eingebunden. Der Austausch ermöglichte es, wertvolle Impulse zu sammeln und den Projektverlauf anzupassen. Besonders hervorzuheben ist die Zusammenarbeit mit der Ausbildungs-Kommission, um die CULTurn-Inhalte nachhaltig in die Aus- und Fortbildungsstrukturen des DTB und seiner Landesverbände zu integrieren. In diesem Kontext wurde auch ein Arbeitsbuch entwickelt, das Tools zur Selbstreflexion anbietet und in die Ausbildungsstrukturen integriert werden kann.

Zusätzlich konnten im Rahmen der Gruppen-Workshops und bei den Trainingsbesuchen an den Bundesstützpunkten sowie bei Kaderlehrgängen weitere Trainerinnen und Trainer, die nicht zu den 21 Hauptteilnehmenden gehörten, in ihrer Führungskompetenz gestärkt werden. Zudem fanden mehrere Transfer-Workshops statt, in denen das Thema Führungskompetenz

auf Grundlage des 5C-Führungsmodells sowohl im Bereich Aus- und Fortbildung für Trainerinnen und Trainer als auch mit hauptamtlichem Führungspersonal im Olympischen Spitzensport behandelt wurde. Hierbei wurde auch der explizite Wunsch der Teilnehmenden nach mehr Unterstützung durch Vorgesetzte im Alltag aufgegriffen. In der Zukunft bietet sich insbesondere im Bereich der Unterstützung des Spitzensport-Personals großes Verbesserungspotenzial. Die gezielte Unterstützung von Führungskräften auf dieser Ebene könnte nicht nur deren Führungsfähigkeiten weiterentwickeln, sondern auch die Arbeitszufriedenheit und die Arbeitsbedingungen der Spitzentrainerinnen und -trainer positiv beeinflussen.

Eine Limitation der durchgeführten Studie stellt die geringe Stichprobengröße dar. Trotz intensiver Bemühungen konnten nicht die angestrebten 40 Teilnehmenden rekrutiert werden, sondern nur 21 Trainerinnen und Trainer. Daher wurden in der quantitativen Analyse keine höherwertigen statistischen Analysen angewandt. Die Befunde müssen daher mit Vorsicht interpretiert werden. Allerdings wurde im Rahmen einer Masterarbeit die Führungsdiagnostik in einer weiteren olympischen Mannschaftssportart eingesetzt. Die quantitativen Befunde ergaben ein vergleichbares Bild, sowohl hinsichtlich der hohen Selbst- und Fremdeinschätzung als auch der Geschlechterhomogenität. Limitierend lässt sich ein positiver Selektion-Bias nicht ausschließen, der sich sowohl auf die Selbstselektion und Freiwilligkeit als auch auf den hohen Professionalisierungsgrad der Bundeskadertrainer und -trainerinnen bezieht. Es ist daher notwendig, dieses Tool ebenso in unteren Lizenzstufen zu erproben.

Die Stärke des Projektes liegt in seinem Fokus auf einer stärken- und ressourcenorientierten Trainerentwicklung, die eng mit dem werteorientierten Diskurs im DTB verknüpft ist. Es wird deutlich, dass sowohl individuelle als auch gemeinsame Anstrengungen unternommen werden müssen, um kollektive Ziele wie die werdebasierte Persönlichkeitsentwicklung der Athleten und Athletinnen sowie die Entwicklung von Führungskräften zu erreichen.

## 5 Literatur

- Antonakis, J., Bastardo, N., Jacquart, P., & Shamir, B. (2016). Charisma: An ill-defined and illmeasured gift. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 3(1), 293 – 319. <https://doi.org/10.1146/annurev-org-psych-041015-062305>
- Arthur, C. A., Bastardo, N., & Eklund, R. (2017). Transformational leadership in sport: Current status and future directions. *Current Opinion in Psychology*, 16, 78 – 83.
- Arthur, C. A., & Bastardo, N. (2020). Leadership in sport. *Handbook of sport psychology*, 344 – 371.
- Bastardo, N. (2020). Signaling charisma. In *Routledge International Handbook of Charisma* (pp. 313 – 323). Routledge.
- Beckmann, J., & Elbe, A. (2008). *Praxis der Sportpsychologie in Wettkampf- und Leistungssport*. Balingen: Spitta-Verlag.
- Brückner, S., Tietjens, M., & Lanwehr, R. (2024). Fostering German Gymnastics National Team Coaches' Coaching Behaviors and Leadership Culture: An Intervention Study. *Paper presented at the annual AASP Conference, Las Vegas, USA*.
- Brückner, S., Tietjens, M., Lanwehr, R., & Guzmán, J. (2024). CULTurn: A Leadership Intervention based on 360-Degree Competing Values Framework and Charismatic Leadership Feedback with National Team Coaches. *Paper presented at the 17<sup>th</sup> FEPSAC Congress, Innsbruck, Österreich*.
- Densten, I. L., & Gray, J. H. (2001). Leadership development and reflection: what is the connection?. *International Journal of Educational Management*, 15(3), 119 – 124.

- Elgar, M. A. (2016). Leader selection and leadership outcomes: Height and age in a sporting model. *The Leadership Quarterly*, 27(4), 588 – 601.
- Lawrence, K. A., Lenk, P., & Quinn, R. E. (2009). Behavioral complexity in leadership: The psychometric properties of a new instrument to measure behavioral repertoire. *The Leadership Quarterly*, 20(2), 87 – 102.
- Moshagen, M., Hilbig, B. E., & Zettler, I. (2014). Faktorenstruktur, psychometrische Eigenschaften und Messinvarianz der deutschsprachigen Version des 60-item HEXACO Persönlichkeitsinventars. *Diagnostica*.
- Paustian-Underdahl, S. C., Walker, L. S., & Woehr, D. J. (2014). Gender and perceptions of leadership effectiveness: A meta-analysis of contextual moderators. *Journal of Applied Psychology*, 99(6), 1129 – 1145. <https://doi.org/10.1037/a0036751>
- Peachey, J. W., Zhou, Y., Damon, Z. J., & Burton, L. J. (2015). Forty years of leadership research in sport management: A review, synthesis, and conceptual framework. *Journal of sport management*, 29(5), 570 – 587.
- Quinn, R. E. (1984). Applying the competing values approach to leadership: Toward an integrative framework. In Hunt, J. G., Hosking, D.-M., Schriesheim, C. A., & Stewart, R. (Eds.), *Leaders and managers: International perspectives on managerial behavior and leadership* (pp. 10–27). New York: Pergamon Press.
- Rammstedt, B., Kemper, C. J., Klein, M. C., Beierlein, C., & Kovaleva, A. (2014). Big five inventory (BFI-10): Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen. *Mannheim: ZIS-GESIS Leibniz Institute for the Social Sciences*.
- Tietjens, M., & Brückner, S. (2024). Coaches as leaders: International perspectives on the „How, what and why?“ across diverse contexts. *Symposium presented at the 17<sup>th</sup> FEPSAC Congress, Innsbruck, Österreich*.
- Tietjens, M., Brückner, S., Lanwehr, R., & Strauss, B. (2024). Testing the Applicability of a Competing Values Framework-based 360° Leadership Feedback with Coaches in the German Gymnastics Federation. *Poster presented at the annual NASPSA Conference, New Orleans, USA*.
- Tietjens, M., Brückner, S., Lanwehr, R., Möllmann, J., Reh, C., Samol, T., & Strauß, B. (2023). Testing the Applicability of a Competing Values Framework-based 360° Leadership Feedback with Coaches in the German Gymnastics Federation. *Poster presented at the annual SCAPSS Conference, Kingston, Canada*.
- Tietjens, M., Lanwehr, R., Kemler, J. (2023). Did we get up? Leadership in Sport Science 5 years after the wake up call. *Paper presented at the Deutsch-Japanisches Symposium, Tokio, Japan*.
- Yukl, G. (2012). Effective leadership behavior: What we know and what questions need more attention. *Academy of Management perspectives*, 26(4), 66 – 85.
- Zaccaro, S. J. (2001). Organizational leadership and social intelligence. In *Multiple intelligences and leadership* (pp. 42 – 68). Psychology Press.
- Homepage:** <https://www.uni-muenster.de/Sportwissenschaft/Sportpsychologie/ueber-uns/CULTurn.html>

# Die Zukunft des (deutschen) Spitzensports – Eine Delphi-Analyse in Zusammenarbeit mit den deutschen Spitzensportverbänden

AZ 071501/23-24

Prof. Dr. Sascha L. Schmidt (Projektleitung) & Alexandra Büchling

WHU – Otto Beisheim School of Management, Center for Sports and Management

## 1 Problem

Der deutsche Spitzensport steht unter wachsendem Druck: Gesellschaftliche, technologische und regulatorische Veränderungen wirken zunehmend dynamisch und mit ungewissem Ausgang auf seine Strukturen und Stakeholder ein. In diesem schnelllebigen Umfeld wird die systematische Auseinandersetzung mit Zukunftsszenarien zur unabdingbaren Voraussetzung für die Zukunftsfähigkeit von Athleten und Athletinnen, Trainern und Trainerinnen und Spitzensportverbänden (z. B. infolge des sog. First-Mover-Advantage gegenüber anderen Nationen). Gleichzeitig sind, wie z. B. mit Platz zehn bzw. elf im Medaillenspiegel der Olympischen bzw. Paralympischen Sommerspiele in Paris im Jahr 2024, die sportlichen Leistungen zuletzt hinter den Erwartungen zurückgeblieben – trotz steigender Fördermittel. Das Projekt greift diese Problemlage auf und untersucht, wie sich der Spitzensport in Deutschland angesichts absehbarer oder möglicher Trends künftig gestalten könnte. Ziel ist es, die Antizipationsfähigkeit und Innovationsbereitschaft zu fördern und Orientierungswissen zu generieren, das Entscheidungsprozesse auf Verbandsebene unterstützt und die Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Spitzensports stärkt (Balmer et al., 2012; Haake, 2009). Grundlage hierfür bilden zwei Delphi-Studien, durchgeführt mit Experten und Expertinnen aus unterschiedlichen Bereichen des Spitzensports.

## 2 Methode

### 2.1 Studienübergreifende Informationen

Die empirischen Studien basieren auf der Delphi-Methode, einem mehrstufigen Befragungungsverfahren zur systematischen Erhebung von Experten- und Expertinneneinschätzungen. Die ausgewählten Fachpersonen bewerten vorformulierte, zukunftsgerichtete Projektionen hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit (in %), Auswirkungen und Wünschbarkeit (Likert-Skala 1 – 7). Zusätzlich können qualitative Kommentare zur Begründung oder Ergänzung abgegeben werden. Nach der vollständig abgeschlossenen Bewertung erhalten die Teilnehmenden Einblick in die aggregierten Ergebnisse sowie in die anonymisierten Kommentare des gesamten Panels, um ihre Einschätzungen ggf. zu überdenken oder zu bestätigen (vgl. von der Gracht, 2012). Die Methode fördert durch ihre Anonymität und Struktur die Qualität der Ergebnisse, insbesondere in Bezug auf Plausibilität, Konsistenz und Akzeptanz (Linstone & Turoff, 2011). Als Zeithorizont wurde das Jahr 2040 gewählt, da dieser aus Sicht der befragten Verbandsexperten und -expertinnen realistische Entwicklungen in Strukturen oder Regelwerken ermöglicht. Die Befragungen wurden in deutscher Sprache über die Onlineplattform Surveylet von Calibrium durchgeführt. Der Studienverlauf umfasste die Entwicklung der Projektionen, die Onlinebefragung

sowie die Auswertung der quantitativen und qualitativen Daten mithilfe deskriptiver Statistik und inhaltlicher Kodierung.

## 2.2 Auswahl der Experten und Expertinnen

Ziel der Delphi-Methode ist nicht Repräsentativität, sondern die gezielte Auswahl fachlich ausgewiesener Experten und Expertinnen (vgl. Devaney & Henchion, 2018). Für beide Studien wurde ein interdisziplinäres Panel mit vielfältigen Perspektiven zusammengestellt. Vertreten waren u.a. Mitglieder und Mitarbeitende aus Spitzenverbänden, Landes- und Regionalstrukturen, dem DOSB, (ehemalige) (Para-)Athleten und (Para-)Athletinnen, Vertreter und Vertreterinnen von Sportstätten, Ligen, Geräteherstellern, der Deutschen Sporthilfe sowie Fachleute aus Sponsoring, Finanzwesen, Sportwissenschaft, Politik, Zivilgesellschaft und Sporttechnologie. Entscheidend war dabei die nachgewiesene Expertise im (Para-)Spitzensport sowie in deutschen Verbandsstrukturen (Studie 1) oder im Bereich sportbezogener Technologien (Studie 2). Trotz der angestrebten Vielfalt bleibt eine gewisse systembedingte Heterogenitätsgrenze bestehen, die potenzielle Verzerrungen mit sich bringen kann (vgl. Winkler & Moser, 2016).

## 2.3 Verbandsübergreifende Delphi

Zur Untersuchung möglicher Zukunftsszenarien im deutschen Spitzensport wurden im Zeitraum von Mai bis August 2024 insgesamt 82 Sportexperten und Sportexpertinnen befragt. Das Panel bestand aus 67 männlichen (~82 %) und 15 weiblichen (~18 %) Teilnehmenden. Alle Panelmitglieder verfügten über umfassende Branchenerfahrung im deutschen Spitzensport; im Mittel 10,67 Jahre. Zehn der zwölf vorgelegten Projektionen orientierten sich am PESTLE-Framework, sodass politische, ökonomische, sozio-kulturelle, technologische sowie ökologische Einflussfaktoren auf den professionellen Spitzensport im Jahr 2040 bewertet wurden. Zwei weitere Projektionen nahmen eine übergreifende Perspektive ein. So werden zentrale strukturelle und wirtschaftliche Zukunftsfragen des Spitzensports thematisiert – darunter die Rolle staatlicher Förderung,

potenzielle Investitionsmodelle, Veränderungen in der Verbandsstruktur, der Rückgang ehrenamtlicher Tätigkeit, Anforderungen an Nachhaltigkeit und Infrastruktur sowie die internationale Konkurrenzfähigkeit.

## 2.4 (Para-)Tech Delphi

Für die Untersuchung technologischer Entwicklungen im (Para-)Spitzensport wurden zwischen Oktober 2024 und Februar 2025 insgesamt 62 Fachpersonen befragt. Davon gaben 32 an, über besondere Expertise im Para-Sport zu verfügen. Das Panel setzte sich aus 49 Männern (~79 %), 11 Frauen (~18 %) und zwei Teilnehmenden ohne Angabe (~3 %) zusammen. Die Teilnehmenden verfügten durchschnittlich über 9,24 Jahre Erfahrung im Bereich (Para-)Spitzensport. Die untersuchten Projektionen decken ein breites Spektrum technologischer Entwicklungen ab – von der Nutzung immersiver Trainingsformen und KI-gestützter Talentsichtung über neue Faninteraktionen und datenbasierte Geschäftsmodelle bis hin zu Fragen der Technophobie, regulatorischen Herausforderungen und verbandsübergreifenden Kooperationen im Para-Sport. Alle 14 Projektionen beziehen sich auf das Jahr 2040 und wurden auf Basis verschiedener Quellen entwickelt (vgl. Markmann et al., 2020). Grundlage bildeten zwei methodische Rahmenkonzepte: die Sportstech-Matrix von Frevel et al. (2020), die technologische Entwicklungen nach Funktion und Nutzergruppen systematisiert, sowie ein ergänzendes Framework zu managementbezogenen Aspekten wie Datenschutz, Ethik und Finanzierung (vgl. Qi et al., 2024). Eine methodische Besonderheit dieser Delphi-Studie bestand darin, dass alle Experten und Expertinnen elf der insgesamt 14 Projektionen jeweils getrennt für den Para- und den Nicht-Para-Spitzensport bewerten mussten. Dadurch sollte ein differenziertes Verständnis potenzieller Entwicklungspfade in beiden Bereichen ermöglicht und strukturelle Unterschiede in den Zukunftseinschätzungen systematisch erfasst werden.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Studienübergreifende Informationen

Das Ziel des Projekts war es, im Rahmen von zwei Delphi-Studien wissenschaftlich valide Szenarien für die Zukunft des deutschen (verbandsübergreifenden) Spitzensports sowie des Para-Spitzensports zu entwickeln. Eine detaillierte Auswertung der Einschätzungen zu jeder einzelnen Projektion (einschließlich der Mittelwerte in den Dimensionen Eintrittswahrscheinlichkeit (EW), Auswirkungen und Wünschbarkeit) sowie ausgewählte Zitate aus den qualitativen Kommentaren der Experten und Expertinnen sind in zwei ausführlichen Studienreports einsehbar. Ergänzend erschien ein Video: zur ersten Studie auf Deutsch, zur zweiten auf Englisch.

### 3.2 Verbandsübergreifende Delphi

Insgesamt verfassten die Experten und Expertinnen 631 schriftliche Kommentare mit einem Gesamtumfang von 25.429 Wörtern, die gemeinsam mit den quantitativen Bewertungen der zwölf Projektionen durch unser Team ausgewertet wurden. Das Panel vergab im Mittel ein Wirkungsrating von 5,0 auf einer siebenstufigen Likert-Skala (1 = sehr gering, 7 = sehr hoch), was die inhaltliche Relevanz der Projektionen unterstreicht und die Qualität des Vorformulierungsprozesses bestätigt. Lediglich bei Projektion zur Abschaffung bzw. Beibehaltung staatlicher Förderung lag der Interquartilsabstand (IQR) der erwarteten EWs bei 30 %. Die Streuung der übrigen Einschätzungen war durchgehend relativ hoch, jedoch konsistent, mit IQR-Werten zwischen 37,5 und 40 %. Insgesamt wurden sechs Projektionen abgelehnt<sup>1</sup>. Dabei handelt es sich überwiegend um Projektionen mit stark zugespitzten Annahmen zu Förderstrukturen, Ehrenamt, eGaming und dem Rückgang institutioneller Infrastruktur, die vom Panel mehrheitlich als wenig realistisch und zugleich nicht wünschenswert eingeschätzt wurden.

<sup>1</sup> Eine Ablehnung definiert sich hierbei als Kombination aus einer EW unter 50 % und einer durchschnittlichen Wünschbarkeit unterhalb von 4,0 Punkten.

Zu den zentralen Schlüsselerkenntnissen der ersten Studie zählt die Einschätzung, dass strukturelle Herausforderungen die Grundlage des Spitzensports in Deutschland zunehmend gefährden. Zwar erreichte die Zahl der Mitgliedschaften im Jahr 2024 einen historischen Höchststand, dennoch sehen die Experten und Expertinnen die Basisstrukturen durch finanzielle Instabilität, zunehmende bürokratische Anforderungen und den Rückgang ehrenamtlichen Engagements ernsthaft bedroht. Während die Tätigkeit ehrenamtlicher Mitarbeitender im Spitzensport auch im Jahr 2040 voraussichtlich eine wichtige Rolle spielen wird (EW 68 %), erwarten die Experten und Expertinnen eine deutliche Verschiebung hin zu stärker hauptamtlich geprägten Strukturen. Im Bereich der Finanzierung wird eine Abkehr von rein staatlicher Förderung als notwendig erachtet. Die Diversifizierung der Finanzierungsquellen gilt als zentrale Voraussetzung für die wirtschaftliche Zukunftsfähigkeit des Spitzensports. Insbesondere Investitionen privatwirtschaftlicher Akteure in Spitzenverbände werden von den Befragten als chancenreich bewertet (EW 59 %). Darüber hinaus weisen die Einschätzungen auf einen wachsenden Professionalisierungs- und Kommerzialisierungsdruck innerhalb der Verbände hin. So wird erwartet, dass künftig vermehrt technische Expertise in die Verbandsarbeit integriert wird, wie etwa durch die Beschäftigung von Technischen Direktoren und Direktorinnen (EW 69 %). Gleichzeitig halten die Experten und Expertinnen es für möglich, dass 2040 mindestens ein Viertel der Spitzenverbände eine Gewinnerzielungsabsicht verfolgt (EW 54 %). Diese Entwicklungen könnten langfristig zu stabileren organisatorischen Strukturen und verbesserten Förderbedingungen beitragen.

Für mehr Details und eine Auflistung aller Projektionen und ihrer Bewertungen wird auf den detaillierten Ergebnisreport verwiesen.

### 3.3 (Para-)Tech Delphi

Für die zweite Studie wurden 446 schriftliche Kommentare mit einem Umfang von 18.297 Wörtern eingereicht und gemeinsam mit den quantitativen Rückmeldungen zu den

14 Projektionen analysiert. Das durchschnittliche Wirkungsrating lag bei 5,2 und bestätigt erneut die inhaltliche Relevanz der Projektionen sowie die Präzision der Vorformulierungen. Nur bei einer Projektion zur regelmäßigen Kommunikation mit virtuellen Athleten und Athletinnen fiel der IQR der EW mit 20 % besonders gering aus – ein Hinweis auf einen hohen Konsens im Sinne der Definition nach von der Gracht (2012). Die Bewertungen der übrigen Projektionen wiesen eine deutlich höhere Streuung auf, mit IQR-Werten zwischen 30 und 60 %. Insgesamt vier Projektionen wurden abgelehnt<sup>1</sup>. Sie betrafen unter anderem Projektionen mit weitreichenden Veränderungen in der Rollenverteilung zwischen Technologie- und Sportexpertise, der Monetarisierung von Leistungsdaten oder der dominanten Rolle technikbasierter Konsumgewohnheiten und Leistungsveränderungen.

Aus der zweiten Erhebung lässt sich ableiten, dass technologische Entwicklungen das Potenzial besitzen, den Spitzensport substanziell zu verändern – dabei aber unterschiedlich auf den Para- und den Nicht-Para-Sport wirken. Besonders zurückhaltend wurden Szenarien mit starkem Systemwandel bewertet. So stieß etwa die uneingeschränkte Nutzung leistungssteigernder Technologien in spezifischen Wettbewerbsformaten auf geringe Zustimmung (Para: EW 42 %, Nicht-Para: 39 %), ebenso wie die Vorstellung, Talentsichtung künftig ausschließlich durch Künstliche Intelligenz abzuwickeln (Para: EW 34 %, Nicht-Para: 50 %). Auch beim virtuellen Training zeigen sich Unterschiede: Während der Nutzen grundsätzlich anerkannt wird, wird die Umsetzung im Para-Sport skeptischer gesehen (Para: EW 60 % zu Nicht-Para: 75 %) – insbesondere aufgrund körperlicher, sensorischer und sportartspezifischer Anforderungen. Die Einschätzung, dass Spitzenverbände künftig große Teile ihrer Förderung in Technologie investieren (Para: EW 36 %), wurde ebenfalls verhalten bewertet. Hohes Potenzial wird Projektionen zugesprochen, die Sichtbarkeit und Teilhabe fördern. Die Idee virtueller Interaktionen mit digitalen Athleten und Athletinnen (EW bis zu 75 %) gilt als chancenreich, trotz wirtschaftlicher Hürden gerade im Para-Sport. Auch die Vorstellung, sportliche Leistungen künftig unabhängig von

Alter, Geschlecht oder Behinderung vergleichbar zu machen, wird als realistisch und attraktiv eingeschätzt (beide Bereiche: EW 67 %). Die enge Zusammenarbeit zwischen Para- und Nicht-Para-Verbänden im Bereich Digitalisierung sowie die Positionierung des Behindertensports als Innovationstreiber wurden als besonders wünschenswert eingeschätzt, wenn auch Zweifel an der Umsetzbarkeit bestehen bleiben.

Besonders aufschlussreich ist der Vergleich zwischen den jeweils den Para- und den Nicht-Para-Sport betreffenden Einschätzungen. Bei mehreren Projektionen zeigen sich signifikante Unterschiede in der erwarteten EW. Auffällig ist, dass bei spezifisch auf den Para-Sport bezogenen Projektionen (etwa zur technologischen Vorreiterrolle einzelner Verbände oder zur stärkeren Digitalisierung inklusiver Strukturen) Experten und Expertinnen aus dem Nicht-Para-Sport tendenziell optimistischere Einschätzungen äußern als diejenigen mit direktem Para-Sport-Bezug. Umgekehrt ergeben sich auch bei einigen Nicht-Para-spezifischen Projektionen Unterschiede: So nahmen Para-Experten und -Expertinnen bei einzelnen Projektionen zur technologischen Regulierung oder zur Dateninfrastruktur im Spitzensport höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten an als die übrigen Panelmitglieder. Ein weiteres Muster zeigt sich bei der Einschätzung potenzieller Auswirkungen: In 20 von 25 Fällen schätzen Nicht-Para-Experten und -Expertinnen die Wirkung eines möglichen Eintretens der Projektionen höher ein als Experten und Expertinnen des Para-Sports.

An dieser Stelle wird ebenfalls auf den detaillierten Ergebnisreport verwiesen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Verbandsübergreifende Delphi

Im Lichte der Projektionsergebnisse zeigt sich ein klarer Handlungsbedarf für die zukünftige Entwicklung des deutschen Spitzensports. Die erhobenen Projektionseinschätzungen verweisen auf strukturelle Herausforderungen, die weit über



technische oder trainingsbezogene Aspekte hinausgehen. Zentral ist die Beobachtung, dass es an einer strategischen Ausrichtung fehlt, die innovationsbezogene, strukturelle und wirtschaftliche Entwicklungen im Spitzensport wirksam miteinander verzahnt. Im Hinblick auf technologiebezogene Querschnittsthemen wie Digitalisierung oder Innovationsmanagement erscheint eine intensivere verbandsübergreifende Zusammenarbeit geboten. Gerade in diesen Feldern eröffnet die systematische Einbindung wirtschaftlicher Akteure, etwa im Rahmen technologischer Partnerschaften, neue Potenziale für Synergien. Darüber hinaus zeigen die Befunde die Relevanz von Anreizmechanismen, um Innovation und Strukturentwicklung aktiv zu fördern. Denkbar wären hier etwa die Koppelung von Fördermitteln an nachweisliche Fortschritte in Bereichen wie Digitalisierung, Nachhaltigkeit oder Organisationsentwicklung. Auch steuerliche Erleichterungen im Kontext erfolgreicher Drittmittelakquise könnten zur Stabilisierung und Weiterentwicklung beitragen. Die oft kontrovers geführte Debatte um Kommerzialisierung verlangt in diesem Zusammenhang eine differenzierte Betrachtung. Weder pauschale Ablehnung noch unkritische Öffnung erscheinen zielführend. Vielmehr braucht es einen regelbasierten Rahmen, der wirtschaftliche Interessen mit gemeinwohlorientierten Zielsetzungen in Einklang bringt. Flankiert durch eine vorausschauende sportpolitische Steuerung kann ein solcher Ansatz langfristig zur Stabilisierung und Innovationsfähigkeit des deutschen Spitzensports beitragen. Solche Öffnungen erfordern jedoch verlässliche steuerliche, rechtliche und sportpolitische Rahmenbedingungen, die zugleich Schutzräume und Entwicklungsmöglichkeiten bieten.

## 4.2 (Para-)Tech Delphi

Aus analytischer Perspektive zeigt sich, dass die größten Herausforderungen im Para-Spitzensport nicht in fehlender Technologie liegen. Zwar erkennen die Experten und Expertinnen das Potenzial neuer Technologien, gleichzeitig schätzen sie deren praktische Umsetzbarkeit deutlich kritischer ein. Das weist darauf hin, dass technologische Lösungen allein nicht ausreichen – sie müssen stärker in die bestehenden Strukturen

und Entscheidungsprozesse integriert werden, um tatsächlich wirksam zu sein. So macht die Diskussion um technologische Entwicklungen im (Para-)Spitzensport deutlich, dass pauschale Übertragbarkeiten auf alle Sportarten oder Zielgruppen wenig zielführend sind. Unterschiedliche Einschätzungen zwischen Experten- und Expertinnengruppen spiegeln divergente Wahrnehmungen von Chancen, Hürden und Umsetzbarkeit im Para-Sport wider – teils bedingt durch begrenzte Einblicke in sportartspezifische oder (infra-)strukturelle Besonderheiten. Gerade im Para-Sport erschweren Faktoren wie Klassifizierungssysteme, kleinere Athleten- und Athletinnenpools oder individuelle Einschränkungen den Einsatz standardisierter Technologien, etwa im KI-gestützten Scouting oder bei immersiven Trainingssimulationen. Gleichzeitig bieten technologische Entwicklungen hier besondere Potenziale – etwa für gerechtere Leistungsbewertung, mehr Sichtbarkeit und höhere Attraktivität. Viele dieser Potenziale sind auch für kleinere, weniger repräsentierte Nicht-Para-Verbände relevant.

Für die Praxis bedeutet dies, dass Technologieentwicklung und -einsatz nicht isoliert erfolgen dürfen, sondern stets kontextsensibel und partizipativ gestaltet werden müssen. Insbesondere im Para-Sport ist der enge Dialog mit Athleten und Athletinnen, Trainern und Trainerinnen sowie Tech-Experten und -Expertinnen essenziell, um realistische und bedarfsgerechte Lösungen zu entwickeln. Idealerweise wird dies durch barrierefreie Infrastrukturen, gezielte Förderprogramme und interdisziplinäre Forschung gestützt. Eine zentrale Empfehlung der Studie ist daher, Entscheidungsgremien stärker mit Para-Experten und -Expertinnen zu besetzen, um Entscheidungen im Sinne des Para-Sports zu treffen. Denn viele der Para-Experten und -Expertinnen äußerten die Sorge, dass Technologie dem Para-Sport nicht das Menschliche nehmen dürfe. Technologische Innovation sollte daher als langfristiger, partizipativer Prozess verstanden werden, der adaptive Strukturen und Zusammenarbeit über Disziplinen hinweg erfordert. Förderprogramme sollten insbesondere kleinere (Para-)Verbände einbeziehen, um technologiebezogene Kompetenzen in Management und Praxis gezielt aufzubauen.

## 5 Literatur

- Balmer, N., Pleasence, P., & Nevill, A. (2012). Evolution and revolution: Gauging the im-pact of technological and technical innovation on Olympic performance. *Journal of Sports Sciences*, 30(11), 1075 – 1083
- Beiderbeck, D., Frevel, N., von der Gracht, H. A., Schmidt, S. L., & Schweitzer, V. M. (2021). Preparing, conducting, and analyzing Delphi surveys: Cross-disciplinary practices, new directions, and advancements. *MethodsX*, 8, 101401. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101401>
- Devaney, L., & Henchion, M. (2018). Who is a Delphi ‘expert’? Reflections on a bioeconomy expert selection procedure from Ireland. *Futures*, 99, 45 – 55. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.03.017>
- Frevel, N., Beiderbeck, D., Schmidt, S. L., & Penkert, B. (2020). Die SportsTech Matrix – ein strukturierendes Element für eine aufstrebende Branche. *Wirtsch Inform Manag* 12, 332 – 341 (2020). <https://doi.org/10.1365/s35764-020-00285-9>
- Haake, S. J. (2009). The impact of technology on sporting performance in Olympic sports. *Journal of Sports Sciences*, 27(13), 1421 – 1431
- Qi, Y., Mohammad Sajadi, S., Baghaei S., Rezaei R., & Li, W. (2024). Digital technologies in sports: Opportunities, challenges, and strategies for safeguarding athlete wellbeing and competitive integrity in the digital era. *Technology in Society*, 77, 102496, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102496>
- Von der Gracht, H. A. (2012). Consensus measurement in Delphi studies: Review and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting and Social Change*, 79, 1525 – 1536. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.01>
- Winkler, J., & Moser, R. (2016). Biases in future-oriented Delphi studies: A cognitive perspective. *Technological forecasting and social change*, 105, 63 – 76. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.01.021>

# Integrität im Sport: Forschungsstand zur Prävention von Integritätsphänomenen im Sport und Herausforderungen in der praktischen Umsetzung

AZ 080303/24-25

Dr. Felix Otto<sup>1</sup>, Prof. Dr. Tim Pawlowski<sup>1</sup>, Prof. Dr. Christian Deutscher<sup>2</sup> & Dr. Finn Spilker<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität Tübingen, <sup>2</sup>Universität Bielefeld

## 1 Problem

Integrität ist das moralische Rückgrat des Sports und gewährleistet die Chancengleichheit aller Beteiligten auf sportlichen Erfolg. Sie erfordert regelkonformes Verhalten sowie die Wahrung eines fairen Wettbewerbs. Gleichzeitig trägt sie wesentlich zur Glaubwürdigkeit des Sports bei, indem sie sicherstellt, dass Leistungen und Ergebnisse auf faire Weise erzielt werden. Sport ist außerdem mehr als ein Leistungsvergleich, da er zentrale Werte wie Fairplay, Toleranz, Teamgeist und Engagement vermitteln kann. Insbesondere Athletinnen und Athleten, Trainerinnen und Trainer sowie Funktionärinnen und Funktionäre haben dabei eine Vorbildfunktion und tragen Verantwortung für integrires Handeln.

Unlautere Praktiken wie Diskriminierung, Doping, Korruption und Spielmanipulation oder sexualisierte Gewalt untergraben jedoch die Integrität des Sports und schädigen seine Glaubwürdigkeit. So verzeichnete zum Beispiel der Report „Betting Corruption and Match Fixing“ des Unternehmens Sportradar für das Jahr 2022 insgesamt 1.212 auffällige Spiele in 12 Sportarten und 92 Ländern<sup>1</sup>. Es ist jedoch zu vermuten, dass die Dunkelziffer höher liegt. In Anbetracht der Prävalenz solcher unlauterer Praktiken wurden unter anderem nationale und internationale Institutionen wie Sport Integrity Australia

oder die WADA gegründet, um die Integrität des Sports zu wahren. Dadurch können sowohl der sportliche Wettbewerb und der gesellschaftliche Stellenwert, als auch der ökonomische Erfolg des Sports profitieren.

Präventionsmaßnahmen spielen dabei eine zentrale Rolle und können in Verhältnis- und Verhaltensprävention unterteilt werden. Während Verhältnisprävention auf strukturelle Maßnahmen wie Regelwerke und Kontrollen abzielt, konzentriert sich die Verhaltensprävention auf individuelle Moral- und Wertebildung. Trotz zahlreicher Studien zu einzelnen integritätsgefährdenden Phänomenen fehlen bislang jedoch ein übergeordnetes Verständnis von Integrität im Sport sowie eine einheitliche, interdisziplinäre Aufarbeitung der bestehenden Präventionsmaßnahmen. So wird beispielsweise in der Forschung zu Doping aus den Bereichen Sportmedizin (z.B. Ulrich et al., 2018), Sportpsychologie (z.B. Madigan et al., 2016) oder Sportökonomie (z.B. Dimant & Deutscher, 2019) kein gemeinsamer Kontext „Integrität im Sport“ diskutiert. Entsprechend ist die Forschung zu Maßnahmen der Verhaltens- bzw. Verhältnisprävention ebenfalls stark fragmentiert.

Ein systematischer Vergleich verschiedener Ansätze kann Synergien sichtbar machen, ihre Wirksamkeit bewerten und so zur nachhaltigen Stärkung von Integrität im Sport beitragen. Diese Expertise verfolgt deshalb das Ziel, bestehendes Wissen aus Forschung und Praxis

<sup>1</sup> Betting-Corruption-And-Match-Fixing-In-2022-2.pdf, sportradar.com.

systematisch zu erfassen und zu analysieren, um eine fundierte Grundlage für effektivere Präventionsstrategien zu schaffen. Dabei soll diese Expertise einen Beitrag zur Stärkung der Integrität im Sport leisten und Empfehlungen für die Weiterentwicklung und Umsetzung zukünftiger Präventionsmaßnahmen ableiten.

## 2 Methode

In einem ersten Schritt werden in diesem Projekt die zentralen Begriffe ‚Integrität‘ und ‚Prävention‘ im Sport sowie die betrachteten integritätsgefährdenden Phänomene definiert und beschrieben. Im Zentrum der Analyse stehen vier ausgewählte Phänomene: Diskriminierung, Doping, Korruption und Spielmanipulation sowie sexualisierte Gewalt. Der aktuelle Forschungsstand zur Prävention dieser integritätsgefährdenden Phänomene wurde mittels einer Scoping Review-Studie analysiert, um Wissenslücken zu identifizieren und Forschungspotenziale aufzuzeigen. Das Scoping Review wurde anhand der PRISMA-ScR Vorgaben unter Einbeziehung von multidisziplinären Datenbanken durchgeführt (PRISMA, 2024; Tricco et al., 2018). Insgesamt wurden von 4.517 erhobenen Artikeln 233 in das Review aufgenommen.

Ein wichtiger Bestandteil des Projekts ist zudem der enge Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis, der im Rahmen eines Dialog-Workshops am 28. November 2024 im Haus des Deutschen Sports in Frankfurt am Main stattfand. Ziel des Workshops war es, bestehendes Wissen und Erkenntnisse aus beiden Bereichen zusammenzuführen und für eine effektivere Präventionsarbeit nutzbar zu machen. Dafür wurde der Forschungsstand zur Prävention vorgestellt und mit Expertinnen und Experten aus dem organisierten Sport diskutiert.

## 3 Ergebnisse

Die übergeordneten Ergebnisse des Scoping Reviews zeigen einen generellen Anstieg der Forschung zu den Integritätsthemen in den letzten 20 Jahren. Die wesentlichen Ergebnisse zu den

einzelnen integritätsgefährdenden Phänomenen können wie folgt zusammengefasst werden:

Die wissenschaftliche Forschung zu Präventionsmaßnahmen im Bereich Diskriminierung ist grundsätzlich noch wenig entwickelt. Obwohl Studien unterschiedliche Formen von Diskriminierung im Sport betrachten und diskutieren, gibt es wenige empirische Arbeiten, die die Effektivität von Präventionsmaßnahmen untersucht haben. Dies erscheint methodisch bei Maßnahmen der Verhältnisprävention auch schwer umsetzbar, auch wenn diese in Studien häufiger als vielversprechende Maßnahmen benannt werden. Im Bereich der Verhaltensprävention fokussieren sich die wissenschaftlichen Studien in der Regel auf spezifische Probleme, wie Homophobie, Rassismus oder Sexismus. Auch wenn dazu Schulungen und Programme im Sport etabliert sind, sind die Effektivität und Bedeutung von Schulungsinhalten und -formen aus wissenschaftlicher und Expertensicht unklar.

Die meisten Studien zur Dopingprävention beziehen sich auf verhältnispräventive Maßnahmen, die im Sport in Deutschland schon umfassend etabliert sind. Sehr häufig werden Monitoring-Systeme und der Kulturwandel thematisiert. Insbesondere einem grundlegenden Kulturwandel wird große Bedeutung beigemessen. In der Praxis zeigen sich jedoch Spannungen zwischen einem bereits beobachtbaren Wandel auf der Ebene der Athletinnen und Athleten und einem anhaltenden Erwartungsdruck aus Gesellschaft und Politik. Auch wenn einige Maßnahmen als effektiv bewertet wurden, wie etwa Monitoring und Sanktionen, wurde ein Großteil der Vorschläge bislang nicht auf ihre tatsächliche Wirksamkeit hin wissenschaftlich überprüft.

Die wissenschaftliche Forschung zu Korruption und Spielmanipulation im Sport zeigt, dass der Fokus auf Maßnahmen der Verhältnisprävention liegt. Nahezu alle analysierten Studien schlagen strukturelle Veränderungen auf der Ebene von Organisationen oder durch gesetzgeberische Eingriffe vor, während verhaltensbezogene Präventionsmaßnahmen deutlich seltener thematisiert werden. In der Verhältnisprävention konzentriert sich die Forschung insbesondere

auf Monitoring-Systeme, Risikomanagement in der Organisationsstruktur, Förderung von Kulturwandel und prozedurale Transparenz. Auch gesetzgeberische Maßnahmen – sowohl nationale als auch internationale – sowie eine Regulierung des Sportwettmarkts werden als wichtig eingestuft. In Bezug auf die Verhaltensprävention schlägt die Forschung insbesondere Schulungen zu Moral, Fehlverhaltenserkennung und allgemeinem Phänomen-Wissen vor. Nur wenige dieser Inhalte, wie etwa Informationen zu Korruption und Spielmanipulation oder Schulungen zum Whistleblowing, wurden bisher auf ihre Wirksamkeit hin untersucht.

Die wissenschaftliche Forschung zu sexualisierter Gewalt im Sport zeigt, dass der Fokus eher auf Maßnahmen der Verhaltensprävention liegt. In diesem Bereich wird insbesondere die Bedeutung zielgruppenspezifischer Schulungen, die sowohl allgemeine Informationen über relevante Phänomene als auch Ansätze zur Enttabuisierung und Sensibilisierung vermitteln, betont. Im Bereich der Verhältnisprävention herrscht weitgehend Übereinstimmung darüber, dass Sportorganisationen Monitoring- und Meldemechanismen etablieren, sich für einen Kulturwandel sowie die Enttabuisierung des Themas einsetzen und die Zusammenarbeit mit unabhängigen und internen Beratungsstellen intensivieren sollten. Auffällig ist jedoch, dass die Effektivität dieser Maßnahmen bislang nicht wissenschaftlich geprüft wurde.

## 4 Diskussion

Die Ergebnisse zu den einzelnen integritätsgefährdenden Phänomenen verdeutlichen den Umfang und die Komplexität von Präventionsarbeit, um die Integrität im Sport zu gewährleisten. Dies spiegelt sich auch in der zeitlichen Entwicklung der Forschung zu den sportspezifischen Integritätsthemen wider. In dem durchgeführten Scoping Review wird dabei deutlich, dass vielfältige Maßnahmen der Verhältnis- und Verhaltensprävention zu den integritätsgefährdenden Phänomenen Diskriminierung, Doping, Korruption und Spielmanipulation sowie sexualisierter Gewalt in wissenschaftlichen Studien

genannt werden. Im Vergleich dazu ist die Evaluierung dieser Präventionsmaßnahmen deutlich seltener Gegenstand von Forschungsarbeiten. Dennoch gibt es bereits Evidenz, dass bestimmte Maßnahmen der Verhältnis- und Verhaltensprävention wirksam sein können. Diese Studien können der Ausgangspunkt für effektive Präventionsarbeit sowie zukünftige Forschung sein.

Studien zu Diskriminierung, Doping, Korruption und Spielmanipulation im Sport fokussieren sich dabei eher auf Verhältnisprävention. Bei sexualisierter Gewalt liegt der Fokus eher auf der Verhaltensprävention. Präventionsmaßnahmen gegen Doping, Korruption und Spielmanipulation sind vor allem auf strukturell-institutioneller Ebene gut implementiert. Ebenso besteht hier ein wissenschaftlicher Konsens über deren Relevanz und Wirkung. Im Gegensatz dazu gibt es für Diskriminierung und sexualisierte Gewalt keine einheitliche Auffassung darüber, welche Präventionsinstrumente effektiv sind.

## 5 Ausblick

Diese Expertise verdeutlicht die Bedeutung von Integrität im Sport, da sie für die aktive Teilnahme am Sport ebenso wie für die Popularität und den Stellenwert des Sports in der Gesellschaft eine fundamentale Funktion hat. Gleichzeitig zeigt sich durch unterschiedlichste integritätsgefährdende Phänomene, dass die Wahrung der Integrität nicht selbstverständlich ist. Es bedarf daher eines aktiven Handelns und funktionierender Präventionsmaßnahmen, dass der Sport einen positiven Beitrag für die Gesellschaft leisten kann. Die Wissenschaft und der organisierte Sport sind sich dabei einig, dass Sport ein sicheres, faires und inklusives Umfeld bieten muss, damit er als integer wahrgenommen wird.

Der Wissensabgleich und Austausch mit Expertinnen und Experten aus dem organisierten Sport zeigt außerdem, dass die Gefahr integritätsgefährdender Phänomene sowie diesbezügliche Präventionsarbeit im Sport in Deutschland bereits einen hohen Stellenwert erfahren. Aus diesem Grund gibt es bei der Umsetzung von Strukturen und Maßnahmen derzeit sichtbare

Fortschritte und Entwicklungen. Hier können wissenschaftliche Studien helfen, fundierte Entscheidungen bei der Ausgestaltung von Präventionsarbeit zu treffen und die Effektivität von neuen Maßnahmen zu beurteilen. Dabei scheinen neue wissenschaftliche Ansätze und Methoden vielversprechend, um die Prävalenz von integritätsgefährdenden Phänomenen zu messen.

Mit Blick auf die Prävention zeigt sich, dass die Förderung eines Kulturwandels bzw. Enttabuisierung und Schulungen zu Moral und ethischem Verhalten wichtige Forschungsthemen sind. Eine inhaltliche Fokussierung darauf in der Zukunft könnte auch aus Sicht des organisierten Sports wichtige Erkenntnisse liefern und helfen, wirksame Prävention zu gestalten.

Ausführliche Informationen sind unter Otto et al. (2025) publiziert.

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D., Horsley, T., Weeks, L., & Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467 – 473.

Ulrich, R., Pope, H. G., Cléret, L., Petróczi, A., Nepusz, T., Schaffer, J., Kanayama, G., Comstock, R. D., & Simon, P. (2018). Doping in two elite athletics competitions assessed by randomized-response surveys. *Sports Medicine*, 48, 211 – 219.

## 6 Literaturverzeichnis

Dimant, E., & Deutscher, C. (2019). Economics of corruption in sports – The special case of doping. In: Downward, P., Frick, B., Humphreys, B., Pawlowski, T., Ruseski, J., & Soebbing, B. (Hrsg.). *Handbook of Sports Economics* (S. 544 – 552). Sage Publications.

Madigan, D. J., Stoeber, J., & Passfield, L. (2016). Perfectionism and attitudes to-wards doping in junior athletes. *Journal of Sports Sciences*, 34(8), 700 – 706.

PRISMA (2024). *PRISMA for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) PDF*. Zuletzt abgerufen am 18.02.2025 auf [https://www.prisma-statement.org/s/PRISMA-ScR-Fillable-Checklist\\_11Sept2019.pdf](https://www.prisma-statement.org/s/PRISMA-ScR-Fillable-Checklist_11Sept2019.pdf)

Otto, F., Pawlowski, T., Deutscher, C., & Spilker, F. (2025, in press). *Integrität im Sport – Forschungsstand zur Prävention von integritätsgefährdenden Phänomenen* (Springer Essentials). Springer.

# Gesellschaftspolitische Einstellungen im organisierten Sport (EiS)

AZ 080908/24

Ulrike Burrmann<sup>1</sup>, Sebastian Braun<sup>1</sup> & Michael Mutz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, <sup>2</sup> Justus-Liebig-Universität Gießen

## 1 Problem

Sportvereinen werden über das aktive Sporttreiben hinausgehende gesellschaftliche Funktionen zugeschrieben. Dazu zählen u. a. die Demokratie-, Sozialisations-, Integrations- und Inklusionsfunktion. Angesichts einer zunehmenden Polarisierung der Gesellschaft rücken diese Funktionen verstärkt in den Fokus gesellschaftspolitischer und sportwissenschaftlicher Debatten (Braun, 2021; Jaitner, 2018; Lamprecht & Nagel, 2022; Nagel et al., 2020). Zugleich werden aber auch menschenfeindliche Verhaltensweisen wie z. B. rassistische Äußerungen auf Sportplätzen zunehmend thematisiert. In dem Projekt werden die komplexen, aber weitgehend unabhängig geführten Diskussionen über den Sportverein als „Schule der Demokratie“ und „Integrationsmotor“ der Gesellschaft auf der einen Seite und als Räume für ausgrenzende, selbstbezügliche und diskriminierende Einstellungen auf der anderen Seite zusammengeführt; denn beide Diskussionslinien gehen von einer sozialisierenden und insofern einstellungsprägenden Wirkung der Sportvereinsmitgliedschaft aus.

Vor diesem Hintergrund haben wir Ausprägungen menschenfeindlicher und mithin rechtsextremer wie aber auch demokratieförderlicher und sozial-integrativer Einstellungen im organisierten Sport untersucht. Unter Einstellungen verstehen wir dabei „Bewertungen von Sachverhalten, Menschen, Gruppen und anderen Arten von Objekten unserer sozialen Welt“ (Haddock & Maio, 2014, S. 198). Einstellungen bestehen aus affektiven, kognitiven und verhaltensbezogenen Facetten und ergeben eine Gesamtbewertung, die positive wie auch negative Konnotationen

aufweisen kann (Lutterbach & Beelmann, 2022). Einstellungen beeinflussen die Art und Weise, wie Individuen die Welt wahrnehmen; sie haben eine handlungsorientierende Funktion und lassen sich oft auf dahinterliegende und allgemeinere Wertorientierungen beziehen (van Deth & Scarbrough, 1995).

Drei Forschungsfragen waren leitend: (1) Inwieweit unterscheiden sich Sportvereinsmitglieder von anderen Vereinsmitgliedern und Nicht-Vereinsmitgliedern im Hinblick auf demokratie- und integrationsförderliche sowie rechtsextreme und menschenfeindliche Einstellungen? (2) Zeigen sich Unterschiede innerhalb der Sportvereinsmitglieder, also z. B. zwischen passiven Mitgliedern und ehrenamtlich oder hauptamtlich tätigen Mitgliedern? (3) Wie hängen demokratie- und integrationsförderliche sowie rechtsextreme und menschenfeindliche Einstellungen zusammen?

## 2 Methode

Um die Forschungsfragen empirisch zu bearbeiten, wurde im Sommer 2024 ein repräsentativer Bevölkerungssurvey durchgeführt. Bundesweit nahmen über 3.000 Personen ab 13 Jahren an einer Online-Umfrage teil. Die Daten sind repräsentativ im Hinblick auf Alter, Geschlecht, Schulbildung und Wohnort für die deutsche Bevölkerung. Um belastbare Aussagen über die Einstellungen von Sportvereinsmitgliedern treffen zu können, erfolgte ein sogenanntes ‚Oversampling‘ der Sportvereinsmitglieder. Über 1.100 Sportvereinsmitglieder wurden befragt.

Für die Stichprobe wurde auf ein bestehendes Panel mit 130.000 aktiven Personen zurückgegriffen, das speziell für die Onlineforschung konzipiert wurde. Das Panel wird fortlaufend aktualisiert. Neben der notwendigen Auffrischung wird damit gewährleistet, dass die Wohnbevölkerung in Deutschland hinreichend repräsentiert ist. Die Umfrage wurde vom Umfrageinstitut Verian (ehemals Kantar) durchgeführt.

Sozial-integrative, demokratieförderliche, rechtsextreme und menschenfeindliche Einstellungen (allgemein und ausgewählte sportspezifisch) wurden mit 14 Kurzskalen erhoben. Die Skalen mit je drei Items konnten auf einer vierstufigen Antwortskala von 1 = trifft nicht zu bis 4 = trifft völlig zu beantwortet werden. Die Cronbachs-Alpha-Werte liegen größtenteils bei  $>.70$  und damit in einem akzeptablen Bereich.

### 3 Ergebnisse

Die hier präsentierten Befunde basieren zum einen auf Häufigkeitsverteilungen. Zum anderen werden Ergebnisse von Regressionsanalysen berichtet, wobei v.a. Sportvereinsmitglieder mit Nicht-Vereinsmitgliedern verglichen oder Vergleiche innerhalb der Sportvereinsstichprobe vorgenommen werden. Eine ausführlichere Ergebnisdarstellung – u. a. auch zu den Zusammenhängen zwischen den Einstellungsdimensionen – findet sich in Burmann et al. (in Druck).

#### (1) Sozial-integrative Einstellungen

Viele Sportvereinsmitglieder weisen hoch ausgeprägte Werte bei den sozial-integrativen Einstellungsdimensionen auf: Jedes vierte Mitglied ist stark geselligkeitsorientiert, weitere zwei Drittel liegen im mittleren Bereich der Skala und nur ca. 4 Prozent geben eine geringe Geselligkeitsorientierung an. Hilfsbereitschaft erreicht noch stärkere Zustimmungswerte: 54 Prozent der Sportvereinsmitglieder schätzen ihre Hilfsbereitschaft als hoch ein, weitere 46 Prozent geben eine mittlere Ausprägung an. Die Sportvereinsmitglieder verfügen zudem über eine ausgeprägte Diversitätsakzeptanz: Bei 39 Prozent der Befragten wird ein hoher, bei weiteren 60 Prozent ein

mittlerer Grad an Diversitätsakzeptanz ermittelt. Sozial-integrative Einstellungen sind v.a. auch bei jenen Sportvereinsmitgliedern stark ausgeprägt, die sich aktiv am Vereinsleben beteiligen sowie Aufgaben oder Funktionen im Sportverein übernehmen. Im Vergleich zu Befragten, die keine Vereinsmitgliedschaft haben, weisen Sportvereinsmitglieder höhere Ausprägungen in den sozial-integrativen Einstellungsdimensionen auf. Die Unterschiede zwischen Sportvereinsmitgliedern und Nicht-Vereinsmitgliedern sind auch nach Kontrolle der Soziodemografie (Geschlecht, Alter, Bildung, Wohnort) signifikant.

#### (2) Demokratieförderliche Einstellungen

Die Skalen zum politischen Vertrauen und zur politischen Selbstwirksamkeit, die oft als grundlegend für die Stabilität und Performanz von Demokratien betrachtet werden, erreichen weniger hohe Zustimmungswerte: 14 Prozent der Befragten weisen ein hohes, weitere 69 Prozent ein mittleres politisches Vertrauen auf. 17 Prozent haben wenig Vertrauen in das politische System. Ein Drittel der Sportvereinsmitglieder sind der starken Überzeugung, dass sie politische Vorgänge verstehen und durch individuelles politisches Engagement beeinflussen können; zwei Drittel von ihnen stimmen den Items der Selbstwirksamkeitsskala zumindest teilweise zu. Das politische Vertrauen von Sportvereinsmitgliedern variiert nicht systematisch mit den im Verein übernommenen Aufgaben oder Funktionen. Überraschend ist allerdings, dass ehrenamtlich bzw. hauptamtlich Tätige im Vergleich zu passiven Sportvereinsmitgliedern eine signifikant geringere politische Selbstwirksamkeit angeben. Auch nach Kontrolle der Soziodemografie weisen Sportvereinsmitglieder gegenüber Nicht-Vereinsmitgliedern signifikant höhere Werte beim politischen Vertrauen und bei der politischen Selbstwirksamkeit auf.

#### (3) Rechtsextreme und menschenfeindliche Einstellungen

Die geringsten Zustimmungswerte erhalten rechtsextreme und menschenfeindliche Einstellungen, wenngleich die Antwortmuster heterogen ausfallen. Sexistischen, rassistischen



und antisemitischen Einstellungen stimmen ein bis vier Prozent der Sportvereinsmitglieder in hohem Ausmaß zu, während ein Viertel bis ein Drittel von ihnen den Items der Skalen zumindest teilweise zustimmt. Mit Bezug zur LGBTIQ+, Ausländer- und Islamfeindlichkeit weisen zwischen acht und 19 Prozent der Befragten hohe Ausprägungen sowie 43 Prozent bis 61 Prozent mittlere Grade an Ressentiments gegenüber diesen Gruppen auf. Knapp 15 Prozent der Sportvereinsmitglieder verharmlosen den Nationalsozialismus in starkem Ausmaß und weitere 59 Prozent zumindest teilweise. Nationalstolz ist bei vielen Sportvereinsmitgliedern stark ausgeprägt. Ein Viertel der Befragten stimmt den Items der Skala überwiegend und weitere zwei Drittel zumindest teilweise zu. Die Ausprägung an rechtsextremen und menschenfeindlichen Einstellungen variiert nicht mit den im Sportverein übernommenen Aufgaben oder Funktionen. Und im Vergleich zu Befragten, die keinem Verein angehören, weisen Sportvereinsmitglieder überwiegend und Mitglieder anderweitiger Vereine signifikant geringere rechtsextreme und menschenfeindliche Einstellungen auf. Die Unterschiede sind jedoch nicht mehr signifikant, wenn in den Regressionsanalysen die Soziodemografie kontrolliert wird. Allerdings wird bei den Sportvereinsmitgliedern ein größerer Nationalstolz ermittelt als bei Nicht-Vereinsmitgliedern. Diese Unterschiede bleiben auch bestehen, wenn Geschlecht, Alter, Bildung und Wohnort kontrolliert werden.

## 4 Diskussion

Die höheren Ausprägungen sozial-integrativer und demokratieförderlicher Einstellungen bei den Sportvereinsmitgliedern im Vergleich zu Nicht-Vereinsmitgliedern könnten auf die in der Vereinsforschung und Sportpolitik seit Langem thematisierten Sozialisationseffekte der Vereinsmitgliedschaft hindeuten. Zugleich weisen die Befunde aber auch darauf hin, dass diese Effekte v.a. durch Mitglieder zustande kommen, die sich aktiv am Vereinsleben beteiligen und Aufgaben bzw. Funktionen im Sportverein übernehmen, also mutmaßlich über einen längeren Zeitraum in die Interaktionszusammenhänge des Vereins-

alltags involviert sind. Die auf den ersten Blick geringer ausgeprägten rechtsextremen und menschenfeindlichen Einstellungen der Sportvereinsmitglieder basieren hingegen auf Selektionseffekten in den Sportvereinen, denn dort sind jüngere und höher gebildete Menschen überrepräsentiert, die solche Einstellungen im Durchschnitt weniger stark vertreten.

Weiterführende Analysen, die den kausalen Anteil in einem Zusammenhang und die Richtung der Kausalität ermitteln könnten, wären aufschlussreich. Dies setzt allerdings im Längsschnitt angelegte Analysen voraus. Solche Daten liegen bislang nicht vor, könnten aber auf der Grundlage der Arbeiten in dem bisherigen Projektkontext erhoben werden. Mit einem Abstand von ca. einem Jahr zu der realisierten Umfrage ließen sich Veränderungen im Hinblick auf Vereinsmitgliedschaften und das ehrenamtliche Engagement im Verein mit Veränderungen in gesellschaftspolitischen Einstellungen in Beziehung setzen und die Frage bearbeiten, inwieweit a) Menschen eher auf Basis gesellschaftspolitischer Einstellungen in Vereine eintreten, sich dort engagieren und diese verlassen oder b) Vereinseintritte, -engagement und -austritte die gesellschaftspolitischen Einstellungen der Menschen beeinflussen. Eine solche zielgenaue Längsschnittstudie wäre nicht nur für Deutschland, sondern auch im internationalen Vergleich einzigartig und sowohl sportwissenschaftlich als auch sportpolitisch von erheblicher Relevanz.

## 5 Literatur

- Braun, S., Albert, K., Alscher, M., & Hansen, S. (2021). A structural shift in voluntary work with refugees. A case study of sports clubs in Germany. In J. Wallis & J. Lambert (Eds.), *Sport Coaching with Diverse Populations. Theory and Practice* (pp. 72 – 84). London.
- Burmann, U., Braun, S., & Mutz, M. (in Druck). *Gesellschaftspolitische Einstellungen im organisierten Sport – Ergebnisse einer bevölkerungsrepräsentativen Befragung in Deutschland 2024*.

Haddock, G., & Maio, G. R. (2014). Einstellungen.  
In K. Jonas, W. Stroebe & M. Hewstone  
(Hrsg.), *Sozialpsychologie* (S. 197 – 230)  
(6. Aufl.). Springer.

Jaitner, D. (2018). Demokratiefunktion.  
In D. Jaitner & S. Körner (Hrsg.), *Soziale  
Funktionen von Sportvereinen. Revisited*  
(S. 95 – 112). Lehmanns.

Lamprecht, M., & Nagel, S. (2022). *Sportsoziologie*.  
Nomos.

Lutterbach, S., & Beelmann, A. (2022). Politische  
Einstellungen Geflüchteter: Zur Wirk-  
samkeit einer Integrationskursteilnahme.  
In A. Beelmann und D. Michelsen (Hrsg.),  
*Rechtsextremismus, Demokratiebildung,  
gesellschaftliche Integration* (S.363 – 382).  
Springer VS.

Nagel, S., Elmoose-Østerlund, K., Ibsen, B., &  
Scheerder, J. (Eds.) (2020). *Functions of  
Sports Clubs in European Societies. A Cross-  
National Comparative Study*. Springer.

Van Deth, J. W., & Scarbrough, E. (Ed.) (1995).  
*The Impact of Values*. University Press.

# Extremismusprävention im organisierten Sport. Eine empirische Studie über Präventionsbemühungen von Sportverbänden und -vereinen in Deutschland

AZ 080919/24

PD Dr. Klaus Seiberth<sup>1</sup>, M.A. Tobias Schleifer<sup>2</sup>, Prof. Dr. Felix Kühnle<sup>2</sup> & Gastprof. PD Dr. habil. Enrico Micheleni<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Universität Stuttgart

<sup>2</sup> Institut für Sportwissenschaft, Technische Universität Darmstadt

<sup>3</sup> Institut für Sportwissenschaft, Humboldt-Universität zu Berlin

## 1 Problem

Extremismus und Menschenfeindlichkeit sind Bedrohungen, mit denen auch der organisierte Sport in Deutschland konfrontiert ist. In Anbetracht dieser Bedrohungen hat sich in den Sportverbänden in den letzten Jahren eine Präventionslandschaft entwickelt, die darauf ausgerichtet ist, Sportvereine bei der Vorbeugung und Bekämpfung von (Rechts-)Extremismus zu unterstützen. Diese Bemühungen spiegeln sich auch in der Sportforschung wider, die sich in den letzten Jahren zunehmend mit Fragen der Prävention von Rechtsextremismus im (organisierten) Sport beschäftigt hat (u. a. Pilz et al., 2014; Ribler, 2012a). Nichtsdestotrotz steht die wissenschaftliche Debatte über Extremismusprävention im Sport noch relativ am Anfang, was nicht zuletzt auch daran liegen dürfte, dass bislang kein systematischer Überblick über die bestehenden programmatischen Aktivitäten zur Extremismusprävention im organisierten Sport vorgelegt wurde. Gleichzeitig mangelt es an empirischen Studien über Sportvereine, die bereits in der Prävention von (Rechts-)Extremismus aktiv geworden sind.

Im Mittelpunkt des vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft im Rahmen des *Bundesprogramms gegen Rechtsextremismus und Menschenfeindlichkeit im Sport* geförderten Forschungsprojekts stehen deshalb zwei übergeordnete

Forschungsfragen, aus denen sich zwei Teilstudien ergeben: *Teilstudie 1* beschäftigt sich mit den programmatischen Aktivitäten der Sportverbände. Dabei geht es insbesondere um die Frage, welche sportpolitischen Programme, Projekte und Maßnahmen zur (Rechts-)Extremismusprävention derzeit bestehen. *Teilstudie 2* richtet den Blick auf Sportvereine, die sich bereits im Feld der Extremismusprävention engagieren. Konkret geht es um die Frage, wie es zum Engagement von Sportvereinen in der Extremismusprävention kommt und wie das Thema dort strukturell verankert wird.

## 2 Theoretische Bezüge

Das Projekt schließt theoretisch an zentrale Konzepte der (Rechts-)Extremismusforschung an und wählt einen organisationstheoretischen Analyserahmen. Extremismus wird dabei als gesellschaftliches Phänomen verstanden, das durch die „fundamentale Ablehnung der politischen Gegebenheiten“ (Pfahl-Traugher, 2019, S. 16) gekennzeichnet ist. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass Extremismus und extremistische Einstellungen auf einer *Ideologie der Ungleichwertigkeit* basieren. Kennzeichnend dafür sei die rigorose Abwertung von Menschen und Gruppen. Eben darauf baut das Konzept der „Gruppenbezogenen Menschenfeindlichkeit“ (GMF),

das in der (Rechts-)Extremismusforschung der letzten Jahre große Bedeutung erlangt hat (Heitmeyer, 2002). In seiner Konsequenz ist (Rechts-)Extremismus gegen die Idee einer offenen und liberalen Gesellschaft gerichtet (Pfahl-Traugher, 2019).

Die Extremismusforschung leitet daraus eine zivilgesellschaftliche Verantwortung zur Prävention von (Rechts-)Extremismus ab. Prävention steht dabei für eine *Handlungslogik*, die auf die Vermeidung und Eindämmung von Extremismus sowie auf die Abwendung negativer Folgewirkungen für Sportvereine und -verbände ausgerichtet ist (Ribler, 2012b). Um die präventiven Aktivitäten der Sportverbände klassifizieren zu können, wird auf ein Modell zurückgegriffen, das zwischen *primärer, sekundärer und tertiärer Prävention* unterscheidet und das sich auch in der sportbezogenen Extremismusprävention durchgesetzt hat (Ribler, 2012b). Die programmatischen Aktivitäten der Sportverbände werden am Leitfaden des St. Galler Management-Modells (Malik, 2009) im Hinblick auf ihre *normative* und *strategische* Ausrichtung untersucht.

Um den Entscheidungsprozess zu rekonstruieren, in dem Sportvereine Extremismusprävention zu ihrer Aufgabe machen und strukturell verankern, wird auf organisationstheoretische Überlegungen der neueren soziologischen Systemtheorie zurückgegriffen (Luhmann, 2006). Demnach stellen Sportvereine Entscheidungsverbünde dar, die aus kommunizierten Entscheidungen bestehen und eine Reihe von strukturellen Besonderheiten aufweisen (Thiel & Meier, 2004). Den Entscheidungsrahmen bilden dabei die sogenannten „Entscheidungsprämissen“ (Luhmann, 2006, S. 86). In Anbetracht der Tatsache, dass Extremismusprävention ein zusätzliches und begründungsbedürftiges Thema darstellt, sind jene Bedingungen und Prozesse zu rekonstruieren, vor deren Hintergrund sich Sportvereine für eine Bearbeitung des Themas entscheiden und Extremismusprävention im Verein strukturell verankern.

### 3 Methode

Der Studie liegt ein qualitatives Forschungsdesign zugrunde, bei dem unterschiedliche Methoden der Datenerhebung eingesetzt wurden. Zur Untersuchung der Präventionsprogramme von Sportverbänden (Teilstudie 1) wurden Expertiseinterviews und Dokumentenanalysen eingesetzt. Konkret wurden fünf Interviews mit Fachleuten geführt und über 380 offizielle Dokumente der Landessportbünde, Spitzenverbände und Verbände mit besonderen Aufgaben ausgewertet. In Teilstudie 2 wurden neun Fallanalysen erstellt und 20 leitfadengestützte Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern aus ausgewählten Sportvereinen geführt. Beim Sampling wurden sowohl populäre Sportarten wie Fußball als auch weniger verbreitete berücksichtigt. Zudem wurden Sportarten einbezogen, die ein erhöhtes Gefährdungspotenzial für extremistische Einflüsse aufweisen, wie insbesondere der Schießsport und Kampfsportarten. Als Grundlage für die Vereinsauswahl diente außerdem die Vereinstypologie nach Baur und Braun (2001), welche Sportvereine anhand der Mitgliederanzahl sowie der Stellenstruktur (hauptberuflich oder ehrenamtlich) kategorisiert und weiterhin zwischen Solidargemeinschaft und Dienstleistungsorganisation unterscheidet. Die Datenanalyse der beiden Teilstudien erfolgte theoriegeleitet mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring, 2015).

### 4 Ergebnisse

Teilstudie 1 verweist auf eine große Vielfalt an programmatischen Aktivitäten. Landessportbünde, Spitzenverbände und Verbände mit besonderen Aufgaben engagieren sich in unterschiedlichem Maße im Bereich der Extremismusprävention. Die Landessportbünde (und ihre Sportjugenden) nehmen zweifellos eine Schlüsselrolle auf Verbandsebene ein. Die Präventionslandschaft der Landessportbünde erstreckt sich über nahezu alle Bundesländer und weist eine hohe Abhängigkeit von staatlich-politischen Förderprogrammen auf. Dem Förderprogramm „Zusammenhalt durch Teilhabe“ (Z:T) kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Auffällig ist außerdem die starke

Vernetzung mit außersportlichen Einrichtungen der (Rechts-)Extremismusprävention. Im Vergleich mit den Landessportbünden haben die Spitzenverbände sowie die Verbände mit besonderen Aufgaben das Thema deutlich weniger programmatisch verankert. Weiterhin ist der Vernetzungsgrad dieser beiden Verbandstypen mit anderen Einrichtungen der Extremismusprävention deutlich geringer. Grundsätzlich sind die programmatischen Aktivitäten der Sportverbände fast ausschließlich auf die Prävention von Rechtsextremismus ausgerichtet. Auf der Ebene der normativen Ausrichtung wird deutlich, dass die Zielbeschreibungen zwar durchaus variieren, sich konzeptionell jedoch stark an den Schwerpunkten der Förderprogramme ausrichten. Wenngleich bei der strategischen Ausrichtung präsentatorische Formate mit primärpräventivem Anspruch dominieren, finden sich interaktive Formate, denen ein sekundär- oder tertiärpräventiver Anspruch zugrunde liegt.

Teilstudie 2 liefert umfangreiche Einblicke in die Initiierung und strukturelle Verankerung des Themas. Die neun Fallstudien machen diverse Konstellationen sichtbar, unter denen Extremismus und Extremismusprävention im Verein zum Thema werden. Neben externen Anlässen sind es mitunter auch Vorfälle innerhalb des Vereins, persönliche Erfahrungen oder berufliche Prägungen, über die das Thema den Weg in den Verein findet. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Initiative und dem Engagement einzelner Vereinsmitglieder zu, die z. B. auf Missstände hinweisen oder das Thema in den Vorstand bringen. Legitimiert wird das Thema in der Regel normativ – z. B. durch den Verweis auf die zivilgesellschaftliche Verantwortung des Vereins, die Werte des Sports sowie die Organisations- bzw. Abteilungskultur. Die strukturelle Verankerung des Themas ist über das persönliche Engagement einzelner Mitglieder auch vom Selbstverständnis des Vereins abhängig. Auf programmatischer Ebene wird das Thema vor allem in Satzungen oder Leitbildern verankert. Daneben finden sich auch Vereine, die spezifische Ämter ausdifferenzieren oder das Thema in den Zuständigkeitsbereich von Hauptamtlichen legen. Eine wesentliche Voraussetzung scheint darin zu bestehen, dass

das Thema regelmäßig auf der Agenda von relevanten Vereinsgremien landet und auch nach außen sichtbar gemacht wird.

## 5 Diskussion

Auf Grundlage der empirischen Befunde lassen sich Handlungsempfehlungen für Sportverbände, Sportvereine und politische Entscheidungsträger ableiten.

### Handlungsempfehlungen für Sportverbände

*Unterstützung und Entstigmatisierung:* Für Sportverbände besteht die Herausforderung in besonderer Weise darin, Extremismusprävention in den Vereinen gezielt zu fördern. Die Bekämpfung von Extremismus im Sport kann dadurch gestärkt werden, dass Vereine, die mit extremistischen Vorfällen in ihren eigenen Reihen konfrontiert sind, sich ohne Angst vor Stigmatisierung Unterstützung bei den Verbänden suchen können. Sportverbände sind aufgefordert, Formate zu entwickeln, die die Bearbeitung solcher Fälle als Chance nutzen, einen lösungsorientierten Umgang mit extremistischen Phänomenen fördern und den Vereinen die Angst vor einem „Outing“ nehmen.

*Förderung mimetischer Prozesse:* Bislang begründen viele Verbände ihr Engagement gegen Extremismus vor allem mit der Förderung demokratischer Werte und den Idealen des Sports. Unsere Forschungsergebnisse zeigen, dass ein extremismuspräventives Engagement Vereine auch für neue Zielgruppen wie Familien attraktiver machen oder die Akquise von Fördermitteln erleichtern kann. Der Hinweis auf solche funktionalen Aspekte könnte auch in solchen Vereinen Nachahmungsprozesse in Gang setzen, die das Thema bislang noch nicht adressiert haben. Hierzu könnten professionell aufbereitete Best-Practice-Beispiele (z. B. in Form von Videos/Clips) beitragen.

*Ausbau und Stärkung von Netzwerken:* Dem Ausbau von neuen und der verstärkten Nutzung von bestehenden Netzwerken dürfte eine große Be-

deutung zukommen, um engagierte, sensibilisierte und interessierte Vereine gezielt miteinander zu vernetzen und den Erfahrungsaustausch anzuregen. Besonders wichtig dürfte die enge Zusammenarbeit zwischen sportartübergreifenden Sportbünden (DOSB/dsj, Landessportbünde) und sportartspezifischen Fachverbänden sowie mit den Verbänden mit besonderen Aufgaben sein. Darüber hinaus profitieren Sportverbände von einer engeren Vernetzung mit außersportlichen Einrichtungen der Extremismusprävention. Eine systematische Zusammenarbeit mit zivilgesellschaftlichen Initiativen und staatlichen Präventionsstellen bietet Zugang zu erprobten Präventionskonzepten, Materialien und personellen Ressourcen.

## Handlungsempfehlungen für Sportvereine

*Anlässe und Zeitfenster nutzen:* Unsere Befunde machen deutlich, dass die Sensibilität und interne Anschlussfähigkeit der Vereine für das Thema häufig im Zuge konkreter Ereignisse und Entwicklungen gesteigert werden, die das Problem in Ausmaß und Dringlichkeit sichtbar machen. Die resultierende Aufmerksamkeit liefert Anschlussoptionen für die kommunikative Adressierung von Extremismusprävention in Sportvereinen.

*Strukturelle Verankerung der Extremismusprävention:* Vereine begründen Ansprüche der Extremismusprävention vor allem mit ihrer gesellschaftlichen Verantwortung, nehmen sie jedoch gleichzeitig als zusätzliche Aufgabe zum Tagesgeschäft wahr. Eine nachhaltige Verankerung kann vor allem dann gelingen, wenn die Präventionsarbeit mit zentralen Zielen und Relevanzkriterien des Vereins verknüpft wird. Unsere Studie zeigt deutlich, dass das Thema innerhalb des Vereins in hohem Maße von Einzelpersonen oder kleinen Gruppen vorangetrieben wird, die sich aus persönlicher Überzeugung oder aufgrund ihres beruflichen Hintergrunds engagieren. Damit die Präventionsarbeit langfristig betrieben wird, sollte sie allerdings nicht allein vom Engagement Einzelner abhängen, sondern auf der Personalebene verankert werden. Dies kann durch die Erweiterung bestehender Ämter,

die Schaffung neuer Ämter oder auch die Einbindung hauptberuflicher Stellen unterstützt werden. Ferner ist das Thema regelmäßig in die offiziellen Kommunikationswege einzuspeisen und durch Beschlüsse in Gremien wie Mitgliederversammlungen und Vorstandssitzungen zu legitimieren.

## Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungstragende

*Langfristige Sicherstellung von Fördermitteln:* Unsere Forschung zeigt, dass programmatische Aktivitäten ohne gesicherte Finanzierung oft weder weiterentwickelt noch fortgeführt werden können. Die kontinuierliche Bereitstellung von Mitteln ermöglicht es Sportverbänden, Extremismusprävention langfristig in ihre Strategien zur Verbandsentwicklung zu integrieren und entsprechende Maßnahmen strukturell abzusichern. Langfristige Bundes- und Landesförderprogramme sind essenziell, um Sportverbänden und -vereinen einen niedrighschwelligen Zugang zu Ressourcen für die Extremismusprävention zu ermöglichen.

*Ausrichtung von Förderprogrammen:* Derzeit weisen die staatlichen Förderprogramme eine starke Fokussierung auf das Phänomen *Rechts extremismus* auf und setzen den Sportverbänden und Sportvereinen einen vergleichsweise engen Rahmen. Eine größere Flexibilität in der Wahl thematischer Schwerpunkte könnte die Entwicklung maßgeschneiderter Präventionskonzepte für verschiedene Formen von Extremismus im organisierten Sport begünstigen. Während Sportverbände derzeit häufig eigenständige Programme etablieren, könnte das extremismuspräventive Engagement alternativ in thematisch verwandte Programme eingebunden werden. Hier dürfte sich insbesondere das Programm „Integration durch Sport“ anbieten, das bereits seit Jahrzehnten besteht und in jedem Landessportbund über etablierte Strukturen sowie personelle Ressourcen verfügt.

*Intensivierung von Forschungsförderung:* Extremismus und Extremismusprävention sind in der deutschen Sportforschung bislang allenfalls Randthemen. In Anbetracht der gesellschaftlichen

Relevanz des Themas ist dieser Umstand vor allem auf fehlende Steuerungsimpulse durch die politische Forschungsförderung zurückzuführen. Auch Forschende sind auf die Existenz spezifischer Förderprogramme angewiesen, die die Bearbeitung des Themas stimulieren. Während staatliche Förderprogramme gegen (Rechts-)Extremismus in den letzten beiden Jahrzehnten erheblich zugenommen haben und eine wichtige Grundlage für eine vielfältige Präventionslandschaft im organisierten Sport schaffen konnten, wurden vergleichsweise wenig Fördermittel für die wissenschaftliche Erforschung des Themenfeldes zur Verfügung gestellt. Wir empfehlen, die Forschung zu Extremismus und Extremismusprävention im Sport stärker und kontinuierlicher als bislang zu fördern, damit sich das Thema in der Sportforschung etablieren kann.

## 6 Literatur

- Baur, J., & Braun, S. (2001). Sportvereinsforschung in Deutschland. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 31(2), 199 – 212. <https://doi.org/10.1007/BF03175688>
- Luhmann, N. (2006). *Organisation und Entscheidung* (2. Aufl.). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Malik, F. (2009). *Systemisches Management. Evolution, Selbstorganisation. Grundprobleme, Funktionsmechanismen und Lösungsansätze für komplexe Systeme* (5. Aufl.). Haupt.
- Pfahl-Traughber, A. (2019). *Rechtsextremismus in Deutschland. Eine kritische Bestandsaufnahme*. Springer VS.
- Pilz, G. A., Behn, S., Harzer, E., Lynen von Berg, H., & Selmer, N. (2014). *Rechtsextremismus im Sport in Deutschland und im internationalen Vergleich* (2. Aufl.). Sportverl. Strauß.
- Ribler, A. (2012a). Interkulturelles Konfliktmanagement im Jugend- und Amateurfußball: ein Beitrag zur Rassismus-Prävention im Sport. *Migration und soziale Arbeit*(1), 23 – 31.
- Ribler, A. (2012b). Sportjugend Hessen: Beratung und Unterstützung von Sportvereinen in der Auseinandersetzung mit Rechtsextremismus. In S. Bundschuh, A. Drücker & T. Scholle (Hrsg.), *Wegweiser Jugendarbeit gegen Rechtsextremismus. Motive, Praxisbeispiele und Handlungsperspektiven* (S. 201 – 211). Wochenschau Verlag.
- Thiel, A., & Meier, H. (2004). Überleben durch Abwehr – Zur Lernfähigkeit des Sportvereins. *Sport und Gesellschaft*, 1(2), 103 – 124. <https://doi.org/10.1515/sug-2004-0202>

# Chancen und Grenzen von Demokratiebildung in Sportvereinen (DeBiS)

## Eine multimethodische Analyse von Maßnahmen und Ansätzen der Demokratiebildung in Kooperation mit Vereinen der Pilotprojekte des Bundesprogramms gegen Rechtsextremismus im Sport

AZ 080920/24

Christian Gaum (Projektleitung)<sup>1</sup>, David Jaitner<sup>2</sup>, Alexander Ratzmann<sup>1</sup>, Annika Steinmann<sup>2</sup> & Torben Casser<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sportwissenschaft, LFB-Sportpädagogik

<sup>2</sup> Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Pädagogik und Philosophie, Abt. Pädagogik

### 1 Problem

Freiwillige Vereinigungen gelten als zentrale Träger demokratischer Zivilgesellschaft (Braun, 2017; Richter et al., 2016; Zimmer, 2007). Der organisierte Sport in Deutschland übernimmt dabei als gesellschaftliches Massenphänomen eine besondere Verantwortung: Sportvereine gelten als *Schulen der Demokratie*, sie ermöglichen Partizipation, fördern demokratisches Verhalten und leisten durch freiwilliges Engagement einen Beitrag zum gesellschaftlichen Zusammenhalt. Trotz dieser vielfach formulierten Ansprüche fehlt bislang eine fundierte empirische Grundlage: Das Verhältnis von Sportvereinen zur Demokratiebildung ist kaum systematisch untersucht, vorhandene Studien bleiben punktuell (Ahlrichs & Fritz, 2021; Jaitner, 2017). Unklar ist daher, ob und wie demokratische Strukturen im Vereinsleben tatsächlich umgesetzt werden, ob Mitglieder entsprechende Erfahrungen machen und welche konkreten Bedingungen förderlich oder hinderlich wirken.

Vor diesem Hintergrund adressiert das Projekt DeBiS zwei zentrale Forschungslücken:

- Erstens fehlt eine systematische Übersicht über Konzepte von Demokratiebildung im Kontext von Sportvereinen. Der Forschungsstand soll dafür aufbereitet und in Bezug zum Diskurs zwischen politischer Bildung und Demokratiebildung gesetzt werden.
- Zweitens mangelt es an empirischen Erkenntnissen zur praktischen Umsetzung demokratiebildender Maßnahmen. Dabei interessieren insbesondere deren Wirkungen sowie strukturelle, organisationale und personale Einflussfaktoren.

### 2 Methode

Ziel des Projekts war es, fundierte Erkenntnisse zu Potenzialen und Grenzen von Demokratiebildung in Sportvereinen zu gewinnen. Dazu wurde einerseits der Forschungsstand zu Funktionen und Konzepten von Demokratiebildung im und außerhalb des Sports systematisch aufgearbeitet, um eine disziplinübergreifende



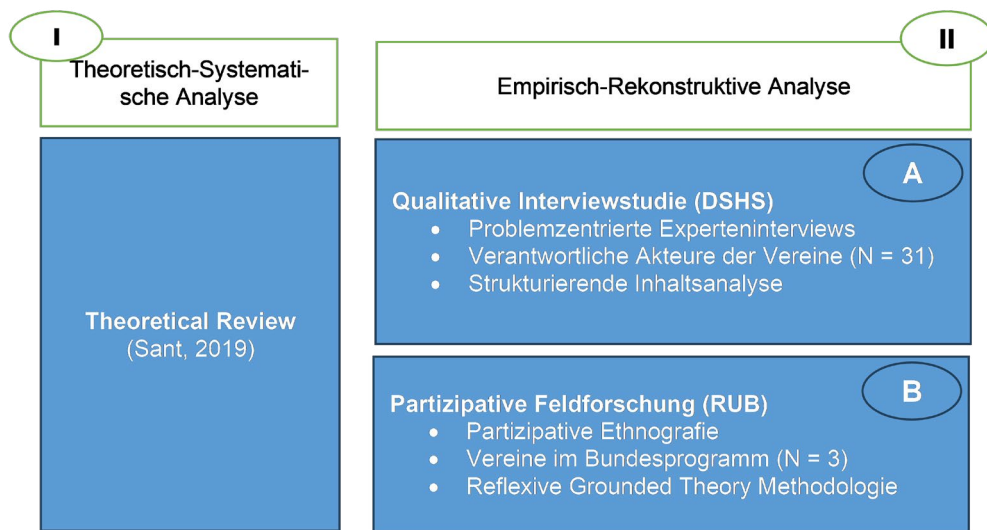


Abb. 1: Projektdesign DeBiS.

Übersicht zu schaffen. Andererseits zielte das Projekt auf die empirische Analyse struktureller, kommunikativer und personeller Bedingungen, die demokratiebildende Prozesse in Sportvereinen begünstigen oder behindern.

Die Umsetzung erfolgte über ein zweigeteiltes Forschungsdesign mit einer theoretisch-systematischen Analyse und einer empirisch-rekonstruktiven Untersuchung mit zwei Zugängen (siehe Abbildung 1).

## Theoretische Analyse (Teil I)

Im ersten Schritt wurde eine systematische Literaturrecherche im Sinne eines *Theoretical Review* durchgeführt. Basis waren 258 wissenschaftliche Publikationen aus sechs Disziplinen sowie 20 Experten- und Expertinneninterviews mit Forschenden unterschiedlicher Fachrichtungen. Die Interviews dienten sowohl der Ergänzung als auch der Validierung zentraler Konzepte von Demokratiebildung. Ergebnis ist eine strukturierte Übersicht zentraler Begrifflichkeiten und Denkansätze, die für Sportvereine als Reflexions- und Planungshilfe aufbereitet wurde.

## Empirische Analyse (Teil II)

- Zur retrospektiven Analyse wurden 31 problemzentrierte Interviews mit verantwortungstragenden Personen aus zehn Sportvereinen geführt, die zuvor Maßnahmen der strukturellen Demokratiebildung umgesetzt hatten – darunter vier Pilotprojekte des Bundesprogramms gegen Rechtsextremismus im Sport (Förderrunde 2023). Die Auswertung erfolgte computergestützt mittels strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) und führte zur Entwicklung eines deduktiv-induktiven Kategoriensystems.
- Drei weitere Pilotprojekte wurden ethnografisch im laufenden Umsetzungsprozess begleitet (Mai bis Oktober 2024). Die Erhebung kombinierte Präsenzbesuche mit digitalen Kontakten (Videokonferenzen, E-Mails etc.). Der Datenkorpus umfasste u. a. ca. 50 Seiten Feldprotokolle, Projektunterlagen, 21 Audio-/Videoaufnahmen, 175 Fotos sowie 14 Einzel- und Gruppengespräche mit verantwortungstragenden Personen des Vereins. Die Auswertung erfolgte nach den Kodierprinzipien der Grounded Theory (Strauss & Corbin, 1996).

### 3 Ergebnisse

Sportvereine sind wichtige soziale Räume für non-formale Bildungsprozesse und können eine bedeutende Funktion im gesamtgesellschaftlichen Projekt einnehmen, Demokratie als Herrschafts- und Lebensform auf Dauer zu stellen. Gleichwohl bleiben die Potenziale des organisierten Sports zu Demokratiebildung und politischer Bildung häufig ungenutzt, da es an Bewusstsein und methodischem Wissen zur systematischen Implementierung entsprechender Angebote fehlt. Das Conceptual Diagram ordnet zentrale Konzepte in drei primäre Bildungsmodi („Leben“, „Einsicht“, „Kritik“), differenziert diese thematisch aus und stellt die Ergebnisse in einer praxistauglichen Visualisierung dar. Damit werden die disziplinübergreifenden wissenschaftlichen Konzepte zu Demokratiebildung und politischer Bildung systematisch strukturiert und für die Praxis des organisierten Sports aufbereitet.

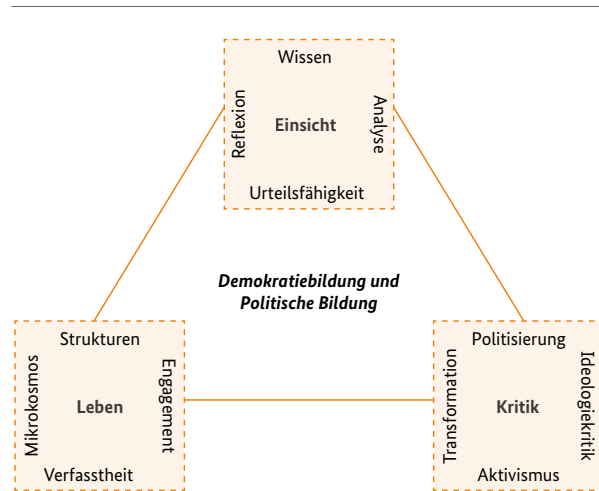


Abb. 2: Conceptual Diagram.

Das Gelingen und Misslingen von Maßnahmen struktureller Demokratiebildung in Sportvereinen, die sich an den oben genannten Modi orientieren, ist durch ein Gefüge aus Entstehungsbedingungen und Einflussgrößen bedingt.

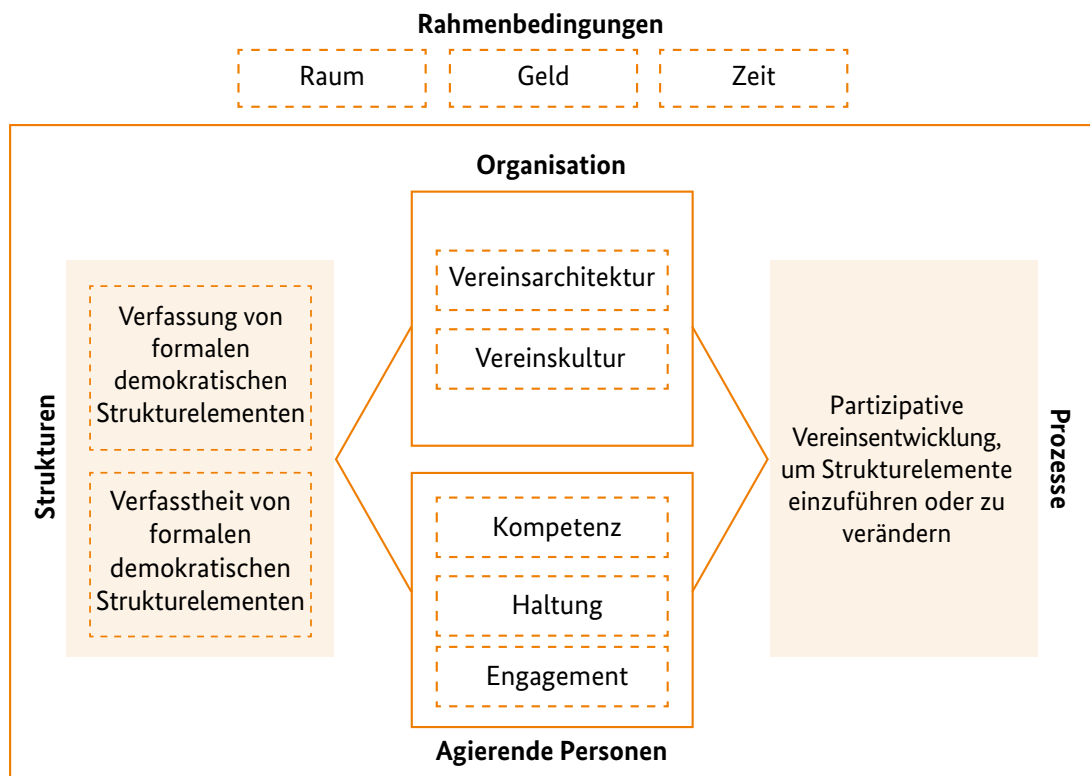


Abb. 3: Gelingens- und Misslingensbedingungen für strukturelle Demokratiebildung in Sportvereinen.

Die Entstehungsbedingungen markieren zwei grundsätzliche Möglichkeitsräume (Strukturen und Prozess), in denen sich strukturelle Demokratiebildung in Sportvereinen vollziehen kann. Strukturen beziehen sich auf demokratische Strukturelemente, die Sportvereine als freiwillige Organisationen formal kennzeichnen oder die diese sich darüber hinaus zusätzlich für den Gesamtverein oder einzelne Gruppen (z.B. Kinder, Jugendliche, ältere Vereinsmitglieder) selbst gegeben haben, um das gemeinsame Miteinander und die gemeinsame Zeit auf eine bestimmte Zeit zu regeln. In diesem Zusammenhang tragen sowohl die Existenz der Strukturelemente, d.h. die Verfassung, die sich der Verein gegeben hat, als auch die Verfasstheit, d. h. die Praxis, wie diese Strukturelemente im Verein gelebt werden, demokratiebildende Potenziale in sich. Prozesse beziehen sich auf Vorgänge und Abläufe, in denen entsprechende demokratische Strukturelemente in Sportvereinen eingeführt oder maßgeblich verändert werden. Einführung oder Veränderungen von Strukturen haben dabei insbesondere dann ein demokratiebildendes Potenzial, wenn im Zuge partizipativer Vereinsentwicklungsprozesse über einen oftmals länger andauernden Zeitraum auf eine bestimmte Weise miteinander im Verein an einem gemeinsamen Ziel hingearbeitet wird.

Einflussgrößen sind Faktoren, die maßgeblich dafür sind, ob strukturelle Demokratiebildung in Sportvereinen gelingt oder misslingt. Im Rahmen des Projekts lassen sich drei entscheidende Einflussgrößen identifizieren: Organisation, agierende Personen, Rahmenbedingungen. Organisationale Faktoren beziehen sich auf die Organisationsstruktur der Vereine (Vereinsarchitektur) und symbolische Grundannahmen, die sich darauf auswirken, wie Sportvereine organisiert sind und wie in Sportvereinen miteinander gearbeitet und umgegangen wird (Vereinskultur). Auf Ebene der agierenden Personen sind die personalen Voraussetzungen der Vereinsmitglieder in ihren verschiedenen Rollen (v.a. Kompetenzen, Haltungen, freiwilliges und ehrenamtliches Engagement im Verein) verortet. Die Rahmenbedingungen bündeln jeweils mehrgliedrige räumliche, finanzielle und zeitliche Voraussetzungen, die strukturelle Demokratiebildungsprozesse in Sportvereinen positiv oder negativ beeinflussen können.

Der prozessbegleitende ethnographische Zugang konnte im Rahmen der partizipativen Feldforschung insbesondere im Hinblick auf das projektbezogene Handeln der Agierenden umfassende Einblicke generieren. Im Prozess der offenen und axialen Kodierung konnten drei zentrale Kategorien herausgearbeitet werden, die das Handeln der Agierenden in der Praxis beschreiben und die im Hinblick auf die Forschungsfrage von besonderer Relevanz sind.

1. **Demokratieverständnis:** Die Vorstellungen von Demokratie variieren stark – sowohl zwischen als auch innerhalb von Vereinen. Dieses Verständnis hat entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung und Umsetzung demokratiebezogener Maßnahmen. Wesentliche Probleme bei der Durchführung entstehen ohne Klarheit über die heterogenen und oft impliziten Vorstellungen von Demokratie im Verein.
2. **(De-)Professionalisierung:** Ehrenamtlich Engagierte äußerten vielfach Unsicherheiten im Umgang mit Demokratiefragen und beklagten unzureichende Unterstützung durch Verbände und Wissenschaft. Die Notwendigkeit gezielter Professionalisierungsmaßnahmen wurde deutlich betont. Dies bezieht sich nicht nur auf die Durchführung, sondern betrifft bereits die Bemühungen um Fördermittel.
3. **Netzwerke und Einbettung:** Lokale und soziale Netzwerke fungieren sowohl als Ressource als auch als potenzielles Hindernis. Sie sind entscheidend für die Verankerung von Demokratiebildung, den Ausgleich fehlender Kompetenzen und die Initiierung struktureller Veränderungen.

Alle drei Kategorien sind mehrdeutig und wirken je nach Kontext förderlich oder hinderlich. Ihre konkrete Ausprägung ist eng an lokale Bedingungen und vereinsinterne Dynamiken gebunden. Demokratische Bildung im Sportverein ist somit kein Automatismus, sondern ein vielschichtiger, kontextabhängiger Prozess, der bewusste Gestaltung und Unterstützung erfordert.

## 4 Diskussion unter besonderer Berücksichtigung von Transfer und Praxis

Demokratie ist nicht nur eine politische Herrschaftsform, sondern auch eine gesellschaftliche Lebensform, die aktiv gelebt und gelernt werden muss. Bildung und Erfahrung spielen dabei eine zentrale Rolle – insbesondere in zivilgesellschaftlichen Räumen wie Sportvereinen.

Sportvereine bieten als niederschwellige, lebensweltnahe Orte wichtige Chancen, demokratische Werte erfahrbar zu machen. Sie ermöglichen Teilhabe, fördern Verantwortung und stärken den sozialen Zusammenhalt. Damit besitzen sie ein hohes Potenzial für Demokratiebildung – ein Potenzial, das allerdings bislang nicht systematisch ausgeschöpft wird.

Im Projekt *DeBiS* wurde daher großer Wert auf den Transfer in die Praxis gelegt. Die partizipative Forschungsstrategie ermöglichte eine enge Zusammenarbeit mit Vereinen aus dem „Bundesprogramm gegen Rechtsextremismus im Sport“ sowie weiteren Modellprojekten. Zudem wurden bestehende Netzwerke wie *Sport & Politik für Fairness, Respekt und Menschenwürde* (dsj) und *Sport meets politische Bildung* (LSB Niedersachsen) gezielt eingebunden.

Die Dissemination der Projektergebnisse erfolgte entlang einer zweigleisigen Strategie:

1. Kommunikation wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis
2. Kooperative Entwicklung praxisnaher Materialien gemeinsam mit verantwortungstragenden Personen der Vereine

Ein zentrales Produkt dieses Transfers ist ein umfangreicher Materialkoffer zur Demokratiebildung, der vielfältige Formate zur Unterstützung vereinsinterner Bildungsprozesse bereitstellt – u.a. Lernvideos, Reflexionsmethoden und Fallbeispiele. Die Materialien zielen darauf, Vereinsmitglieder für die Bedeutung und die unterschiedlichen Ausprägungen von Demokratie zu sensibilisieren.

Gerade weil der Begriff „Demokratie“ im Vereinsalltag häufig als selbstverständlich erscheint, ist es wichtig, unterschiedliche Verständnisse sichtbar zu machen und zum Ausgangspunkt für gemeinsame Lernprozesse zu machen. Die Praxismaterialien unterstützen Sportvereine dabei, demokratische Prinzipien im Alltag konkret zu leben – durch Mitbestimmung, Transparenz und respektvolles Miteinander.

**Materialkoffer online abrufbar unter:**

<https://dshs-koeln.sciebo.de/s/4ad38F9RSr2lsZd>

## 5 Literatur

- Ahlrichs, R., & Fritz, F. (2021). Sportvereine als Orte von politischer Bildung und Demokratiebildung. Ergebnisse ausgewählter Evaluations- und Forschungsprojekte im Spiegel des 16. Kinder- und Jugendberichts. *Forum Kinder- und Jugendsport*, 2, 6 – 14.
- Braun, S. (2017). *Ehrenamtliches und freiwilliges Engagement im Sport im Spiegel der Freiwilligensurveys von 1999 bis 2009*. Bundesinstitut für Sportwissenschaft.
- Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (5. Aufl.). Beltz Juventa.
- Jaitner, D. (2017). *Sportvereine als „Schulen der Demokratie“? – Eine pragmatistische Perspektive*. Lehmanns media.
- Richter, H., Sturzenhecker, B., & Maykus, S. (2016). Wo wird Mensch Demokrat? Anfragen zur Demokratiebildung in (Sport-)Vereinen. *Neue Praxis: Zeitschrift für Sozialarbeit, Sozialpädagogik und Sozialpolitik*, 46 (6), 603 – 611.
- Strauss, A. L., & Corbin, J. M. (1996). *Grounded Theory. Grundlagen Qualitativer Sozialforschung*. Beltz.
- Zimmer, A. (2007). *Vereine – Zivilgesellschaft konkret* (2. Aufl.). VS.

**Projektbezogene Veröffentlichungen:**

Jaitner, D., & Gaum, C. (2025). *Konzepte der Demokratiebildung und politischen Bildung – eine Übersicht (nicht nur) für den organisierten (Vereins-)Sport*. BISp-/BMI-Publikation.

# 3 Ingenieurwissenschaft

# Nachhaltigkeit von Sportstätten (Neubau Indoor): Musterbewertungs- system für die Nachhaltigkeit von Sportstätten (Sporthallen, Schwimm- bäder und Sportleistungszentren)

AZ 071401/23-24

Prof. Dr.-Ing. Natalie Eßig<sup>1</sup> (Projektleitung), Adrian Wirtensohn<sup>1</sup> & Prof. Dr. Christian Kuhn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hochschule München, Fakultät für Architektur

<sup>2</sup> DSBG Sportstättenbetriebs- und Planungsgesellschaft mbH & Co. KG

## 1 Problem

Sportstätten sind ein wichtiger Bestandteil unserer Gesellschaft und Infrastruktur und tragen maßgeblich zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele bei. Als Orte der Begegnung fördern diese Bewegung, den Teamgeist und die Bildung sozialer Kompetenzen, haben aber auch enormen Einfluss auf unsere Umwelt. Das gilt sowohl für den Breitensport als auch für den Spitzensport.

In Deutschland gibt es aktuell in vielen Regionen einen erheblichen Sanierungsstau und Neubaubedarf. Eine Vielzahl an Sportstätten ist veraltet und muss saniert werden, was die Nutzung einschränkt oder teilweise sogar unmöglich macht. Anderenorts fehlt es grundlegend an Sportstätten. Die Ursache dafür liegt in der Vergangenheit, da ein Großteil der Sportstätten zwischen den 50er- und 90er-Jahren errichtet wurde. Im Jahr 1960 trat der „Goldene Plan“ in Kraft, nach der Wiedervereinigung dann der „Goldene Plan Ost“ im Jahr 1992 (Deutsche Olympische Gesellschaft, 1962). Ziel des „Goldenen Plans“ war es, den Sport für die breite Bevölkerung zugänglich zu machen. Während in den 60er-Jahren die Umsetzung des „Goldenen Plans“ den Neubau vieler Sportstätten zur Folge hatte, lag der Fokus des „Goldenen Plans Ost“ neben dem Neubau von Sportstätten auf der Modernisierung der Sportbauten der neuen Bundesländer (Deutscher Sportbund, 1992).

Der Bausektor (und somit auch die Sportstätten) beeinflusst maßgeblich unsere Umwelt, unsere Gesellschaft und den Klimawandel. Das Bauen ist weltweit verantwortlich für etwa 40 % des Energieverbrauchs, 50 % des Ressourcenverbrauchs und verursacht etwa 60 % des Abfallaufkommens (Ebert et al., 2010). Das Erreichen eines klimaneutralen bzw. treibhausneutralen Gebäudebestands bis 2045 ist nur möglich, wenn ein Umdenken in der Baubranche stattfindet. Um sich dieser Herausforderung anzunehmen, ist es wichtig, Werkzeuge zu entwickeln, um die nationalen und internationalen Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Hierfür bedarf es ganzheitlicher Betrachtungsansätze, bei denen ökologische, ökonomische und soziale Aspekte gleichermaßen betrachtet werden, die den kompletten Lebenszyklus von Gebäuden abbilden. Hierfür eignen sich Nachhaltigkeitsbewertungssysteme für Gebäude, die konkrete Kriterien und Benchmarks definieren. Diese Zielwerte müssen bei der Planung, dem Bau oder der Sanierung einer Sportstätte eingehalten werden. Somit wird gewährleistet, dass die geforderten Nachhaltigkeitsstandards eingehalten werden und somit ein Beitrag zum Erreichen des klimaneutralen Gebäudebestands bis 2045 geleistet wird (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2023).

Ziel des Forschungsprojekts „Bewertungssystem Nachhaltiger Sportstättenbau (BNS)“ war daher die Entwicklung eines Nachhaltigkeitsstandards für Sportstätten. Der Forschungsschwerpunkt lag auf der Betrachtung von Sporthallen, Schwimmbädern und Sportleistungszentren im Neubau. Die Forschungsergebnisse bilden Grundlagen für ein Bewertungssystem für nachhaltige Sportstätten (BNS), das die Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltige Gebäude (QNG) des Bundes abdeckt (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2024) und somit Basis für eine eigene Förderkategorie darstellen kann. Das Forschungsprojekt

wurde im Zeitraum Mai 2023 bis Dezember 2024 unter der Leitung von Prof. Dr. Natalie Essig am Lehrstuhl Bauklimatik der Hochschule München mit Unterstützung der Deutsche Sportstättenbetriebs- und Planungsgesellschaft mbH & Co. KG (Prof. Dr. Christian Kuhn) durchgeführt.

## 2 Methode

Das Forschungsprojekt BNS gliederte sich in vier Arbeitspakete (AP) (siehe Abbildung 1). In den Arbeitspaketen wurden die Anforderungen für das Nachhaltigkeitsbewertungssystem für neu gebaute

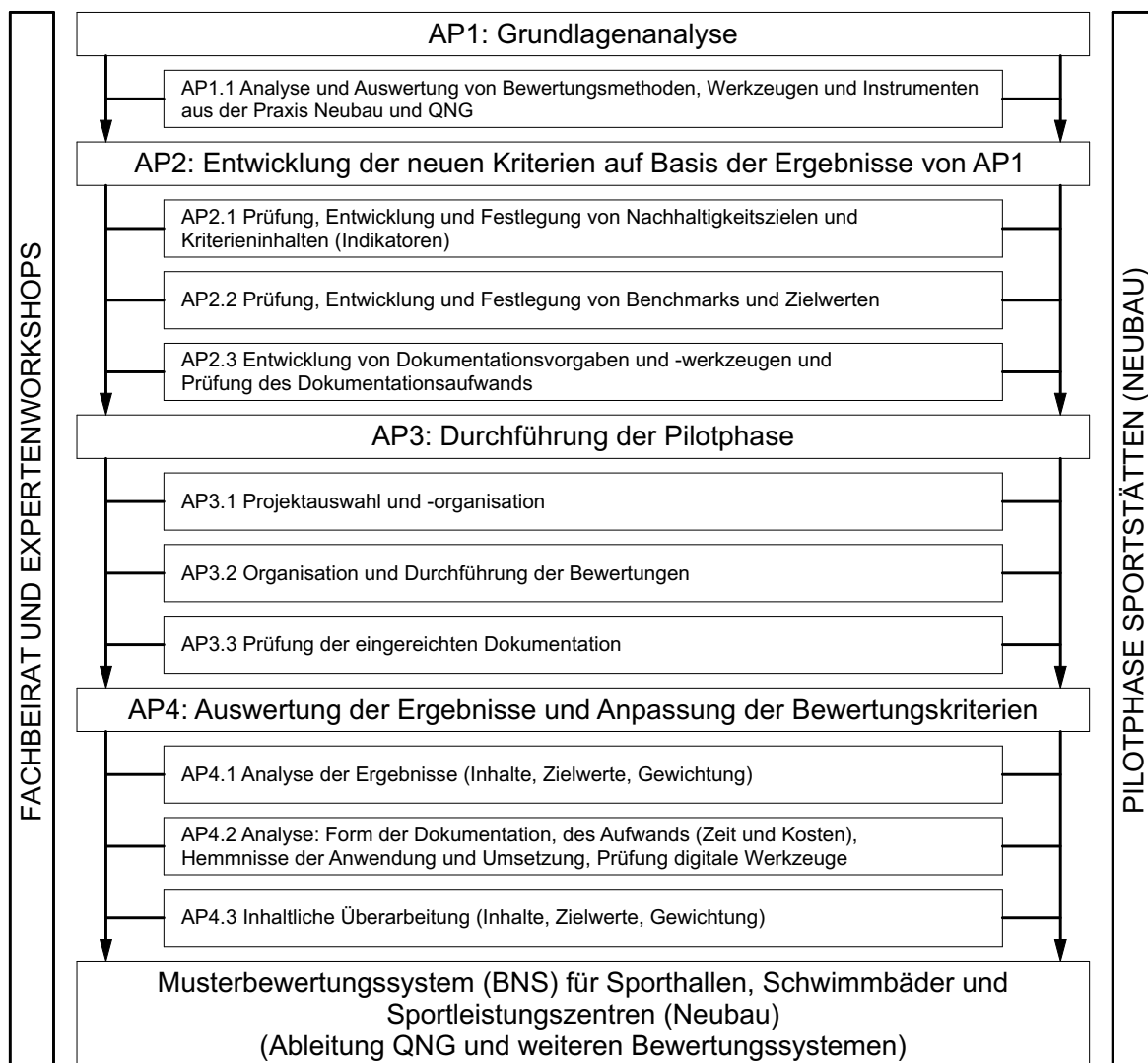


Abb. 1: Arbeitspakete für das Forschungsprojekt BNS (eigene Darstellung).



Sportstätten mit Berücksichtigung der QNG-Anforderungen entwickelt. Dies wurde durch einen Fachbeirat und Expertenworkshops begleitet.

Im ersten Arbeitspaket (AP1) wurde eine Grundlagenanalyse durchgeführt, bei der Bewertungsmethoden, praxisrelevante Werkzeuge sowie Normen und Forschungsprojekte hinsichtlich ihrer Anwendung auf Sportstätten untersucht wurden. Auf Basis der Analyse wurden im zweiten Arbeitspaket (AP2) die Kriterien für das BNS-System entwickelt. Dabei erfolgte die Prüfung und Festlegung der Nachhaltigkeitsziele und -kriterien auf Indikatorenbasis, ebenso wie die Erstellung von Benchmarks und Zielwerten. Das dritte Arbeitspaket (AP3) umfasste eine Pilotphase, in der die im AP2 entwickelten Kriterien auf Praxistauglichkeit und Anwenderfreundlichkeit geprüft wurden. Im vierten Arbeitspaket (AP4) wurden die in der Pilotphase ausgewerteten Ergebnisse evaluiert und die Kriteriensteckbriefe überarbeitet. Der entwickelte BNS-Kriterienkatalog wurde im Verlaufe des Forschungsprojekts bei Fachbeiratssitzungen und den Expertenworkshops zur Diskussion gestellt und aktualisiert, ebenso wie auf die praktische Anwendbarkeit überprüft.

### 3 Ergebnisse

Das Bewertungssystem Nachhaltiger Sportstätten wurde in der finalen Version BNS V0.3 veröffentlicht und kann für den Neubau von Sportstätten des Schulsports, des Wettkampf- und Spitzensports, des Vereinssports, des Breiten- und Freizeitsports und von Menschen mit besonderen Bedürfnissen genutzt werden.

#### Geltungsbereich und Systemgrenze

Zusammenfassend kann das BNS der V0.3 für folgende Sportstätten (Neubau) angewendet werden:

- › **Sporthallen:** Geschlossene Gebäude, die für Hallensportarten wie Turnen, Basketball, Volleyball, Handball, Badminton etc. genutzt werden (in Anlehnung an DIN 18032-1; Deutsches Institut für Normung e. V. [DIN], 2018).

- › **Schwimmbäder:** Einrichtungen, die für den Schwimmsport und Wasseraktivitäten genutzt werden, einschließlich Wettkampf- und Freizeitbädern.
- › **Sportleistungszentren:** Sportanlagen, die als Trainingsstätte für den Spitzensport dienen und die neben der Ausübung von Spitzensport eine qualitativ hochwertige sportmedizinische, physiotherapeutische, trainings- und bewegungswissenschaftliche, soziale, psychologische und ernährungswissenschaftliche Betreuung ermöglichen (z. B. Vorbereitung für Weltmeisterschaften, Olympische Spiele, Leistungssport etc.).

Das BNS-System für Sportstätten gilt grundsätzlich für das Gesamtgebäude. Die Bewertung von einzelnen Gebäudeteilen oder -einheiten wird nicht berücksichtigt. Die Systemgrenze bilden grundsätzlich die Außenkanten des Gebäudes (vgl. Bauinstitut für Ressourceneffizientes und Nachhaltiges Bauen, 2024). Das BNS-System kann auch für gemischt genutzte Gebäude als Sportstättengebäude angewandt werden, wenn das Gebäude überwiegend zu Sportzwecken genutzt wird (Kreditanstalt für Wiederaufbau, 2025). Die Definition und weiterführende Anforderungen sind dem Forschungsbericht zu entnehmen.

#### Inhalte des BNS-Systems

Das BNS-System V0.3 betrachtet folgende fünf Nachhaltigkeitsqualitäten, die mit jeweils 20 Prozent gleichwertig zueinander gewichtet sind:

- › Ökologische Qualität
- › Ökonomische Qualität
- › Soziokulturelle und funktionale Qualität
- › Prozessqualität
- › Standortqualität

Der BNS-Bewertungskatalog beinhaltet 20 Kriteriensteckbriefe, die den Qualitäten zugeordnet sind (siehe Abbildung 2). Die Kriteriensteckbriefe sind einheitlich aufgebaut und beinhalten die Nutzungsart (Anwendungsbereich), die Beschreibung (Zielsetzung), die Methode (Nachweisführung),

die allgemeinen Hinweise zur Bewertung, den Bewertungsmaßstab sowie Anlagen zum Steckbrief.

Den einzelnen Kriteriensteckbriefen sind Indikatoren mit Bewertungspunkten zugeordnet. Je höher die Punktzahl der Bewertungspunkte, desto nachhaltiger sind die Anforderungen. Der Bewertungsmaßstab pro Kriteriensteckbrief reicht von 10 bis 100 Punkten. In die Bepunktung wurden ebenfalls die Anforderungen an das QNG-Gütesiegel definiert:

- 10 (Basis-)punkte: Mindestanforderung – gesetzlicher Standard und allgemein anerkannte Regeln der Technik (= QNG BASIS)
- 50 Punkte: überdurchschnittliche Anforderung (= QNG PLUS)
- 75 Punkte: deutlich überdurchschnittliche Anforderung (= QNG PREMIUM)
- 100 Punkte: bestmögliche Anforderung (Innovation) – volle Übereinstimmung mit den Anforderungen des Kriteriensteckbriefs

Aus der erreichten Punktzahl der jeweiligen Steckbriefe errechnet sich der Gesamterfüllungsgrad der zu bewertenden Sportstätte. Die Nachweisführung wurde für jeden Kriteriensteckbrief individuell festgelegt und definiert, welche Dokumente eingereicht werden müssen, um die Erfüllung der Indikatoren zu belegen. Grundsätzlich ist die Nachhaltigkeitsbewertung einer Sportstätte gegeben, wenn mindestens das Basiskriterium je Steckbrief erfüllt wurde und ein Gesamterfüllungsgrad von mindestens 50 Prozent erreicht wurde. Dabei muss jeder Steckbrief bearbeitet werden.

Das BNS-Bewertungsergebnis erfolgt in drei Stufen auf Basis der Anforderungen des QNGs („PREMIUM“, „PLUS“ und „BASIS“) inklusive der Angabe des Erfüllungsgrads in Prozent und der hierbei erreichten Note zwischen „1,0“ und „3,0“ (vgl. Hochschule München, 2015).

Die BNS-Bewertungsstufen werden wie folgt definiert:

- 50 % bis 64,9%: BASIS (Note 2,1 bis 3,0)
- 65 % bis 79,9%: PLUS (Note 1,6 bis 2,0)
- ab 80 %: PREMIUM (Note 1,5 bis 1,0)

BNS-System V0.3			Gewichtung
Ökologische Qualität	1.1	Ökobilanz: CO <sub>2</sub> -Emissionen, Primärenergiebedarf und Umweltwirkungen	20%
	1.2	Einsatz nachhaltiger Baumaterialien	
	1.3	Wasserverbrauch	
	1.4	Flächeneffizienz*	
	1.5	Immissionsschutz*	
Ökonomische Qualität	2.1	Ausgewählte Kosten im Lebenszyklus	20%
Soziokulturelle und funktionale Qualität	3.1	Innenraumluftqualität	20%
	3.2	Trinkwasserqualität*	
	3.3	Thermischer Komfort	
	3.4	Visueller Komfort*	
	3.5	Bedienungsfreundlichkeit und Anpassungsfähigkeit TGA*	
	3.6	Sicherheit*	
	3.7	Barrierefreiheit	
	3.8	Aufenthaltsqualität*	
Prozessqualität	4.1	Beratungsgespräch und Zielvereinbarung	20%
	4.2	Gebäudeakte, Nutzerhandbuch und Ressourcenpass	
	4.3	Qualitätssicherung	
Standortqualität	5.1	Naturgefahren am Standort	20%
	5.2	Ökologie des Standorts*	
	5.3	Mobilität*	

Abb. 2: Qualitäten und Kriterien des BNS (V0.3) (\*aufgrund von Forschungsbedarf zurückgestellt) (eigene Darstellung).

## 4 Diskussion

Die im Forschungsprojekt entwickelten BNS-Kriterien wurden anhand der Evaluierung bestehender Nachhaltigkeitssysteme sowie der Ergänzungen des Fachbeirats definiert. Die abschließend vorliegende Version V0.3 der Kriteriensteckbriefe des BNS-Systems wurde noch nicht an realen Praxisprojekten auf Anwenderfreundlichkeit und Praxistauglichkeit erprobt. Um die festgelegten Zielwerte zu überprüfen, besteht daher weiterführender Forschungsbedarf in der Durchführung einer Pilotphase.

Zudem sind für die Implementierung des nachhaltigen Bauens für den Bau von Sportstätten im Nachgang des Forschungsprojekts folgende Fragen zu beantworten:

- Welche der mit dem hier entwickelten BNS-System vorliegenden Kriterien sind in einen gesetzlichen Standard zu überführen?
- Welche Kriterien sollen Mindestanforderungen für eine Basisförderung (z. B. Sportstättenförderungen, KfW-Bank etc.) sein?
- Welche Kriterien bilden nur Anforderungen für den QNG-Standard ab?

Dabei ist zu berücksichtigen, welche Kriterien besondere Relevanz für die Klimaschutzziele haben. Denn nur auf diesem Weg kann die zwingend notwendige Breitenwirkung bezüglich der Treibhausgasreduktion erreicht werden.

Mit dem Forschungsprojekt BNS wurden inhaltliche Festlegungen für die Version V0.3 getroffen. Aufgrund nicht am Markt und in der Forschung verfügbarer bzw. nicht praxistauglicher Werkzeuge und Methoden wurden folgende Kriterien zurückgestellt und dringend weiterführender Forschungsbedarf empfohlen:

- Kriterium 1.4: Flächeneffizienz (V0.3)
- Kriterium 1.5: Immissionschutz (V0.3)
- Kriterium 3.2: Trinkwasserqualität (V0.3)
- Kriterium 3.5: Bedienungsfreundlichkeit und Anpassungsfähigkeit TGA (V0.3)

- Kriterium 3.6: Sicherheit (V0.3)
- Kriterium 3.7: Aufenthaltsqualität (V0.3)
- Kriterium 5.2: Ökologie des Standorts (V0.3)
- Kriterium 5.3: Mobilität (V0.3)

## 5 Ausblick

Um die Klimaschutzziele einzuhalten und um einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen, ist es notwendig, Nachhaltigkeitswerkzeuge für Gebäude (hier Sportstätten) zu entwickeln und deren Umsetzung politisch zu steuern. Aufbauend auf den vorliegenden Forschungsarbeiten werden für die Weiterentwicklung des QNG-Systems für den Sportstättenbau folgende Anforderungen und Umsetzungen empfohlen:

- **QNG-Einführung für Sportstätten: Sensibilisierung und Wissenstransfer**  
Aufklärungsarbeit und Wissenstransfer sind wichtige Bausteine, um die Akzeptanz für nachhaltiges Bauen zu steigern und um die Praktikabilität der Umsetzbarkeit der Nachhaltigkeit bei den beteiligten Parteien (z. B. Sportverbände, Sportämter, Kommunen etc.) und Anwendern (z. B. Fachplanern, Architekten etc.) aufzuzeigen.
- **QNG-Qualitätssicherung: Einberufung von Gremien bzw. Gütegemeinschaften für den nachhaltigen Sportstättenbau**  
Um einheitliche Voraussetzungen, Standards und folglich eine Qualitätssicherung zu gewährleisten, wird empfohlen, verschiedene Gremien für den Sportstättenbau und die Nachhaltigkeitsanforderungen nach QNG (z. B. in Anlehnung an die Gütegemeinschaften DIN V 18599 oder an den Runden Tisch Nachhaltiges Bauen des Bundes) einzuführen.
- **QNG-Standards: Anforderungen für QNG BASIS, PLUS und PREMIUM für Sportstätten**  
Es wird empfohlen, spezielle QNG-Anforderungen für Sportstätten einzuführen. Konkret geht es um die Festlegung von Zielwerten, die eine Sportstätte einhalten muss, um das QNG-Siegel zu erhalten und eine nachhaltige Umsetzung zu gewährleisten.

► **Implementierung von QNG-Nachhaltigkeitsanforderungen: Verpflichtendes Ziel- und Beratungsgespräch für Sportstätten**

Wichtig ist, dass ein Ziel- und Beratungsgespräch zwischen Bauherr, Nachhaltigkeitsexperte und Planer vor Bauausführung stattfindet. In diesem Gespräch werden die Nachhaltigkeitsziele für die geplante Sportstätte festgelegt und im Planungsverlauf konkretisiert. Damit wird gewährleistet, dass die festgelegten Zielwerte der Nachhaltigkeitskriterien in der Bauausführung eingehalten werden. Diese Anforderung sollte ebenfalls in die QNG-Anforderungen implementiert werden.

Zudem sollte das Nachhaltigkeitsbewertungssystem BNS für die Sanierung von Sportstätten erweitert werden. Wie in der Einleitung erläutert, hat sich ein hoher Sanierungsstau bei Sportstätten gebildet. Auch hier gilt es, Nachhaltigkeit umzusetzen. Wie Studien zeigen, ist oftmals die Bausubstanz älterer Sportstätten erhaltenswert. Sanierung versus Neubau wirkt sich zudem stets positiv auf die Ökobilanz und den Einsatz von „grauer Energie“ aus.

## 6 Literaturverzeichnis

- Deutsche Olympische Gesellschaft. (1962). Der Goldene Plan der Gemeinden. Frankfurt am Main: Limpert Verlag.
- Deutscher Sportbund. (1992). Goldener Plan Ost. Teil I: Memorandum. Teil II: Richtlinien für die Schaffung von Erholungs-, Spiel- und Sportanlagen. Teil III: Anleitung zur Sportstättenentwicklungsplanung. Köln: Deutscher Sportbund.
- Eßig, N., & Lindner, S., & Magdolen, S., & Siegmund, L. (2015). Leitfaden Nachhaltiger Sportstättenbau (1. Auflage). Köln: Sportverlag Strauß.
- Ebert, T., & Essig, N. & Hauser, G. (2010). Zertifizierungssysteme für Gebäude: Nachhaltig bewerten. Internationaler Systemvergleich, Zertifizierung und Ökonomie. München: Detail.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2023). Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045 [PDF-Dokument]. <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/gebaeudestrategie-klimaneutralitaet-2045.html>
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. (2024). Anlage 3 zum Handbuch des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude [PDF-Dokument]. [https://www.qng.info/app/uploads/2024/07/QNG\\_Handbuch\\_Anlage-3\\_AnforderungenBund\\_v1-4\\_GR-1.pdf](https://www.qng.info/app/uploads/2024/07/QNG_Handbuch_Anlage-3_AnforderungenBund_v1-4_GR-1.pdf)
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2018). DIN 18032-1: Sporthallen – Planung und Bau (Teil 1). Berlin: Beuth Verlag.
- Bauinstitut für Ressourceneffizientes und Nachhaltiges Bauen. (2024). Geltungsbereich und Systemgrenze BNK|BNG System [PDF-Dokument]. [https://bau-irn.com/wp-content/uploads/2024/07/BNK\\_BNG\\_Geltungsbereich-und-Systemgrenze\\_V1\\_0-bis-2\\_0\\_240611.pdf](https://bau-irn.com/wp-content/uploads/2024/07/BNK_BNG_Geltungsbereich-und-Systemgrenze_V1_0-bis-2_0_240611.pdf)
- Kreditanstalt für Wiederaufbau Bankengruppe. (2025). Bundesförderung für effiziente Gebäude – Liste der technischen FAQ: Effizienzhäuser / Effizienzgebäude / klimafreundlicher Neubau (Version 6.0) [PDF-Dokument]. [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000004865\\_Infoblatt\\_BEG\\_TFAQ\\_Effizienzhaus.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000004865_Infoblatt_BEG_TFAQ_Effizienzhaus.pdf)
- Hochschule München. (2015). Durchführung einer Pilotphase für die Bewertungsmethode „Kleinwohnungsbauten (Ein- und Zweifamilienhäuser)“ [PDF-Dokument]. <https://www.irbnet.de/daten/rswb/15069006248.pdf>

# Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Reduzierung der Gleitreibung des Kufe/Eis-Kontakts im Wintersport – Teilprojekt 1: Eistribometer und Gleitreibungsversuche

AZ 071502/23-24

Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Bartel<sup>1</sup> (Projektleitung), Dr.-Ing. Birthe Grzempa<sup>2</sup>, Carsten Ludwig<sup>2</sup>, Dr. André Sander<sup>3</sup> & Lisa Heinecke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Lehrstuhl für Maschinenelemente und Tribologie LMT

<sup>2</sup> Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES)

<sup>3</sup> Bob- und Schlittenverband für Deutschland e. V. (BSD)

## 1 Problemstellung

Zur Erzielung von Höchstleistungen im Wintersport werden enorme Anstrengungen zur Performanceverbesserung der Sportgeräte unternommen. Hauptentwicklungsziele von Kufensportarten betreffen vor allem die Reduzierung der Strömungs- und Reibungsverluste und die Verbesserung der Fahrstabilität sowie des Handlings. Zur Erreichung dieser Ziele ist insbesondere der Kontakt Kufe/Eis von entscheidender Bedeutung. Dieser wird derart optimiert, dass ein bestmöglicher Kompromiss zwischen geringen Reibungsverlusten bei gleichzeitig ausreichender Seitenführung gefunden wird.

Auf Basis des Reglements der Kufensportarten lassen sich die Makro- (>0,1 mm) und Mikrogeometrie (<0,1 mm) der Kufe sowie im Rennrodeln und Eisschnelllauf zusätzlich die eingesetzten Werkstoffe, Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen variieren. Die Untersuchung des Einflusses dieser Parameter wird in der Wintersportpraxis häufig durch Testfahrten durchgeführt. Jedoch bringt der Vergleich verschiedener Konfigurationen durch Testfahrten erhebliche Schwierigkeiten und Einschränkungen mit sich. Zunächst ist durch einen hohen zeitlichen und kostentechnischen Aufwand die

Anzahl getesteter Varianten stets begrenzt. Zeiten für die Bahnnutzung sind knapp und geeignete Testfahrer stehen nicht immer zur Verfügung. Die Fahrzeit stellt das einzige objektive Bewertungskriterium dar, jedoch können selbst erfahrene Athletinnen und Athleten Fahrten nicht identisch wiederholen, da die Leistung und Konzentration über mehrere Testfahrten variiert. Weiterhin sind Testfahrten den ständig veränderlichen Umgebungsbedingungen unterworfen. Das Eis nutzt sich durch wiederholtes Überfahren ab und es entstehen Schäden. Bei der Durchführung von Tests unter freiem Himmel (z. B. an Bob- oder Rodelbahnen) stellt das Wetter einen weiteren unbeeinflussbaren Faktor dar. Nicht nur die Temperatur, Luftfeuchte und ggf. Reifbildung verändern sich über den Tagesverlauf, auch Sonneneinfall auf die Bahn kann zu erheblichen Veränderungen der Gleiteigenschaften führen. Diese Bedingungen an der Bahn stellen auch die Messtechnik vor besondere Herausforderungen. Eine verlässliche Reibungsmessung ist nur schwer möglich. Testfahrten sind daher immer erhöhten Unsicherheiten und Fehlern unterworfen, sodass die Güte der gewonnenen Daten häufig gering bleibt und gezielte Untersuchungen einzelner tribologischer Parameter kaum umsetzbar sind. Die Kufenoptimierung durch die Trainerin oder den Trainer ist

aus diesen Gründen bisher stark empirisch und durch subjektive Einschätzungen der Sportlerin oder des Sportlers geprägt.

Durch die Grenzen dieser Vorgehensweise sind weitere Fortschritte nur mit einem tiefgreifenden Verständnis für die physikalischen Vorgänge im Kufe/Eis-Kontakt zu erwarten. Tribologie als Lehre von Reibung, Verschleiß und Schmierung spielt daher, neben der Aerodynamik, in allen Renn-Wintersportarten eine zentrale Rolle. Im Gegensatz zur Aerodynamik, für welche leistungsfähige, praxisnahe Entwicklungswerkzeuge (numerische Simulation oder Windkanalversuche) Stand der Technik sind, stehen ähnliche Möglichkeiten der Eistribologie bisher nur eingeschränkt zur Verfügung. Vorhandene numerische Modelle erfassen oft nur einen Teil der komplexen Vorgänge, weiter ist es derzeit nicht möglich, diese mit realitätsnahen Geschwindigkeiten und Kontaktdrücken im Experiment zu validieren.

Um ein tiefgreifendes Verständnis für die tribologischen Vorgänge im Kufe/Eis-Kontakt aufzubauen, ist es das Ziel dieses Gesamtprojektes Werkzeuge zur Optimierung des Kufe/Eis-Kontakts mithilfe von hochwertigen praxisnahen Tribometerversuchen und allgemeingültigen komplexen numerischen Simulationen bereitzustellen. Zur Erreichung dieser Zielsetzung ist das Vorhaben in zwei Teilprojekte unterteilt, wobei der Fokus im Teilprojekt 1 „Eistribometer und Gleitreibungsversuche“ auf dem Aufbau des Prüfstandes und der Durchführung von Versuchen liegt. Im beantragten Teilprojekt 2 steht die Entwicklung des Simulationsmodells für den Kufe/Eis-Kontakt im Vordergrund.

Das Vorhaben kombiniert tribologische Expertise des Lehrstuhls für Maschinenelemente und Tribologie (LMT) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Kompetenzen des Institutes für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) sowie die unmittelbare Überführung in die Sportpraxis durch den Bob- und Schlittenverband für Deutschland e.V. (BSD).

## 2 Methodik

Zur Durchführung von Gleitreibungsversionen, welche eine einfache Übertragung der Ergebnisse in die Sportpraxis ermöglichen, wurden im Rahmen des Teilprojekts 1 von der Projektgruppe umfangreiche Arbeiten durchgeführt, die zum Aufbau eines neuartigen Eistribometers geführt haben (Abbildung 1). Auf Basis des Konzepts eines Rotationstribometers wurde ein Prüfstand entwickelt, dessen Kernmerkmal eine mit hoher Drehzahl rotierende, kohlenstofffaserverstärkte Trommel ist. Diese wird auf der inneren Zylindermantelfläche mit einer etwa 25 mm dicken Eisfläche beaufschlagt. Eine den Kufen nachempfundene Probe wird durch eine pneumatisch aufgebrachte Kraft, welche nach Bedarf anwendungsnah variiert werden kann, auf die Eisfläche gepresst. Dabei gewährleisten die gewählte Skalierung der Proben und ihr doppeltgekrümmter Charakter im Zusammenspiel mit der gekrümmten Eisfläche in der



Abb. 1: Neuartiges Eistribometer.



Eistrommel praxisnahe Größenverhältnisse im Modellmaßstab. Hinzu kommt die Berücksichtigung aktuell eingesetzter und potenzieller Kufenwerkstoffe bei der Auswahl der Probenwerkstoffe, welche eine einfache Überführung der Ergebnisse in die Sportpraxis sicherstellen.

Das vertikale Verfahren der Probe während eines Versuchsdurchlaufs mittels Schnellhubgetriebe ermöglicht in Kombination mit der Rotation der Eistrommel eine stetige Kontaktierung frischen Eises bei sehr hohen Gleitgeschwindigkeiten, wie es auch in der Sportpraxis der Fall ist. Durch einen innovativen Mehrachskraftsensor können dabei die hohe Anpresskraft der Probe auf das Eis sowie die senkrecht dazu auftretende, geringe Reibkraft im Kontakt hochgenau erfasst werden. Der gesamte Prüfaufbau befindet sich zur Abbildung realitätsnaher Umgebungsbedingungen in einer Klimakammer, mit der die Umgebungstemperatur zwischen  $-20\text{ °C}$  und  $+20\text{ °C}$  gezielt eingestellt werden kann. Zudem kann auch die relative Luftfeuchtigkeit in der Klimakammer bis nahe 100 % variiert werden.

Neben dem Aufbau des Eistribometers wurden verschiedene Varianten zur Herstellung einer reproduzierbaren Eisfläche und zur sportpraxisnahen Eisoberflächenpräparation getestet und eine geeignete Methodik abgeleitet. Die Eispräparation stellt eine bedeutende Grundlage für die Durchführung vergleichbarer Gleitreibungsversuche und die direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Sportpraxis dar. Es wurde ein mit dem Vorgehen an Bob- und Rennrodelbahnen vergleichbares Verfahren entwickelt, bei dem die Eisfläche schichtweise aufgebaut wird. Den Abschluss des Eisherstellungsprozesses bildet die Oberflächenbearbeitung mittels Drehmeißel, um eine glatte, von Unebenheiten befreite Eisoberfläche zu erhalten. Im Speziellen wurde bei der Entwicklung einer Methodik zur Eispräparation auf eine homogene Eisstruktur mit gleichmäßigen mechanischen Eigenschaften und ein sportpraxisnahes Gefrierverhalten geachtet. In Bezug auf das Gefrierverhalten wurden zusätzliche Untersuchungen zum Einfluss der elektrischen Leitfähigkeit des verwendeten Wassers durchgeführt.

Zur Charakterisierung der Eisproben, zum Nachweis der Reproduzierbarkeit der Eiseigenschaften und als Grundlage für das numerische Materialmodell des beantragten Teilprojekts 2 wurden Versuche zur Ermittlung des Eisverhaltens durchgeführt. Unter Variation der Umgebungstemperatur (gleichbedeutend mit der Eistemperatur) und konstanter Verformungsgeschwindigkeit wurden mittels Zug-Druck-Maschine mit einer Temperierkammer Eisproben mit einem kugelförmigen Eindringkörper belastet. Die ermittelten Kraft-Weg-Kennlinien der Versuche ließen sich über den bekannten Durchmesser der verwendeten Hartkeramikugel in Zusammenhang mit der entsprechenden Eindringtiefe in Abmaße und Volumen des Eindrucks und somit in Anlehnung an das Prinzip der Härteprüfung nach Brinell in eine Eishärte überführen.

### 3 Ergebnisse

Die durchgeführten Messungen zum Materialverhalten des Eises ergeben einen temperaturabhängigen Verlauf der Eishärte bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit. Mit abnehmender Temperatur steigt die Eishärte von rund 41 MPa bei  $-2\text{ °C}$  auf 61 MPa bei  $-10\text{ °C}$ , wobei der Anstieg der Eishärte bei tieferen Temperaturen geringer wird.

Auf Basis des neu aufgebauten Eistribometers wurden im Rahmen des Teilprojekts 1 Vorversuche der Reibungsmessungen mit moderaten Geschwindigkeiten und Anpresskräften umgesetzt. Mit diesen konnten der Messablauf und die Auswertung der erhobenen Messdaten erprobt und optimiert werden. Ein exemplarischer Verlauf der Reib- (blau) und Normalkraft (orange) während eines Testdurchlaufs ist in Abbildung 2 dargestellt. Der resultierende mittlere Reibungskoeffizient für diesen Versuch von rund 0,014 entspricht den Erwartungen aus der Sportpraxis.

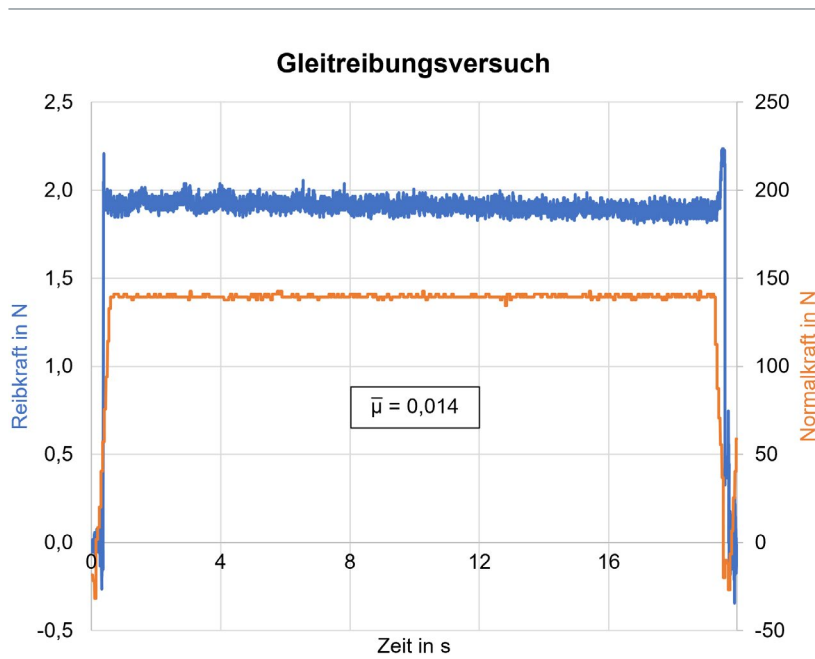


Abb. 2: Ergebnis eines Vorversuches der Gleitreibungsversuche.

## 4 Diskussion und Ausblick

Die Messergebnisse der Untersuchungen zum Materialverhalten des Eises sind mit den Ergebnissen von Barnes und Tabor [1] und den Messergebnissen eines mobilen Eishärtemessgerätes der Technischen Hochschule Otto-von-Guericke Magdeburg aus den 1970er-Jahren [2] vergleichbar. Abweichend dazu wurden von Poirier [5] geringere Eishärtewerte ermittelt. Aufgrund der Komplexität des Prozesses zur Ermittlung des Materialverhaltens und der wenigen Literatur auf dem Gebiet der Eishärtemessung können jedoch nur bedingt Vergleiche zu bestehenden Messergebnissen gezogen werden. Zum Ausbau des Verständnisses des Materialverhaltens von Eis sind daher weitere Versuche zur Eishärtemessung im Rahmen des Vorhabens angedacht.

Die Ergebnisse der Vorversuche zur Reibungsmessung liegen in einem für die Sportpraxis erwartbaren Bereich [3], [4], [6]. Der Aufbau des Prüfstandes stellt demnach eine sehr gute Grundlage für die Durchführung der Gleitreibungsversuche mit verschiedenen Parametern dar. Angestrebt wird ein Versuchsprogramm, bei dem die Gleitgeschwindigkeit, die Anpresskraft, die Umgebungsbedingungen, abgebildet durch Umgebungstemperatur und relative Luft-

feuchtigkeit, sowie die Proben anwendungsnah variiert werden. Bezogen auf die Proben werden verschiedene Geometrien, Grundwerkstoffe, Beschichtungen und Oberflächenbearbeitungsverfahren untersucht, wobei aktuelle Entwicklungstrends in den Kufensportarten aufgegriffen werden. Ziel der Versuche ist die Ermittlung des Einflusses der Kufenparameter unter verschiedenen sportpraxisnahen Umgebungsbedingungen in Form von Reibungskennfeldern in Abhängigkeit von den beschriebenen Einflussgrößen.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Barnes, P.; Tabor, D.: *Plastic flow and pressure melting in the deformation of ice*. Nature, 210, 878–882, 1966.
- [2] Fleischer, G.; Jopp, B.: *Erfassung und Beschreibung der Bahnparameter unter natürlichen Umweltbedingungen im Zusammenhang mit gefahrenen Zeiten*. Forschungsbericht, Technische Hochschule Otto-von-Guericke Magdeburg, Magdeburg, 1978, unveröffentlicht.



- [3] Hainzlmaier, C.: *A new tribologically optimized bobsleigh runner*. Dissertation, Zentralinstitut für Medizintechnik, TU München, München, 2005.
- [4] Kietzig, A.-M.; Hatzikiriados, S. G.; Englezos, P.: *Physics of Ice Friction*. Journal of Applied Physics, 107, 2010.
- [5] Poirier, L.; Lozowski, E. P.; Thompson, R. I.: *Ice hardness in winter sports*. Cold Regions Science and Technology, 67, 129 – 134, 2011.
- [6] Scherge, M.; Böttcher, R.; Spagni, A.; Marchetto, D.: *High-Speed Measurements of Steel–Ice Friction: Experiment vs. Calculation*. Lubricants, 6, 26, 2018.

# WindSimRealize

AZ 071609/24

Prof. Dr. Jörg Ettrich MSc<sup>1</sup>, Dirk Schoening MSc<sup>1</sup>, Dr. Walter Rapp<sup>2</sup> & Florian Schillinger MA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg

<sup>2</sup>Olympiastützpunkt Freiburg-Schwarzwald e.V., Freiburg

Im Rahmen des vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) geförderten Projekts „WindSimRealize - Implementierung und Inbetriebnahme eines Trainingswindkanals für den spezifischen Einsatz im Bereich des Skisprungs“ wurde in Zusammenarbeit mit dem Olympiastützpunkt (OSP) Freiburg-Schwarzwald ein Trainingswindkanal speziell für den Skisprung entwickelt, implementiert und in Betrieb genommen [1]. Ziel war es, eine realitätsnahe Trainingsumgebung zu schaffen, die eine authentische Flughaltung eines Skispringers simulieren kann. Dabei wurde besonderer Wert auf die Verbindung von numerischer Strömungssimulation, biomechanischer Analyse und sicherheitstechnischer Umsetzung gelegt [2], [3], [4] [5], [6], [7]. Die Untersuchungen und Simulationen führten zu einem klaren Anforderungsprofil und zur konkreten Ausführung eines flexiblen, modularen Systems, das für verschiedene Trainingsszenarien geeignet ist. Im Januar 2022 wurde der Bau an der Adlerschanze in Hinterzarten beschlossen, im August 2024 begann der Testbetrieb.

Ein zentrales Element des Projekts war die Entwicklung einer Aufhängevorrichtung, welche die Athleten und Athletinnen stabil und sicher im Luftstrom positioniert, dabei aber die natürliche Flughaltung möglichst wenig beeinträchtigt. Die modulare Rahmenkonstruktion basiert auf Aluminiumprofilen und erlaubt individuelle Anpassungen an Körpergröße und Trainingsanforderungen. Ergänzt wurde das System durch elektrisch steuerbare Seilwinden, die eine präzise vertikale Justierung ermöglichen. Parallel dazu wurde die Fixierung der Athleten und Athletinnen optimiert, unter anderem durch individuelle Anpassung der Skisprunganzüge in Zusammenarbeit mit einem Sanitätshaus sowie

durch die Integration hochwertiger Sicherungsmaterialien. Ziel war eine ergonomisch günstige, sichere und dennoch bewegungsfreie Positionierung. Ergänzend wurden Kraftsensoren und ein visuelles Feedbacksystem installiert, die eine objektive Trainingssteuerung und sensomotorische Förderung ermöglichen. Diese Aufhängevorrichtung, die modulare Fixierung der Athleten und Athletinnen sowie das Sicherungsequipment sind in Abbildung 1 zu sehen, bei der ein Athlet während einer Flugsimulation zu sehen ist.



Abb. 1: Aufhängevorrichtung der Flugsimulationsanlage mit Athlet in Fluglage.

In Bezug auf die Strömungsführung wurde zwar eine Rampe konzipiert, diese jedoch bewusst noch nicht umgesetzt. Basierend auf den bisherigen Testergebnissen und Rückmeldungen von Trainern und Trainerinnen sowie Sportlern und Sportlerinnen sollen weitere Untersuchungen folgen, bevor eine finale Ausführung erfolgt. Die vollständige Projektdokumentation wurde kontinuierlich gepflegt, in regelmäßigen Besprechungen diskutiert und sowohl in Präsenz als auch online fortgeschrieben. Eine studentische Hilfskraft unterstützte das Projektteam zusätzlich. In Abbildung 2 ist die Flugsimulationsanlage zu sehen. Dabei sind die Rahmenkonstruktion aus Holz sowie die Lüfter deutlich zu erkennen.



Abb. 2: Blick auf die Flugsimulationsanlage. Im Hintergrund die Schanzen des Adler-Skistadions Hinterzarten mit Blick auf den Schwarzwald.

Das Projekt konnte zentrale Herausforderungen im Bereich der Trainingssimulation für den Skisprung erfolgreich adressieren. Die realitätsnahe Aufhängung, die sensomotorisch förderliche Rückmeldung und die hohe Sicherheit machen das System zu einem wertvollen Werkzeug für Athleten und Athletinnen, insbesondere im Nachwuchsbereich. Die Erkenntnisse haben zudem ein hohes Transferpotenzial für weitere Anwendungen im Sportbereich. Mit der jetzt betriebsbereiten Simulationsanlage ist der Weg für weiterführende Studien und die Verbesserung bestehender Trainingsmethoden geebnet. Ein künftiger Forschungsschwerpunkt soll insbesondere auf der gezielten Untersuchung weiblicher Athletinnen liegen, da diese bislang nur eingeschränkt berücksichtigt wurden. Ein entsprechender Folgeantrag für die wissenschaftliche Begleitung befindet sich bereits im Genehmigungsverfahren.

## Referenzen

- [1] J. Ettrich und M. Rinkenauer, „Konzeption und Evaluierung eines Trainings-Windkanals für den spezifischen Einsatz im Skisprung“, in *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2021/2022*, Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft, 2022, S. 287 – 288.
- [2] A. Seywald, „Konzeptionierung eines Gurt- und Befestigungssystems zur Anwendung in einer Trainingswindanlage für den Skisprung - unter Berücksichtigung biomechanischer, mechanischer und messtechnischer Randbedingungen“, Bachelorthesis, Hochschule Offenburg, Offenburg, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://opus.hs-offenburg.de/frontdoor/index/index/docId/4182>
- [3] J. Dattenberg, „Berechnung des dreidimensionalen, reibungsbehafteten Strömungsfeldes hinter einem Hochleistungsventilator“, Seminararbeit, Hochschule Offenburg, Offenburg, 2020.
- [4] T. Nock, „Evaluation Des Sick Laser System Zur Anwendung in Der Sprungkraftdiagnostik“, Bachelorthesis, Hochschule Offenburg, Offenburg, 2021.
- [5] L. Beckmann, „Evaluation Alternative Konzepte Für Die Analyse Biomechanischer Parameter Im Skisprung Und Skilanglauf Mittels SICK Sensor Technologien“, Bachelorthesis, Hochschule Offenburg, Offenburg, 2022.
- [6] E. Rupp, „Konzeptionierung der Aufhängevorrichtung einer Trainingswindanlage für den Skisprung“, Bachelorthesis, Hochschule Offenburg, Offenburg, 2024.
- [7] T. Schöchlin, „Entwicklung Und Konstruktion Einer Automatischen Einheit Zur Videoerfassung Im Skisprung“, Seminararbeit, Hochschule Offenburg, Offenburg, 2024.

# Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur datenbasierten Ermittlung des individuellen Sanierungsbedarfs bundesdeutscher Sportstätten anhand des baulichen Zustands sowie zur Einschätzung des lokalen Versorgungsgrads mit Kernsportstätten

AZ 081404/22-23

*Prof. Dr. Lutz Thieme<sup>1</sup>, Dr. Sören Wallrodt<sup>1</sup>, Matthias Weinfurter<sup>1</sup>, Dr. Claudia Biniossek<sup>2</sup>, Dr. Dirk Betz<sup>2</sup> & Tobias Maier<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Hochschule Koblenz, <sup>2</sup> Technische Informationsbibliothek Hannover

## 1 Problem

Das Projekt beschäftigt sich mit der Problemstellung, dass es keine einheitlichen Verfahren zur Schätzung des baulichen Zustands und der Versorgung mit Sportstätten gibt. Damit verbunden ist das Problem, dass es keine flächendeckend nutzbaren Datenbestände zu Sportstätten und keine Entscheidungsunterstützungssysteme für Sportstättenbedarfsplanungen gibt.

Ziel des Projektes war es, Verfahren zu entwickeln, wie sich der bauliche Zustand und Versorgungsgrade von Sportstätten valide schätzen lassen. Zusätzlich wurde ein Datenmodell für Sportstätten entwickelt, welches die Anwendung der Schätzverfahren ermöglicht und die Grundlage eines „Digitalen Sportstättenatlas Deutschland (DSD)“ bildet. Alle Verfahren sollten für drei Kernsportstättentypen, d.h. Schwimmbäder, Sporthallen und Sportplätze, entwickelt werden. Darauf sollte der Prototyp eines Entscheidungsunterstützungssystems entwickelt werden.

## 2 Methodik

Die Entwicklung der beiden Verfahren zur Schätzung des baulichen Zustands und der Versorgungsgrade wurde mittels einer Recherche möglicher Einflussfaktoren (z.B. Baujahr, Betriebskosten oder Spielfläche für die Schätzung des baulichen Zustands) begonnen. Dabei wurde jeweils ein führender Experte für eine der drei Kernsportstättentypen ausgewählt, der den Prozess begleitete. Anschließend wurden Gruppen von Expertinnen und Experten zusammengestellt, die relevante Faktoren im Rahmen einer Online-Umfrage hinsichtlich ihrer Relevanz bewerteten. In einem dritten Schritt wurden mehrere Treffen mit den jeweiligen Expertinnen und Experten durchgeführt.

Die Ergebnisse des expertengestützten Prozesses wurden aufbereitet und mit dem Beirat des Projekts, in welchem Personen mit unterschiedlicher Expertise und Einbindung ins Sportsystem vertreten waren, diskutiert.

Hinsichtlich der Entwicklung eines Datenmodells für Sportstätten wurde mit der Technischen Universitätsbibliothek Hannover, die führende Expertise im Bereich des Forschungs-

datenmanagements und Data Science besitzt, zusammengearbeitet. Das methodische Vorgehen war darauf ausgerichtet, Interoperabilität herzustellen, weswegen eine gemeinsame Entwicklung mit dem bereits weit fortgeschrittenen Datenmodell des Landes Hessen erfolgte und der Einsatz von Persistenten Identifikatoren (PID) erprobt wurde. Das Datenmodell und die PID wurden gemeinsam mit der Projektgruppe des DSD im Rahmen mehrerer Sitzungen entwickelt. Die Datenbankstruktur ergab sich aus den Erfordernissen der Interoperabilität und den geplanten Anwendungsfällen (insbesondere Nutzung in den Verfahren zur Berechnung der Versorgungsgrade).

### 3 Ergebnisse

#### Verfahren zum baulichen Zustand

Ziel war die Entwicklung eines Verfahrens zur Schätzung des baulichen Zustands von Sporthallen, Sportplätzen und Schwimmbädern. In einem mehrstufigen Prozess wurden 78 potenzielle Einflussfaktoren identifiziert und nach Relevanz sowie Datenverfügbarkeit bewertet. Die zehn wichtigsten Faktoren je Kernsportstättentyp wurden ausgewählt (siehe Abbildung 1).

Mangels ausreichend vorhandener Sportstättendaten wurden mithilfe bayesscher Netze künstliche Datensätze erzeugt. Die Bewertung des baulichen Zustands erfolgte nach dem BISp-Leitfaden (2000), erweitert auf eine siebenstufige Skala (Q1 bis Q4 mit Zwischenstufen).

Für Sporthallen sagte das beste Modell 67 % der Zustände korrekt oder mit nur einer Stufe Abweichung voraus, für Sportplätze 59 %. Für Schwimmbäder war keine Modellierung möglich,

Schwimmbäder	Sporthallen	Sportplätze
Baujahr	Baujahr	Sportplatztyp (z.B. Großspielfeld oder Wettkampfanlage)
Wasserfläche	Datum der letzten Sanierung, ggf. auch letzte energetische Sanierung	Belagsart
Badtyp	Mängelmanagement der Kommune	Größe des Sportplatzes
bauliche Unterhaltungskosten	Höhe der Sporthalle	Alter der letzten Belagserneuerung
technische Unterhaltungskosten	Größe der Halle/Spielfläche	Baujahr
Finanzausstattung von Kommunen	Instandhaltungsaufwand in der Vergangenheit	Häufigkeit der Regeneration und Renovation
Konstruktionsart und ggf. Typenbau ja/nein	Technische Gebäudeausrüstung zur Energieversorgung	Ausgeübte Sportart
Betriebskosten Strom	Heiz- und Stromkosten	Nutzungshäufigkeit / Anzahl der nutzenden Mannschaften
Energieeffizienzklasse	Herstellungskosten KG 300/400	Häufigkeit der Intensivreinigung
Betriebskosten Heizung	Fassadenmaterial	Bewässerungsanlage vorhanden
Insgesamt 28 Kriterien	Insgesamt 23 Kriterien	Insgesamt 25 Kriterien

Abb. 1: Übersicht über relevante Einflussfaktoren auf den baulichen Zustand.

da nur vier verwertbare Zustandsbewertungen vorlagen. Wichtige Modellvariablen waren u. a. „Letzte Sanierung“, „Baujahr“, „Nettosportfläche“, „Energieverbrauch“ (Sporthallen) sowie „Sportflächenbreite“, „Anlagentyp“, „Drainage“ (Sportplätze). Für Schwimmbäder wurden potenzielle Einflussfaktoren aus Experteneinschätzungen abgeleitet.

Ein zentraler Anwendungsfall für die Ergebnisse der Schätzung des baulichen Zustands ist die Ermittlung des Sanierungsbedarfs bzw. der daraus resultierenden Sanierungskosten. Das hier angewandte Konzept ist aufgrund der aktuell noch mangelnden Datenverfügbarkeit nur rudimentär, führt aber zu annehmbaren Schätzungen. Dabei wird davon ausgegangen, dass zunächst nur die Sportstätten im schlechtesten baulichen Zustand saniert werden müssen. Zur Bewertung von Sanierungskosten wurden N=712 Fördersummen aus verschiedenen Sportstättenförderprogrammen analysiert. Eine direkte Zuordnung zu konkreten Anlagen war nicht möglich, dennoch ließ sich ein Modell zur Abschätzung des Sanierungsbedarfs entwickeln. Wendet man das Konzept auf Daten aus der Sonderbefragung des KfW-Kommunalpanels an (KfW Research, 2025), ergibt sich bundesweit ein geschätzter Bedarf von 39 Mrd. €, davon 26 Mrd. € für Sporthallen, 6 Mrd. € für Sportplätze und 7 Mrd. € für Schwimmbäder. Die Ergebnisse liegen im Rahmen bestehender Schätzungen (z. B. DOSB [2018] oder KfW [2022]). Es ist aber festzuhalten, dass sowohl das Modell zur Schätzung des baulichen Zustands als auch das Konzept zur Bestimmung des Sanierungsbedarfs mittels einer bisher nicht vorhandenen Datengrundlage angepasst werden müssen, um wissenschaftlich und praxisrelevant Ergebnisse liefern zu können.

## Verfahren zur Versorgung mit Sportstätten

Ein zentrales Ziel war die Entwicklung eines Modells zur Bestimmung des Versorgungsgrades von Sporthallen, Sportplätzen und Schwimmbädern auf kommunaler, regionaler, Landes- und Bundesebene. In einem mehrstufigen Prozess mit Expertinnen und Experten wurde hierfür ein Drei-Ebenen-Modell erarbeitet und intensiv mit dem Projektbeirat sowie

auf Fachveranstaltungen diskutiert. Die Praxis-tauglichkeit konnte im Rahmen eines Transferprojekts in Thüringen (Schwimmbäder) erfolgreich demonstriert werden. Weitere Projekte in Nordrhein-Westfalen (Sporthallen) und Hessen (Sportplätze) sind in Umsetzung.

Versorgungsgrade verstehen sich als differenzierte Kennzahlen, die Aussagen zur Ausstattung einer Region mit bestimmten Sportstättentypen ermöglichen. Eine Reduktion auf eine einzige Kennzahl wurde von allen Beteiligten abgelehnt, da sie der Komplexität der Sportstättenversorgung nicht gerecht wird. Vielmehr dienen Versorgungsgrade als Vergleichswerte zwischen Regionen, die auf verschiedenen Ebenen Anwendung finden können – z. B. in kommunalen Sportentwicklungsplanungen, auf Landesebene zur Identifikation unterversorgter Gebiete oder als mögliches Steuerungsinstrument für Bundesförderprogramme.

Das Drei-Ebenen-Modell umfasst:

**1. Signalebene:** Vier zentrale Merkmale je Sportstättentyp werden farblich (Grün, Gelb, Orange, Rot) nach Versorgungsniveau eingeordnet. Grün steht für die besten 25 %, Rot für die schlechtesten 25 % aller Kommunen. Diese Darstellung ermöglicht eine erste Orientierung, etwa zu Verbesserungspotenzialen.

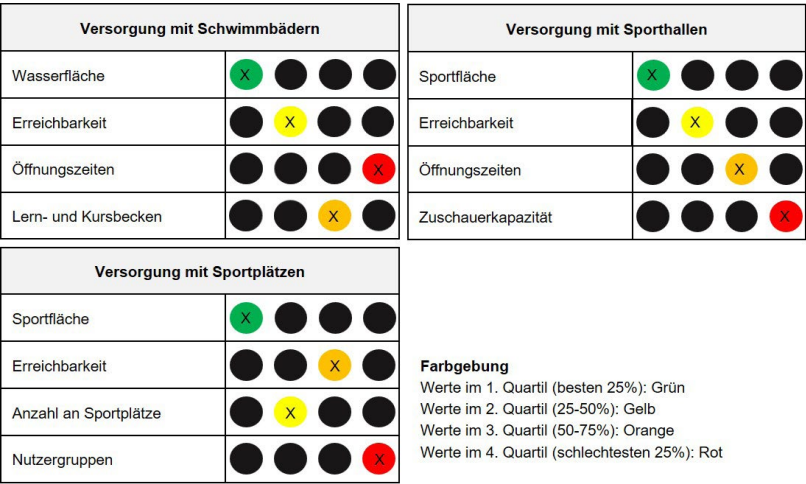
- *Schwimmbäder:* Wasserfläche, Erreichbarkeit, Öffnungszeiten, Lern-/Kursbecken
- *Sporthallen:* Sportfläche, Erreichbarkeit, Öffnungszeiten, Zuschauerkapazität
- *Sportplätze:* Sportfläche, Erreichbarkeit, Anzahl der Plätze, Nutzergruppen

**2. Datenebene:** Die Signalebene basiert auf konkreten Kennzahlen (Signalkennzahlen), die hier in ihrer numerischen Ausprägung dargestellt werden.

**3. Expertenebene:** Weitere Kennzahlen erlauben eine vertiefte Analyse, weisen jedoch höhere Anforderungen an Datenverfügbarkeit auf. Auch hier erfolgt eine Einordnung in Quartile (mit Farbcode), um regionale Vergleiche zu ermöglichen und fachliche Diskussionen zu unterstützen.



Signaleebene der Versorgungsgrade von Sportstätten



Das Modell versteht sich als Werkzeug für datenbasierte Entscheidungsfindung und Partizipation in der Sportentwicklungsplanung – ohne dabei Planungsprozesse zu ersetzen.

Weitere Details zur Anwendung, Datenverarbeitung und Praxistransfer sind im Projektbericht dokumentiert. Ergänzend stehen die Handreichung „Einführung in die Versorgungsgrade von Regionen“ sowie die Systematikbeschreibung zur Verfügung. Aspekte der Barrierefreiheit wurden im Teilprojekt „Indikatoren der Barrierefreiheit von Sportstätten“ separat behandelt.

Entscheidungsunterstützungssystem

Ein Prototyp des geforderten Entscheidungsunterstützungssystems wurde gemeinsam mit dem Statistischen Landesamt Rheinland-Pfalz in Form eines Dashboards entwickelt. Diese Zusammenarbeit war essenziell, um weitere erforderliche Daten – insbesondere Bevölkerungsdaten – zu integrieren. Auf Basis des Datenmodells wurden Sportstättendaten aus Rheinland-Pfalz übermittelt und mit dem Landesamt ein erstes System zur Analyse der Versorgungsgrade erstellt (siehe Abbildung 2).



Abb. 2: Screenshot des Prototyps eines Entscheidungsunterstützungssystem, das (fiktive) Versorgungsgrade für verschiedene Kreise und kreisfreie Städte in Rheinland-Pfalz ausweist.

Das Dashboard bildet zentrale Kennzahlen, z. B. zur Versorgung mit Sporthallen, auf Kreis- und Gemeindeebene ab. Zudem lassen sich die Datengrundlagen auf Ebene einzelner Sportstätten nachvollziehen. Ein praktischer Anwendungsfall außerhalb des Prototyps wurde in Nordrhein-Westfalen umgesetzt: Dort wurde die Kennzahl „Wasserfläche pro 10.000 Einwohner“ zum Vergleich von sechs mittelgroßen Städten im Hinblick auf ihre Schwimmbadversorgung im Rahmen einer Sportentwicklungsplanung eingesetzt.

Das Konzept des Prototyps und weitere Anwendungsmöglichkeiten werden im Dokument „Konzept eines Entscheidungsunterstützungssystems zur Schätzung des Sanierungsbedarfs“ erläutert.

## Datenmodell Sportstätten und Interoperabilität

Eine zentrale Projektleistung war die Sicherstellung der Passung der entwickelten Verfahren in die digitale Plattform des DSD. Wesentliches Ergebnis war die Entwicklung eines gemeinsamen Datenmodells für Sportstätten, das die Anwendung der Verfahren zur Schätzung des baulichen Zustands und der Versorgungsgrade ermöglicht – sobald ausreichend Daten im DSD vorliegen.

Da der DSD derzeit noch keine vollständigen Detaildaten enthält, wurde das Modell gemeinsam mit zwei Bundesländern und den DSD-Verantwortlichen entwickelt. Dies förderte die Akzeptanz auf Länder- und Bundesebene und schafft die Grundlage für die zukünftige Umsetzung in der Praxis.

Das Modell erfasst 17 Sportstättentypen mit 89 Anlagentypen. Es basiert auf drei Hierarchieebenen: Sportkomplexe, Sportstätten und Sportanlagen. Letztere sind zentral für die Modellierung und Anwendung der Verfahren. Jeder Typ ist mit relevanten Ausstattungsmerkmalen verknüpft – entweder für Länderanwendungen (z. B. Fördermittelverwendung, Leistungstützpunkte) oder zur Nutzung der entwickelten Analyseverfahren.

Voraussetzung für diese Integration war ein Datenmodell, das alle relevanten Variablen für bau-

lichen Zustand und Versorgungsgrade umfasst und zugleich mit dem DSD sowie den Landesdatenbanken kompatibel ist. Die Entwicklung erfolgte in enger Abstimmung mit den Bundesländern Hessen und Rheinland-Pfalz sowie den DSD-Verantwortlichen.

Details zum Modell sind im Dokument „Datenmodell Deutscher Sportstättenatlanten“ enthalten.

## Entwicklung Persistenter Identifikatoren

Im Teilprojekt „PID für Sportstätten“ wurde ein Konzept zur Vergabe von Persistenten Identifikatoren (PID) entwickelt, um Daten aus verschiedenen Quellen effizient verknüpfen zu können und das insbesondere für Gebäude von besonderer Bedeutung ist (de Castro et al., 2023).

Die Herausforderung bestand darin, dass Sportstättendaten aus Bund, Ländern und Kommunen oft nicht eindeutig zusammengeführt werden konnten. PIDs ermöglichen eine eindeutige Identifikation und maschinenlesbare Verknüpfung von Sportstätten mit Informationen aus anderen Datenbanken, z. B. zu Bau, Sanierung oder Förderung. Dafür wurden verschiedene Metadatenschemata berücksichtigt (z. B. DataCite Metadata Working Group, 2024).

Das Konzept orientiert sich am wissenschaftlichen PID-System (z. B. DOI, ORCID) und wurde anhand von 15 Anwendungsfällen konzipiert, von denen fünf erfolgreich als Prototypen getestet wurden. PIDs werden von spezialisierten Anbietern wie DataCite, ePIC oder der TIB vergeben und leiten auf sogenannte Landing Pages weiter. Beispiel: Die DOI 10.83423/6zxb-0815 führt zur Seite der Römer Therme in Dormagen auf [baederleben.de](https://baederleben.de). Die zugehörigen Metadaten sind maschinenlesbar abrufbar. Durch die Eingabe der entsprechenden Internetadresse<sup>1</sup> in einen Browser wird man vom PID-Provider DataCite

<sup>1</sup> Da es sich im aktuellen Projekt um einen Prototypen handelt, sind die Test-DOIs in der DataCite Fabrica Testumgebung nur für den Testzeitraum als Handles vergeben und funktionieren daher ausschließlich über die entsprechende DataCite Fabrica Domain: <https://handle.test.datacite.org/10.83423/6zxb-0815>



auf die Landing Page der Römer Therme auf der Seite [www.baederleben.de](http://www.baederleben.de) weitergeleitet. Die Metadaten können über einen anderen Link<sup>2</sup> abgerufen werden.

Im Projekt wurden zentrale PID-Vergabemodelle analysiert und bewertet. Vorgeschlagen wird ein föderiertes Zentralsystem: Die Länder übermitteln strukturierte Daten an den DSD, der die PIDs generiert und zurückspielt. Dublettenprobleme bestehen derzeit primär bei Schwimmbädern. Der DSD kann zudem Förder-, Geobasis- oder Baubestandsdaten über die PID an Sportstätten anbinden und so den Datenaustausch optimieren.

Ein dreifacher Nutzen entsteht: 1) Anwendung der Schätzverfahren, 2) Verbindung mit PIDs aus der Sportwissenschaft (z.B. Motoriktests), 3) Weitergabe an externe Systeme wie kommunale Datenbanken oder Verbände. Kurzfristig kann der ORKG als PID-Infrastruktur dienen, bis der DSD vollständig einsatzbereit ist.

## 4 Diskussion

Das Projekt „Schätzverfahren Deutscher Sportstätten“ hat die Entwicklung eines Datensystems für Sportstätteninfrastruktur deutlich vorangebracht. Es wurden insbesondere Verfahren für Versorgungsgrade als neue Methode der Sportstättenbedarfsplanung entwickelt und in der Praxis erprobt. Eine Visualisierung des Verfahrens und die Entscheidungsunterstützung wurden durch die Entwicklung eines Prototyps gemeinsam mit dem Statistischen Landesamt Rheinland-Pfalz bereitgestellt. Die Entwicklung des Prototyps zu einem funktionierenden System wird z.B. im Rahmen der Entwicklung des Sportstättenatlas Rheinland-Pfalz weiterbetrieben. Allein das Ziel einer Schätzung des baulichen Zustands von Sportstätten konnte aufgrund der fehlenden Datengrundlage nur mit simulierten Daten umgesetzt werden. Ein Konzept zur Schätzung des Sanierungsbedarfs von Sportstätten wurde erarbeitet. Die endgültige

Anwendung und Testung benötigen umfangreichere Daten im DSD. Mit der Entwicklung eines mit den Bundesländern abgestimmten Datenmodells sowie dem vorliegenden Konzept und der erfolgreichen Testung von Prototypen von PIDs für Sportstätten wurden insgesamt die Grundlagen für ein Datenökosystem geschaffen. An dieser Stelle sind die weiteren Entwicklungen in Bezug auf Finanzierung und Betrieb des DSD entscheidend – die konzeptionellen Grundlagen und praktische Erprobungen sind geleistet. Als Zwischenschritt wäre auch die Umsetzung eines Masterrepositoriums möglich, welches zu einem späteren Zeitpunkt in den DSD überführt würde.

## 5 Ausblick

Das Projekt „Schätzverfahren Deutscher Sportstätten“ bildet wie schon das Projekt „Grundlagen für einen digitalen Sportstättenatlas“ (Wallrodt & Thieme, 2022) den konzeptionellen und praxisnahen Ausgangspunkt für weitere (Forschungs-)Projekte und Praxisanwendungen. So wurden die entwickelten Verfahren zu den Versorgungsgraden von Sportstätten in drei Transferprojekten in den Ländern Nordrhein-Westfalen, Hessen und Thüringen in die Praxis überführt. Das spätere BISp-Projekt „Öffentlichen Mitteleinsatz zielgerichtet steuern – Die optimale Gestaltung von Förderprogrammen zu Sportinfrastrukturen“ greift die Ideen der Versorgungsgrade auf und verbindet sie mit der Gestaltung von Förderprogrammen. Ebenso wurden berechnete Versorgungsgrade in verschiedenen kommunalen Sportentwicklungsprojekten sowie im Rahmen von Bäderzielplanungen eingesetzt, weshalb auch die voraussichtlich 2026 aktualisierte Version des „Memorandums zur kommunalen Sportentwicklungsplanung“ der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft als eine neue Methode in der kommunalen Sportentwicklungsplanung ausgewiesen wird.

Das entwickelte Datenmodell wird aktuell schon in den Ländern Rheinland-Pfalz und Hessen angewandt und ist die Grundlage für den entwickelten Prototyp des Digitalen Sportstättenatlas Deutschlands.

2 <https://api.test.datacite.org/doi/application/vnd.datacite.datacite-json/10.83423/6zxb-0815>

## 6 Literaturverzeichnis

BISp (2000). *Leitfaden für die Sportstättenentwicklungsplanung*. Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.

DataCite Metadata Working Group (2024). *DataCite Metadata Schema for the Publication and Citation of Research Data and Other Research Outputs*. Version 4.6. DataCite e. V. <https://doi.org/10.14454/csba-e454>

de Castro, P., Herb, U., Rothfritz, L., & Schöpfel, J. (2023). *Persistent identifiers for research instruments and facilities: an emerging PID domain in need of coordination*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7330372>

DOSB (2018). Bundesweiter Sanierungsbedarf von Sportstätten – Kurzexpertise.

KfW Research (2022). *Investitionsrückstand bei Schwimmbädern sinkt, aber Energiekosten steigen*. Meldung vom 28.06.2022 abrufbar unter: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2022/Fokus-Nr.-388-Juni-2022-Schwimmbaeder.pdf>

KfW Research (2025). *Kommunale Sportstätten: große Bedeutung und hoher Investitionsbedarf*. Meldung vom 13. Januar 2025 abrufbar unter <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2025/Fokus-Nr.-482-Januar-2025-Sportstaetten.pdf>

Wallrodt, S., & Thieme, L. (2021). Grundlagen für einen digitalen Sportstättenatlas. *Entwicklung einer Systematik anhand von Parametern zur digitalen bundesweiten Erfassung von Sportstätten*. Bonn: BISp.

# 4 Service- Forschungsprojekte

# Wettkampfanalyse (Para) Badminton 2024

AZ 071603/24

*Fabian Hammes (Projektmitarbeiter) & Daniel Link (Projektleiter)*

Lehrstuhl für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, TUM School of Medicine and Health,  
Technische Universität München

## 1 Problem

Systematische Wettkampfanalysen sind aus dem heutigen Spitzensport nicht mehr wegzudenken. Badminton und Para Badminton bilden hierbei keine Ausnahme. Daher wurde über die letzten Jahre mithilfe verschiedener vom BISp geförderter Projekte (Badminton: 071610/20, 072109/21, 071603/23; Para Badminton: 071605/21, 071602/23) die Spielanalyse auf ein neues Niveau gehoben. Insbesondere wurde eine Erfassungssystematik entwickelt, mit deren Hilfe die ballwechselentscheidenden Situationen (sog. Keyplays) mit einer ausreichenden Objektivität systematisch erfasst werden können (Hammes & Link, 2024). Ein weiterer wesentlicher Punkt, der in den vergangenen Projekten bearbeitet wurde, ist die technologische Unterstützung beim Analyseprozess. Hierzu wurde ein Tool entwickelt, das in einer Spielaufzeichnung automatisch den Anfangs- und Endzeitpunkt von Ballwechseln erkennt und somit ein Video auf die Nettospielzeit kürzen kann (Hammes & Link, 2023). Dies erleichtert und beschleunigt die manuelle Arbeit bei einer Spielanalyse enorm.

Die vorliegenden Projekte dienten insbesondere dazu, die geleisteten Arbeiten zusammenzuführen und durch einen geeigneten Workflow zur Spielanalyse eine effektive Unterstützungsleistung für die Olympischen und Paralympischen Spiele 2024 in Paris zu leisten. Die Verbreitung der Erkenntnisse innerhalb des Verbands stellte ein weiteres wichtiges Ziel der vorliegenden Projekte dar. Dies sollte es dem Verband in Zukunft ermöglichen, unabhängig von der Expertise der TU München die erhaltenen Ergebnisse zu nutzen.

## 2 Methode

Um die zuvor genannten Ziele zu erreichen, wurden drei konkrete Maßnahmen für das vorliegende Projekt genannt:

1. Schulungen von Endanwendern,
2. Verbesserung der Aufbereitung der Analysen,
3. Spielanalytische Vor- und Nachbereitung der Olympischen und Paralympischen Spiele.

Positiv zu erwähnen ist der fortlaufende Austausch mit dem IAT Leipzig, das in erster Linie für die im olympischen Badminton doppelspezifischen, spieltaktischen Themen zuständig ist. Durch diesen engen Austausch konnten einerseits Maßnahmen, wie die Aufbereitung und zur Verfügungstellung der Analysen, wesentlich schneller umgesetzt werden, als es ohne diesen möglich gewesen wäre. Zum anderen handelte es sich bei inhaltlichen Diskussionen immer um einen fruchtbaren Austausch, der die Ergebnisse auf jeden Fall verbessert hat.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Schulungen von Endanwendern

Um die neu entwickelte Erfassungssystematik und gewonnenen Erkenntnisse weiter in die Breite zu tragen, fanden in den letzten Jahren regelmäßig Vorträge und Workshops in Symposien sowie Aus- und Fortbildungen für trainierende Personen statt. Auch 2024 stellte die

Spielanalyse einen Themenschwerpunkt in der stattgefundenen A-Trainer- und A-Trainerinnenausbildung dar. So wurde das Thema insbesondere innerhalb eines Lehrgangs im April in Saarbrücken vertieft und anschließend weiter begleitet. Hervorzuheben ist dieses Jahr, dass der Lehrgang parallel zu den Individual-Europameisterschaften stattfand, sodass die für die teilnehmenden Personen gewonnenen Erkenntnisse direkt auf höchstem internationalen Niveau erprobt und diskutiert werden konnten.

### 3.2 Verbesserung der Aufbereitung von Analysen

Ein weiterer Schwerpunkt des Projekts bestand in der verbesserten Aufbereitung von geleisteten Analysen für Trainerinnen und Trainer sowie Spielerinnen und Spieler. Hierfür wurde in enger

Zusammenarbeit die vom IAT Leipzig entwickelte *Gegner-Taktik-App* für die Einzeldisziplinen auf die neue Erfassungssystematik angepasst. Die TUM stand hier beratend zur Seite, Inhaber der App ist jedoch das IAT, das auch die Weiterentwicklung verantwortete.

Im neu entstandenen Dashboard für die Einzeldisziplinen sind die für das DBV-Trainerteam wichtigsten Informationen bzgl. Keyplays, Ballwechseldauer und Ballwechselabschluss übersichtlich und interaktiv dargestellt. Bei einer Suche nach bestimmten Auffälligkeiten lassen sich die Grafiken anklicken, und die jeweiligen Spielszenen können hintereinander angeschaut werden. Das neu entwickelte Dashboard konnte erstmals in der unmittelbaren Vorbereitung auf die Olympischen Spiele eingesetzt werden.

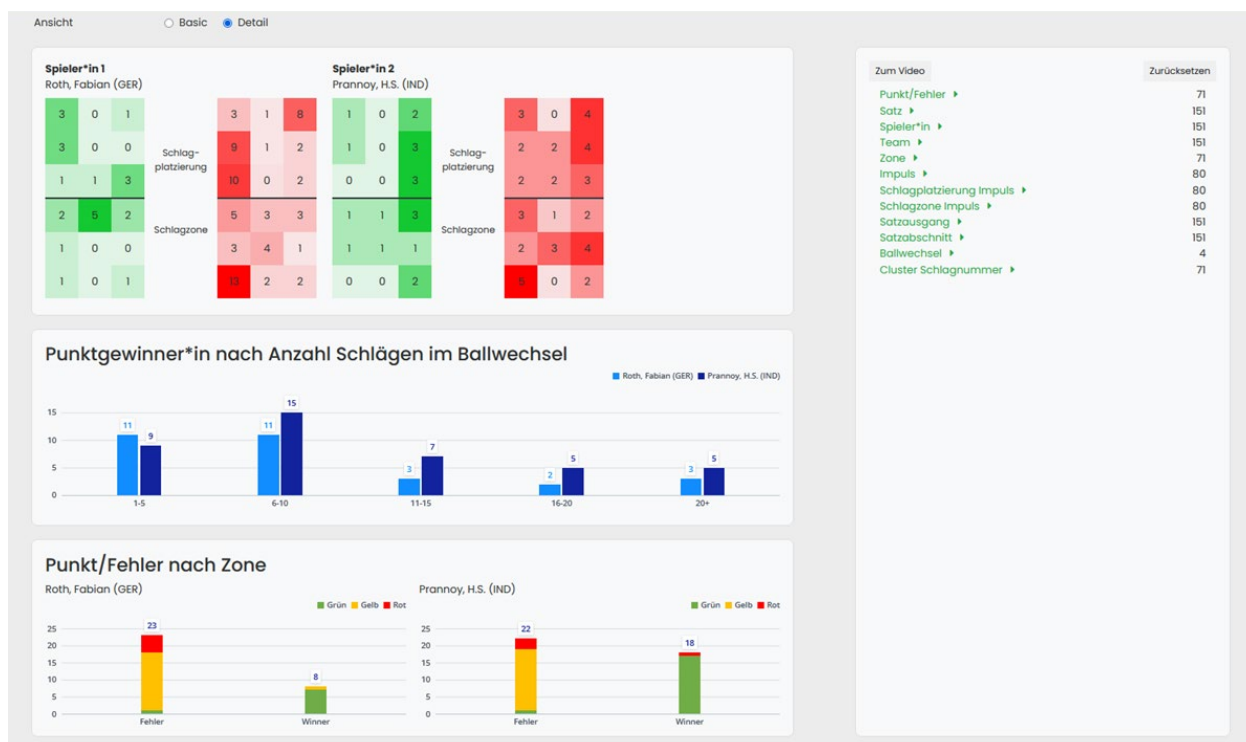


Abb. 1: Aufbereitete Analyse in der Gegner-Taktik-App des Deutschen Badminton-Verbandes.

### 3.3 Vor- und Nachbereitung der Olympischen und Paralympischen Spiele

Die Olympischen und Paralympischen Spiele in Paris 2024 stellten den eindeutigen Saisonhöhepunkt dar. In den Einzeldisziplinen war der DBV bei den Olympischen Spielen durch Fabian Roth (Herreneinzel) und Yvonne Li (Dameneinzel) vertreten, bei den Paralympischen Spielen durch Marcel Adam (Herreneinzel SL4), Rick Hellmann (Herreneinzel WH2) und Thomas Wandschneider (Herreneinzel WH1). Bei den Olympischen Spielen konnten beide Vertreter zwar nicht den Einzug nach der Gruppenphase ins Achtelfinale realisieren, was jedoch aufgrund der Auslosung als Überraschung gegolten hätte. Die gezeigten Leistungen können allerdings als sehr ansprechend angesehen werden. Hervorzuheben ist hierbei das Spiel von Yvonne Li, die gegen die Olympiasiegerin aus Tokio, Chen Yu Fei aus China, erst nach drei gespielten Sätzen unterlag. Bei den Paralympischen Spielen kamen Marcel Adam und Rick Hellmann nicht über die Gruppenphase hinaus, Thomas Wandschneider feierte allerdings mit dem Gewinn der Bronzemedaille die erste Olympische oder Paralympische Medaille des Deutschen Badminton-Verbandes in der Geschichte.

Bei der praktischen Vorbereitung wurde in erster Linie das olympische Badminton unterstützt. Die konkrete spielanalytische Vorbereitung stellte sich hierbei so dar, dass nach Veröffentlichung der Auslosung die jeweiligen Gruppengegner genau unter die Lupe genommen wurden. Hierzu wurden mehrere Spiele der jeweiligen Generinnen oder Gegner mit der entwickelten Erfassungssystematik analysiert und per *Gegner-Taktik-App* zur Verfügung gestellt. Somit hatten das Trainerteam und die Athleten sowie die Athletinnen die Möglichkeit, gezielt nach Stärken und Schwächen der gegnerischen Partei zu suchen, was in intensiven Gesprächen herausgearbeitet wurde.

Auch zur Nachbereitung der Olympischen und Paralympischen Spiele wurde der entwickelte Workflow genutzt, um die Spiele der deutschen Vertreter und Vertreterinnen zu analysieren. So konnte aufgrund der gesammelten Daten zügig und umfassend dargestellt werden, welche Verbesserungspotenziale bestehen. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die aufbereitete Keyplay Analyse von Thomas Wandschneider in seinem Spiel um die Bronzemedaille bei den Paralympischen Spielen.

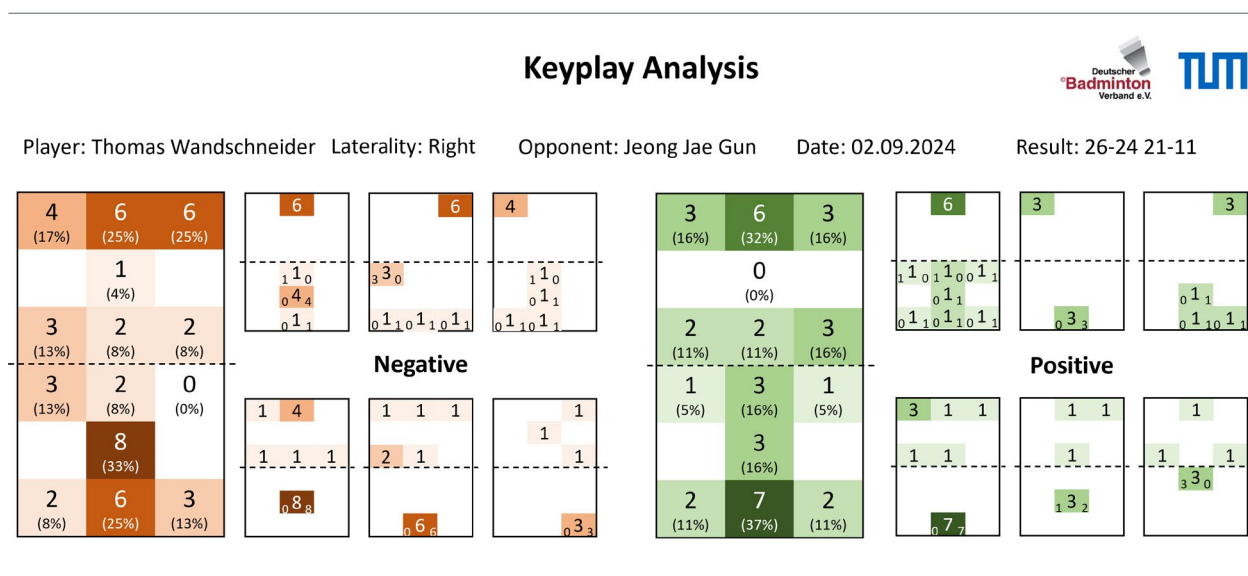


Abb. 2: Keyplay Analyse von Thomas Wandschneider im Spiel um die Bronzemedaille bei den Paralympischen Spielen

## 4 Diskussion

Mithilfe der vorliegenden Projekte konnten die bisher geleisteten Arbeiten zusammengeführt und in einen funktionierenden Workflow gebracht werden. Der entstandene Workflow konnte zur Vor- und Nachbereitung der Olympischen und Paralympischen Spiele 2024 eingesetzt werden und stellte somit eine wesentliche Erleichterung der spielanalytischen Arbeit für das Trainer-team dar. An dieser Stelle sei jedoch angemerkt, dass innerhalb des Analyseprozesses weiterhin Systembrüche bestehen, die durch ein vollständig integriertes System beseitigt werden könnten.

## 5 Ausblick

Der eingeschlagene Weg sollte in den nächsten Jahren konsequent fortgesetzt werden. So muss u. a. das Ziel sein, dass der nun gewonnene Spielanalyseprozess auch in Zukunft Teil von Aus- und Fortbildungen innerhalb des DBV ist, um eine weitere Verbreitung zu erreichen. Weiterhin stellen die spielanalytische Vor- und Nachbereitung der Olympischen und Paralympischen Spiele die Grundlage dar, an der die deutschen Athletinnen und Athleten in den nächsten Jahren arbeiten sollten, um den Rückstand zur Weltspitze zu verkürzen. Eine Nachhaltigkeit der Analysen wird durch die Verfügbarmachung der Erkenntnisse mithilfe der *Gegner-Taktik-App* sichergestellt.

## 6 Literaturverzeichnis

- Hammes, F., & Link, D. (2024). Badminton as a Dynamic System – A New Method for Analyzing Badminton Matches Based on Perturbations [Badminton als Dynamisches System – Eine neue Methode um Badmintonspiele zu analysieren basierend auf Perturbationen]. *Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2323327>
- Hammes, F., & Link, D. (2023). Use of Computer Vision to Automatically Predict Starting and Ending Point of a Rally in Badminton [Nutzung von Computer Vision um automatisch Start- und Endpunkt von Ballwechseln im Badminton vorherzusagen]. In: A. Baca, J. Exel (Eds.), *13<sup>th</sup> World Congress of Performance Analysis of Sport and 13th International Symposium on Computer Science in Sport*. IACSS&ISPAS 2022. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1448. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-31772-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31772-9_11)

# Entwicklung eines sportpsychologischen Anforderungsprofils für die Sprintdisziplinen im BahnradSPORT

AZ 072009/24

Dr. Christian Zepp<sup>1</sup> & Dr. Jeannine Ohlert (Projektleitung)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Deutsche Sporthochschule Köln, Psychologisches Institut, Abteilung Gesundheit & Sozialpsychologie

<sup>2</sup> Das Deutsche Forschungszentrum für Leistungssport Köln – momentum

## 1 Problem

Im Rahmen des Projekts wurde ein sportpsychologisches Anforderungsprofil für die Sprintdisziplinen im BahnradSPORT entwickelt. Es basiert auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, bestehenden sportpsychologischen Anforderungsprofilen und Rahmenkonzeptionen sowie den individuellen Bedürfnissen, Voraussetzungen und Erfahrungen der Athleten und Athletinnen, Trainer und Trainerinnen sowie Sportpsychologen und Sportpsychologinnen des Bundes Deutscher Radfahrer e.V. (BDR). Durch die Analyse und Integration dieser Faktoren konnte ein systematisiertes und zugleich praxisnahes Konzept erstellt werden, das die sportpsychologische Betreuung gezielt auf die Anforderungen der Sprintdisziplinen ausrichtet. Mit dem Projekt wird die internationale Wettbewerbsfähigkeit des BDR gestärkt und eine fundierte Grundlage für zukünftige sportpsychologische Maßnahmen geschaffen. Die Ergebnisse und der Erstellungsprozess werden im Folgenden dargestellt.

Der BahnradSPORT stellt Athleten und Athletinnen vor extreme physische und psychologische Herausforderungen, insbesondere in den Sprintdisziplinen, in denen innerhalb von Sekunden Höchstleistungen erbracht und taktische Entscheidungen getroffen werden müssen (vgl. Craig & Norton, 2001). Trotz der hohen Relevanz dieser mentalen Anforderungen gibt es bislang nur wenige wissenschaftliche Arbeiten, die sich gezielt mit der Sportpsychologie im BahnradSPORT befassen (u. a. Carter, 2021; Samelko & Tomaszewski, 2020).

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines sportpsychologischen Anforderungsprofils für den BahnradSPORT, das sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse als auch die spezifischen Bedürfnisse der Athleten und Athletinnen sowie Trainer und Trainerinnen integriert. Es orientiert sich an bestehenden sportpsychologischen Rahmenkonzeptionen (u. a. Kellmann & Kopczynski, 2005; Schliermann & Stoll, 2008) und soll eine systematische Betreuung über alle Alters- und Kaderstufen hinweg ermöglichen. Damit leistet das Projekt einen entscheidenden Beitrag zur Professionalisierung der sportpsychologischen Arbeit im BDR und zur Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

## 2 Methode

Das Projekt gliederte sich in vier Schritte. Zunächst erfolgte eine Analyse vorhandener nationaler und internationaler sportpsychologischer Anforderungsprofile im Radsport, um relevante organisatorische und inhaltliche Elemente zu identifizieren. Anschließend wurden in einem zweiten Schritt Kaderathleten und Kaderathletinnen mithilfe eines Fragebogens befragt, bevor in einem dritten Schritt im Rahmen von Fokusgruppen Athleten und Athletinnen, Trainer und Trainerinnen sowie ein Sportpsychologe zu entscheidenden sportpsychologischen Aspekten im BahnradSPORT befragt wurden. Im vierten Schritt wurden die Erkenntnisse aus den Analysen und Erhebungen zusammengeführt, um ein eigenständiges sportpsychologisches



Anforderungsprofil für die Sprintdisziplinen im BahnradSPORT zu entwickeln. Dieses Profil soll die sportpsychologische Betreuung systematisieren, anwendungsorientierte Maßnahmen ableiten und den Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis fördern.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Ergebnisse aus der Sichtung vorhandener Anforderungsprofile und der Literatur

Die Analyse bestehender sportpsychologischer Anforderungsprofile im BahnradSPORT zeigte, dass bislang nur wenige systematische Modelle für diese Disziplin existieren. Während physische Leistungsfaktoren umfassend erforscht wurden (u. a. Cesanelli et al., 2024; Craig & Norton, 2001), blieb der mentale Aspekt weitgehend unbeachtet. Internationale Best-Practice-Ansätze erfolgreicher BahnradSPORTverbände wie Team NL oder Australian Cycling liefern zwar wertvolle Impulse, sind jedoch kaum strukturiert und nicht publiziert. Dennoch lassen sich aus der Literatur zentrale psychologische Anforderungen für den BahnradSPORT ableiten, darunter Stressbewältigung, Selbstvertrauen, Konzentrationsfähigkeit und mentale Härte im Wettkampf (u. a. Samelko & Tomaszewski, 2020; Stadnyk et al., 2021; Taylor & Kress, 2006).

Neben diesen allgemeinen Faktoren wurden spezifische mentale Herausforderungen identifiziert, die sich aus den Wettkampfformaten, der taktischen Dynamik und der extremen physischen Belastung ergeben. Dazu zählen Entscheidungsfindung unter Zeitdruck, der Umgang mit Sturzrisiken sowie Strategien zur kurzfristigen Leistungsmaximierung. Die Ergebnisse dieser Sichtung bilden die Grundlage für die weiteren Projektschritte, insbesondere für die Befragungen der BDR-Athleten und -Athletinnen sowie Trainer und Trainerinnen, um ein maßgeschneidertes sportpsychologisches Anforderungsprofil für den BahnradSPORT zu entwickeln.

### 3.2 Ergebnisse der Befragung von Athletinnen und Athleten

An der Onlinebefragung nahmen 16 Kaderathleten und -athletinnen der Sprintdisziplinen im BahnradSPORT teil (56 % männlich;  $M=20.6$  Jahre,  $SD=4.5$  Jahre), darunter Mitglieder des Olympiakaders, Perspektivkaders und Nachwuchskaders 1. Die Befragung erfasste zentrale sportpsychologische Themen, darunter Stressoren, Schmerzverarbeitung, Selbstwirksamkeit, Motivation, Umgang mit Misserfolg und die Fähigkeit, Leistung abzurufen. Zudem wurden das Wissen über sportpsychologische Angebote und deren wahrgenommene Bedeutung für die sportliche Entwicklung erhoben.

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere der Umgang mit Leistungsdruck, die mentale Steuerung in Wettkampfsituationen und die Selbstmotivation als zentrale Herausforderungen wahrgenommen werden. Zudem gaben mehrere Athleten und Athletinnen an, dass eine intensivere sportpsychologische Begleitung bereits im Nachwuchsbereich wünschenswert wäre. Die Erkenntnisse dieser Befragung fließen direkt in die Entwicklung des sportpsychologischen Anforderungsprofils ein, um gezielte Maßnahmen zur Unterstützung der Athleten und Athletinnen in den Sprintdisziplinen zu gestalten.

### 3.3 Ergebnisse der Fokusgruppen

An den vier Fokusgruppen nahmen insgesamt 25 Akteure des BDR teil, darunter 20 Athleten und Athletinnen aus verschiedenen Kaderstufen sowie fünf Trainer und ein Sportpsychologe. Die Teilnehmenden betonten die Bedeutung einer gezielten sportpsychologischen Betreuung zur Bewältigung mentaler Anforderungen im BahnradSPORT. Besondere Relevanz hatten die Themen Aktivierungsregulation, Aufmerksamkeit, Angstmanagement, Schmerzbewältigung, Selbstvertrauen und der Umgang mit Druck und Misserfolg. Zudem wurde die Herausforderung diskutiert, individuelle Leistungsziele mit den Anforderungen des Teams in Einklang zu bringen.

Die Teilnehmenden hoben hervor, dass sportpsychologische Maßnahmen bereits im Nachwuchsbereich systematischer integriert werden sollten. Zudem wurde ein Bedarf an individuellen Unterstützungsangeboten identifiziert, um die Effektivität der psychologischen Betreuung zu steigern. Die Erkenntnisse der Fokusgruppen bestätigen die zuvor gewonnenen Befunde und fließen direkt in die Entwicklung des sportpsychologischen Anforderungsprofils für den Bahnrad sprint ein.

### 3.4 Erstellung des sportpsychologischen Anforderungsprofils

Im letzten Projektschritt wurden die gewonnenen Erkenntnisse in ein umfassendes sportpsychologisches Anforderungsprofil für den BDR integriert. Dieses berücksichtigt die spezifischen Anforderungen des Bahnrad sprints und wird sowohl in die unmittelbare Betreuung der Athleten und Athletinnen als auch in die Aus- und Fortbildung der Trainer und Trainerinnen eingebunden.

Die Analyse der Ergebnisse der verschiedenen Arbeitsschritte verdeutlicht, dass die Anforderungen, die an die Athleten und Athletinnen in den Sprintdisziplinen im Bahnrad sport gestellt werden, besonders die gezielte Aktivierung, Fokussierung, angstfreie Entscheidungsfindung und den Umgang mit Druck betreffen. Zudem sind Selbstvertrauen, schnelle Verarbeitung von Misserfolgen, Schmerzverarbeitung, die richtige Balance zwischen Egoismus und Teamgeist sowie eine gesunde mentale Entwicklung entscheidend.

Das auf diesen Ergebnissen basierende Anforderungsprofil enthält konkrete Maßnahmen zur systematischen sportpsychologischen Begleitung von Nachwuchs- bis Elitekaderathleten und -athletinnen und kann in das bestehende sportpsychologische Rahmenkonzept sowie den Rahmentrainingsplan des BDR aufgenommen werden. Nach der Erstellung wurde es dem Verband zur Rückmeldung vorgelegt, um eine praxisnahe Implementierung sicherzustellen.

## 4 Diskussion

Das vorliegende Projekt verfolgte das Ziel, ein sportpsychologisches Anforderungsprofil für die Sprintdisziplinen im Bahnrad sport zu entwickeln. Auf Basis einer systematischen Literaturrecherche sowie einer Kombination quantitativer und qualitativer Erhebungsmethoden mit Athleten und Athletinnen, Trainern sowie einem Sportpsychologen konnte eine fundierte Datengrundlage geschaffen werden, die die spezifischen psychologischen Anforderungen dieser Disziplin valide abbildet. Das resultierende Anforderungsprofil stellt ein praxisnahes Instrument dar, das sowohl Trainern und Trainerinnen als auch Sportpsychologen und Sportpsychologinnen eine gezielte Unterstützung der mentalen Entwicklung von Athleten und Athletinnen im Sprintbereich ermöglicht.

Die Ergebnisse verdeutlichen die zentrale Bedeutung psychologischer Kompetenzen wie Emotionsregulation, Entscheidungsfähigkeit unter Zeitdruck, gezielte Selbstaktivierung und der Umgang mit leistungsbezogenem Druck. Die Analyse offenbarte zudem, dass diese Anforderungen disziplin- und rollenübergreifend von zentraler Relevanz sind, wobei insbesondere die Balance zwischen individueller Zielorientierung und teambezogenem Verhalten als herausfordernd wahrgenommen wird.

Gleichzeitig weist das Projekt auf strukturelle Voraussetzungen hin, die für eine erfolgreiche Umsetzung sportpsychologischer Maßnahmen notwendig sind. Die vergleichsweise geringe Beteiligung an der quantitativen Athleten- und Athletinnenbefragung unterstreicht die Bedeutung einer engen Zusammenarbeit mit dem Verband in der Konzeption, Kommunikation und Implementierung entsprechender Angebote. Für die nachhaltige Wirksamkeit des entwickelten Profils erscheint eine kontinuierliche Verankerung im Verbandskontext ebenso erforderlich wie eine regelmäßige Evaluation und Weiterentwicklung auf Basis praktischer Erfahrungen und wissenschaftlicher Erkenntnisse.

## 5 Ausblick

Das entwickelte sportpsychologische Anforderungsprofil bietet eine fundierte Grundlage für die systematische Integration psychologischer Kompetenzen in die Trainings- und Betreuungspraxis der Sprintdisziplinen im Bahnrad sport. Um die nachhaltige Wirkung dieses Instruments zu sichern, ist ein differenzierter Transfer in die relevanten Zielgruppen entscheidend. Für Trainer und Trainerinnen empfiehlt sich eine curriculare Verankerung der psychologischen Anforderungen in der Aus- und Fortbildung, etwa durch modulare Einheiten zu Themen wie Druckbewältigung, Kommunikationskompetenz oder motivationale Führung. Darüber hinaus können praxisnahe Fallbesprechungen und Workshops zur Anwendung des Profils die Anschlussfähigkeit im Alltag erhöhen.

Für Sportpsychologen und Sportpsychologinnen bietet das Anforderungsprofil einen strukturierten Bezugsrahmen zur Planung, Durchführung und Evaluation individueller sowie gruppenbasierter Maßnahmen entlang der sportlichen Entwicklungsphasen. Auch für Athleten und Athletinnen kann eine frühzeitige Auseinandersetzung mit den psychologischen Leistungsfaktoren – etwa im Rahmen von Lehrgängen oder edukativen Settings – zur Stärkung mentaler Ressourcen beitragen. Damit diese Transferprozesse gelingen, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Verband, Trainern und Trainerinnen sowie Sportpsychologen und Sportpsychologinnen unerlässlich. Langfristig kann so nicht nur die psychologische Leistungsfähigkeit, sondern auch die psychische Gesundheit der Athleten und Athletinnen gefördert werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- Carter, H. (2021). Mental preparation in elite track cycling: Strategies and challenges. *Journal of Applied Sport Psychology*, 33(2), 145 – 162.
- Cesanelli, L., Rossi, A., & Bianchini, E. (2024). Physiological determinants of track cycling performance: A review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 19(1), 123 – 130.
- Craig, N. P., & Norton, K. I. (2001). Characteristics of track cycling. *Sports Medicine*, 31(7), 457 – 468.
- Kellmann, M., & Kopczynski, S. (2005). *Anforderungsprofile und Regenerationsstrategien im Leistungssport*. Bundesinstitut für Sportwissenschaft.
- Samelko, A., & Tomaszewski, P. (2020). Psychological aspects of track cycling performance. *Journal of Sports Sciences*, 38(5), 489 – 500.
- Schliermann, R., & Stoll, O. (2008). *Mentale Stärke im Spitzensport: Sportpsychologische Anforderungsprofile für Trainer und Athleten*. Meyer & Meyer.
- Stadnyk, A. M., Impellizzeri, F. M., Stanley, J., Menaspà, P., & Slattery, K. M. (2021). Testing, training, and optimising performance of track cyclists: a systematic mapping review. *Sports medicine*, 1 – 11.
- Taylor, J. & Kress, J. (2006). Psychology of Cycling (S. 325 – 350). In Dosil, J. *The Sport Psychologist's Handbook*. Wiley.

# Übersetzung, kulturelle Adaptation und Validierung des REDs CAT2 Fragebogens (Relative Energy Deficiency in Sport (REDs) Clinical Assessment Tool (CAT)) für den deutschsprachigen Raum

AZ 072011/24

Johanna Kubosch (Projektleitung)<sup>1</sup>, Luisa Wöhrmann<sup>1</sup>, Karsten Hollander<sup>2</sup>, Karsten Köhler<sup>3</sup>, Jasmin Asberger<sup>4</sup> & Nina Albers<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universitätsklinikum Freiburg, Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, <sup>2</sup> MSH Medical School Hamburg, <sup>3</sup> Technische Universität München, <sup>4</sup> Universitätsklinikum Freiburg, Klinik für Frauenheilkunde

## 1 Problem

Ein relatives Energiedefizit im Sport (REDs) tritt auf, wenn Sportlerinnen und Sportler über eine längere Zeitspanne nicht genügend Energie aufnehmen, um den Energieverbrauch für ihre sportliche Aktivität zu decken. Die daraus entstehende niedrige Energieverfügbarkeit kann zu schwerwiegenden Einschränkungen physiologischer Körperfunktionen wie Minderung der Leistungsfähigkeit, Konzentrationsstörungen, Entwicklung eines unregelmäßigen oder ausbleibenden Menstruationszyklus, Abnahme der Knochenmineraldichte, Infektanfälligkeit sowie depressiven Verstimmungen und psychosomatischen Störungen führen (2, 3, 8). Der Begriff REDs erweitert dabei den erstmalig 1995 definierten Begriff der „female athlete triad“ (5) unter anderem auf beide Geschlechter.

In der Literatur finden sich sehr variable Angaben zur Prävalenz des REDs, die von 15 – 80 % variieren (8 – 10). In einer Studie von Slater et al. an Freizeitsportlerinnen wird die Prävalenz für eine niedrige Energieverfügbarkeit mit 45 % angegeben (11). In der Querschnittsstudie von Köhler et al. an 352 jungen Athleten und Athletinnen zeigte sich eine Prävalenz der männlichen Athleten von 56 % und bei den Athletinnen von 51 % (12). Des Weiteren muss von einer hohen Dunkelziffer ausgegangen werden.

Trotz der hohen sportmedizinischen Relevanz sind das Bewusstsein sowie die Kenntnis über das REDs bei Sportmedizinerinnen und Sportmedizinern, Trainerinnen und Trainern sowie weiteren Akteuren des Sports verhältnismäßig gering. Da die Symptome im Vorkommen sowie in der Ausprägung variieren können, ist die Diagnosestellung häufig schwierig. Nicht selten wird die Diagnose erst nach dem Auftreten ernstzunehmender Spätfolgen wie zum Beispiel Ermüdungsfrakturen gestellt (4).

Die IOC-Expertisegruppe veröffentlichte 2023 einen überarbeiteten REDs CAT2 Konsensusfragebogen in englischer Sprache (1), basierend auf den vorherigen Versionen von 2015 (6) und 2018 (7). Der REDs CAT2 stellt ein klinisches Assessment Tool zur Erfassung von Schweregrad und Risiko für ein relatives Energiedefizit dar. Dabei nutzt das Tool eine Ampelstratifizierung, bei der das Risiko farblich in Rot, Orange, Gelb und Grün kategorisiert wird – von hohem Risiko bis hin zu keinem oder lediglich gering ausgeprägtem Risiko. Das Assessment Tool ist ein einfach zu benutzendes Instrument, das betreuende Ärztinnen und Ärzte unterstützen soll, ein REDs-Syndrom bei Athletinnen und Athleten frühzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen und Therapien einleiten zu können. Da das Assessment Tool aktuell lediglich in der englischen Sprache verfügbar ist, war das

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens die Übersetzung und kulturelle Adaptation in den deutschsprachigen Raum sowie die Validierung des übersetzten Instruments.

Die konkreten Fragestellungen orientieren sich an den oben genannten Zielen des Projektvorhabens:

1. Ist der REDs CAT2 Fragebogen in die deutsche Sprache übersetzbar und kulturell suffizient adaptierbar, dass er als Screening Tool von medizinischem Personal eingesetzt werden kann?
2. Ist der REDs CAT2 Fragebogen geeignet, um ein REDs bei Sportlerinnen und Sportlern abhängig vom Schweregrad sowie vom Risikoprofil zu detektieren?

## 2 Methode

### Studiendesign

Die Studie erfolgte in zwei Phasen:

1. Kulturelle Adaption und Übersetzung angelehnt an die Guideline von Beaton et al. in 6 Stufen (13).
2. Validierung durch Medizinerinnen und Mediziner, die mit REDs vertraut sind.

**Studienpopulation:** Zur Validierung wurden 50 Sportärztinnen und Sportärzte, Sportorthopädinnen und Sportorthopäden, Gynäkologinnen und Gynäkologen sowie weitere Fachkräfte eingeschlossen. Die Rekrutierung erfolgte über das Netzwerk der Arbeitsgruppe, Verbände und sportmedizinische Fachgesellschaften.

**Untersuchungsdurchführung:** Die Übersetzung erfolgte in 6 standardisierten Stufen: Erstübersetzungen durch deutsche Muttersprachlerinnen und Muttersprachler, Synthese der Übersetzungen, Rückübersetzung durch englische Muttersprachlerinnen und Muttersprachler, Expertengremium zur Erstellung der vorläufigen Version und finale Erstellung des Assessment Tools.

Zur Validierung erhielten die Teilnehmenden zufällig eines von zwei fiktiven Fallbeispielen

(weiblich: Risikostatus „Rot“, männlich: Risikostatus „Gelb“) und bewerteten diese mittels des übersetzten REDs CAT2 über die RedCap (Research Electronic Data Capture) Applikation, eine sichere webbasierte Datenerfassung.

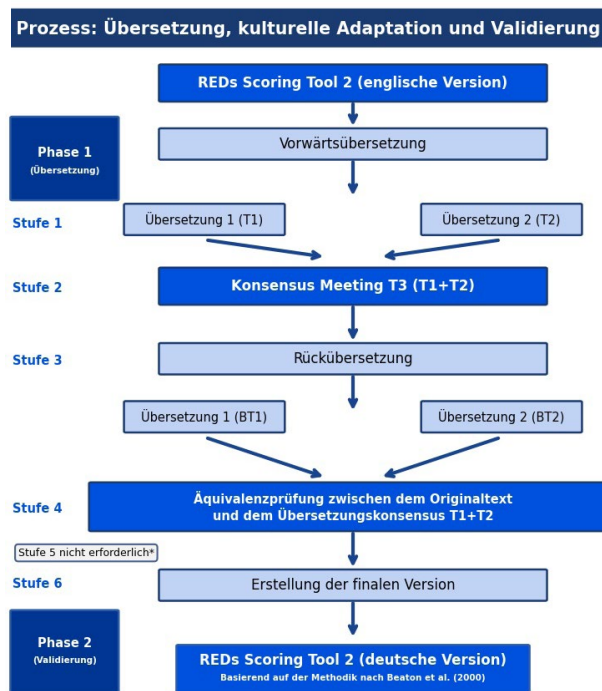


Abb. 1: Das Flussdiagramm illustriert – angelehnt an die Methodik beschrieben in der Guideline von Beaton et al. (2000) – den systematischen Übersetzungs- und Validierungsprozess des REDs CAT2 von der englischen in die deutsche Version. \*Stufe 5 entfiel, da es sich bei dem Übersetzungsgegenstand nicht um einen Fragebogen handelt, der Self-Reported-Measures erfragt.

### Statistische Analyse

Zur Überprüfung der Kriteriumsvalidität der übersetzten Version des REDs CAT2 wurde die Übereinstimmung zwischen den Bewertungen der Studienteilnehmenden und den zuvor festgelegten Zielkategorien (Goldstandard) statistisch analysiert. Die Teilnehmenden bewerteten zwei fiktive Fallbeispiele mit bekannter korrekter Kategorisierung. Für jedes Fallbeispiel wurde die Übereinstimmung mittels gewichtetem Cohen's Kappa (quadratische Gewichtung) berechnet. Zusätzlich wurde ein exakter Binomialtest durchgeführt, um zu prüfen, ob die Anzahl korrekter Kategorisierungen signifikant über dem Zufallsniveau (25 %) lag, ausgehend von vier möglichen Kategorien.

### 3 Ergebnisse

**Teilnehmercharakteristika:** Die 50 Teilnehmenden verteilten sich auf folgende Fachbereiche: Gynäkologie (16), Sportmedizin (16), Sportorthopädie und Sporttraumatologie (5), Innere Medizin (5), Orthopädie und Unfallchirurgie (3), Allgemeinmedizin (1) und andere (4). 29 Teilnehmende waren weiblich, 21 männlich.

#### Fallbeispiel 1

(weiblich, erwarteter Risikostatus „Rot“):

- 17 Teilnehmende (70,8 %) bewerteten korrekt mit „Rot“.
- 5 Teilnehmende (20,8 %) bewerteten mit „Orange“ (eine Stufe Abweichung).
- 2 Teilnehmende (8,3 %) bewerteten mit „Gelb“ (zwei Stufen Abweichung).

#### Risikobewertungen - Weibliches Fallbeispiel

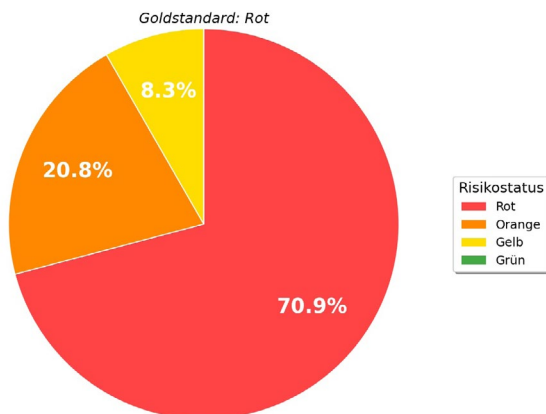


Abb. 2: Die Grafik zeigt die Verteilung der Risikostatus-Bewertungen für das weibliche Fallbeispiel (n=24). Der vordefinierte Goldstandard war „Rot“. 70,8 % der Teilnehmenden bewerteten das Fallbeispiel korrekt, 20,8 % wichen um eine Stufe ab (Orange), und 8,3 % um zwei Stufen (Gelb). Keine Bewertung erfolgte als „Grün“.

#### Fallbeispiel 2

(männlich, erwarteter Risikostatus „Gelb“):

- 19 Teilnehmende (73,1 %) bewerteten korrekt mit „Gelb“.
- 2 Teilnehmende (7,7 %) bewerteten mit „Orange“ (eine Stufe Abweichung).
- 5 Teilnehmende (19,2 %) bewerteten mit „Grün“ (eine Stufe Abweichung).

#### Risikobewertungen - Männliches Fallbeispiel

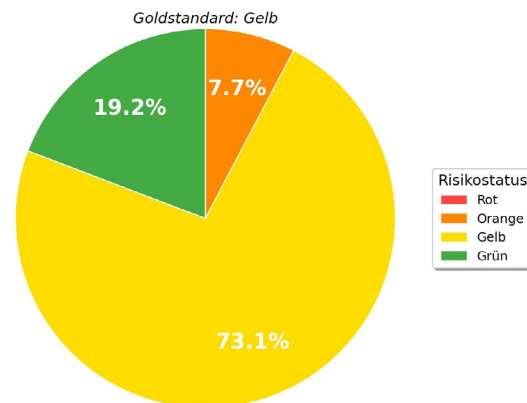


Abb. 3: Die Grafik zeigt die Verteilung der Risikostatus-Bewertungen für das männliche Fallbeispiel (n=26). Der vordefinierte Goldstandard war „Gelb“. 73,1 % der Teilnehmenden bewerteten das Fallbeispiel korrekt, 19,2 % der Teilnehmenden bewerteten eine Risikostufe niedriger (Grün), und 7,7 % der Teilnehmenden eine Stufe höher (Orange). Keine Bewertung erfolgte als „Rot“.

#### Gesamtvalidität:

- Korrekte Bewertungen: 36 von 50 (72 %)
- Eine Stufe Abweichung: 12 von 50 (24 %)
- Zwei Stufen Abweichung: 2 von 50 (4 %)
- Bei Akzeptanz einer Abweichung um eine Stufe: Validität von 96 %

**Analyse nach Fachbereichen:** Sportmedizinerinnen und Sportmediziner erzielten mit 80 % die höchste Genauigkeit, gefolgt von Gynäkologinnen und Gynäkologen (68,75 %) sowie Sportorthopädinnen und Sportorthopäden (66,67 %). Die niedrigste Genauigkeit wiesen Ärztinnen und Ärzte aus Orthopädie und Unfallchirurgie mit 25 % auf.

**Analyse nach Verbandsarzt-Status:** Aktive Verbandsärztinnen und Verbandsärzte erreichten mit 81,8 % die höchste Genauigkeit, ehemalige Verbandsärztinnen und Verbandsärzte 75 %, in der Athletenbetreuung Tätige 70,6 % und Ärztinnen und Ärzte ohne Athletenbetreuungserfahrung 66,7 %.

#### **Evaluationsergebnisse:**

- Die Mehrheit der Teilnehmenden berichtete von keinen größeren Schwierigkeiten beim Verständnis der Fragen.
- Es gab keine signifikanten Hinweise auf Missverständnisse bei den Fragen des Calculators.

#### **Statistische Ergebnisse:**

Für den untersuchten Fall ergab die Berechnung des gewichteten Cohen's Kappa eine signifikante Übereinstimmung zwischen den Bewertungen der Teilnehmenden und dem Goldstandard ( $\kappa=0.813$ ;  $z=5.91$ ;  $p < .001$ ). Der ergänzende Binomialtest zeigte, dass 36 von 50 Teilnehmenden die korrekte Kategorie wählten, was einer Trefferrate von 72 % entspricht. Diese lag signifikant über der zufälligen Erwartung (25 %) ( $p < .001$ ; 95 % Konfidenz Intervall: 0.60 – 1.00). Beide Ergebnisse sprechen für eine hohe Übereinstimmung und stützen die Validität der übersetzten Version des Instruments.

## **4 Diskussion**

Die vorliegende Studie hatte zum Ziel, das aktuell lediglich in der englischen Sprache verfügbare klinische Assessment Tool für das relative Energiedefizit im Sport (REDs CAT2) kulturell zu adaptieren und ins Deutsche zu übersetzen. In einem zweiten Schritt erfolgte die Validierung des Tools anhand einer Kohorte von Sportmedizinerinnen und Sportmedizinern sowie sportnah tätigen Fachkräften.

Die Daten zeigen eine gute Validität des übersetzten Fragebogens. Mit einer Übereinstimmungsrate von 72 % für die exakte Risikobewertung und 96 % bei Einbeziehung einer

akzeptablen Abweichung von einer Stufe kann das Instrument als valides Screening-Tool für den deutschsprachigen Raum betrachtet werden. Die konsistenten Ergebnisse bei beiden Fallbeispielen (73,1 % vs. 70,8 %) deuten auf zuverlässige Anwendbarkeit bei verschiedenen klinischen Konstellationen und Geschlechtern hin.

Die Unterschiede in der Anwendungsgenauigkeit zwischen verschiedenen Fachbereichen und in Abhängigkeit vom Verbandsarzt-Status zeigen den unterschiedlichen Kenntnisstand von im sportmedizinischen Kontext tätigen Fachkräften. Die erhobenen Daten deuten darauf hin, dass die Erfahrung in der sportmedizinischen Betreuung von Athletinnen und Athleten einen positiven Einfluss auf die korrekte Anwendung des Tools hat. Diese Erkenntnis unterstreicht den weiter bestehenden Fortbildungs-, Informations- und Aufklärungsbedarf im Bereich des relativen Energiedefizits im Sport und sollte für Implementierungsstrategien des Tools mitbedacht werden.

Kritisch diskutiert werden muss, inwiefern im klinischen Setting bereits Laborwerte oder Befunde einer Knochendichtemessung vorliegen bzw. diagnostizierte Wachstumsstörungen oder psychiatrische Erkrankungen vorliegen und den bewertenden Fachkräften für ein entsprechendes Assessment zugänglich sind. Der interdisziplinären Zusammenarbeit von Sportmedizin, -orthopädie und -traumatologie, Gynäkologie, Psychosomatik und anderen Fachgebieten kommt dabei eine entscheidende Rolle zu, macht den frühzeitigen Screening- und Diagnoseprozess allerdings umso herausfordernder.

## **5 Ausblick**

Die übersetzte und validierte Version des REDs CAT2 kann künftig von deutschsprachigen Fachkräften und wissenschaftlichen Arbeitsgruppen genutzt werden. Das einheitliche Tool ermöglicht internationales Datenpooling und kann den Erkenntnisgewinn auch in kleineren nationalen Stichproben verbessern. Die Ergebnisse einer daran angegliederten Querschnittsstudie wurden 2024 beim DGSP-Nachwuchssymposium

in Freiburg im Rahmen eines Posterbeitrages vorgestellt („Epidemiologische Querschnittsstudie zum Relativen Energie Defizit-Syndrom im Sport“). Inhalte des Forschungsprojektes wurden zudem beim diesjährigen Sportmedizintag 2025 in der Landessportschule Steinbach sowie im Rahmen des Curriculums des sportmedizinischen Universitätsklinikums Freiburg präsentiert und fanden sehr positive Resonanz.

Im praktischen Transfer wurde am Standort Freiburg eine interdisziplinäre REDs-Sprechstunde in der Sportorthopädie und -traumatologie etabliert. Die optimierte medizinische Betreuung kommt den beteiligten Athletinnen und Athleten langfristig unmittelbar zugute. Im Rahmen des Projektes konnte zudem das nationale Netzwerk erweitert werden, das standortfernen Patientinnen und Patienten durch die Vermittlung an kooperierende Fachkräfte zugutekommt. Die Implementierung des Screening Tools ist für Kader- und sportmedizinische Eignungsuntersuchungen sowie bei Risikoathletinnen und -athleten vorgesehen.

Konkret in Planung ist eine bizzentrische Studie mit dem Universitätsklinikum Tübingen zur Etablierung eines einheitlichen Screenings im Hochschulambulanz- und sportmedizinischen Untersuchungszentrums-Setting mit zeitnahe Erweiterung auf weitere sportmedizinische Zentren in Deutschland. Weitere Studien zum Thema Prävention, Verletzungsprävalenz, Fertilität und Gesundheitskompetenz im Rahmen des REDs sind bereits mit unterschiedlichen nationalen und internationalen Kooperationspartnern vorgesehen. Die Übersetzung und Validierung des REDs CAT2 für den deutschsprachigen Raum kann somit zur Verbesserung der Früherkennung des REDs-Syndroms und zur Prävention schwerwiegender Folgen beitragen.

## 6 Literatur

1. Mountjoy M, Ackerman KE, Bailey DM, Burke LM, Constantini N, Hackney AC, et al. 2023 *International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs)*. Br J Sports Med. 2023;57(17): 1073 – 97.
2. Yeager KK, Agostini R, Nattiv A, Drinkwater B. *The female athlete triad: disordered eating, amenorrhea, osteoporosis*. Med Sci Sports Exerc. 1993;25(7):775 – 7.
3. Nattiv A, Loucks AB, Manore mm, Sanborn CF, Sundgot-Borgen J, Warren MP. *American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad*. Med Sci Sports Exerc. 2007;39(10): 1867 – 82.
4. Drinkwater BL, Nilson K, Ott S, Chesnut CH, 3rd. *Bone mineral density after resumption of menses in amenorrheic athletes*. Jama. 1986;256(3):380 – 2.
5. De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, et al. 2014 *Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of the Female Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013*. Br J Sports Med. 2014;48(4):289.
6. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, et al. *RED-S CAT. Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) Clinical Assessment Tool (CAT)*. Br J Sports Med. 2015;49(7):421 – 3.



7. Mountjoy M, Sundgot-Borgen JK, Burke LM, Ackerman KE, Blauwet C, Constantini N, et al. *IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update*. Br J Sports Med. 2018;52(11):687 – 97.
8. Ackerman KE, Holtzman B, Cooper KM, Flynn EF, Bruinvels G, Tenforde AS, et al. *Low energy availability surrogates correlate with health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport*. Br J Sports Med. 2019;53(10):628 – 33.
9. Sygo J, Coates AM, Sesbreno E, Mountjoy ML, Burr JF. *Prevalence of Indicators of Low Energy Availability in Elite Female Sprinters*. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28(5):490 – 6.
10. Lane AR, Hackney AC, Smith-Ryan AE, Kucera K, Register-Mihalik JK, Ondrak K. *Energy Availability and RED-S Risk Factors in Competitive, Non-elite Male Endurance Athletes*. Transl Med Exerc Prescr. 2021;1(1):25 – 32.
11. Slater J, McLay-Cooke R, Brown R, Black K. *Female Recreational Exercisers at Risk for Low Energy Availability*. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2016;26(5):421 – 7.
12. Koehler K, Achtzehn S, Braun H, Mester J, Schaenzer W. *Comparison of self-reported energy availability and metabolic hormones to assess adequacy of dietary energy intake in young elite athletes*. Appl Physiol Nutr Metab. 2013;38(7):725 – 33.
13. Beaton DE, Bombardier C, Guillemin F, Ferraz MB. *Guidelines for the process of cross-cultural adaptation of self-report measures*. Spine (Phila Pa 1976). 2000;25(24):3186 – 91.

Bundesinstitut für Sportwissenschaft  
Graurheindorfer Str. 198 · 53117 Bonn  
Telefon +49 (0) 228 99 640-9001  
[info@bisp.de](mailto:info@bisp.de)  
[www.bisp.de](http://www.bisp.de)

ISBN: 978-3-96523-134-4

DOI: <https://doi.org/10.4126/FRL01-006526442>