

# BISp-Forschungsförderung 2023/24



2023/24



Bundesinstitut für Sportwissenschaft

# BISp-Forschungsförderung 2023/24

## **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)

### **Ansprechpartnerin**

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

### **Stand**

Dezember 2024

**BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2023/24**  
ISBN 978-3-96523-104-7

<https://doi.org/10.4126/FRL01-006484154>

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

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

# Editorial

Mit der vorliegenden Publikation „Forschungsförderung 2023/24“ legt das Bundesinstitut für Sportwissenschaft erneut Rechenschaft ab über die Zielsetzungen, Untersuchungsmethoden und Ergebnisse der von ihm finanzierten Forschungsvorhaben.

Als Ergänzung des künftig jährlich erscheinenden „BISp-Jahresberichts“ (vormals „BISp-Report“) gestattet dieser Sammelband einen kurz gefassten Überblick über die breite Palette der sportwissenschaftlichen Forschungsförderung, die vom BISp als koordinierender Institution im Wissenschaftlichen Verbundsystem Leistungssport (WVL) verantwortet wird.

Diese Veröffentlichung ist kein Selbstzweck: Nur wenn es gelingt, die vom Bundesinstitut finanzierten Projekte in Sportwissenschaft und -praxis gleichermaßen bekannt zu machen, ist es zu gewährleisten, dass die Sportwissenschaft den ihr zustehenden Beitrag bei der Erbringung sportlicher Höchstleistungen beisteuern kann. Die nicht zuletzt auch durch diese Publikation angestoßene Diskussion in der Scientific Community möge zugleich eine auch künftig hohe Qualität sportwissenschaftlicher Beratung unterstützen!

Die Gruppierung der Kurzberichte in „Medizin und Naturwissenschaften“, „Sozial- und Verhaltenswissenschaften“ und „Sportanlagen, Sporttechnologie und Sportökologie“ folgt weitestgehend der im ersten „BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung“ (2005/06) gewählten Gliederung. Informationen zu den Service-Forschungsprojekten, die auf Projekten der Anwendungsforschung aufbauen, runden diese Form der Öffentlichkeitsarbeit ab. „Sportökologie“ fungiert hierbei gleichsam als Stichwort für die 2023 in Kraft getretene neue Organisationsstruktur des Bundesinstituts. Die Aufteilung des bisherigen (einen) Fachbereichs „Forschung und Entwicklung“ in nunmehr zwei Fachbereiche – „Sport und Leistung, WVL“ bzw. „Sport und

Gesellschaft“ – verdeutlicht dabei nicht nur, dass das BISp als einzige Institution alle sportwissenschaftlichen Teildisziplinen in seiner Förderpalette berücksichtigt. Diese Neustrukturierung trägt auch der gewachsenen sportpolitischen Beratungsfunktion des Bundesinstituts Rechnung.

Allen Leserinnen und Lesern der Kurzberichte wünsche ich eine informative und anregende 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 schnell die gesuchten Kontakt-daten.

Andrea Schumacher

Direktorin des Bundesinstituts  
für Sportwissenschaft

# Inhalt

Editorial.....	3
<b>Medizin und Naturwissenschaften.....</b>	<b>8</b>
Die Effekte von Krafttraining auf Eigenschaften der Muskel-Sehnen-Einheit und ausgewählte Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit im Triathlon (TriaTendon).....	9
<i>Prof. Dr. Moritz Schumann (Projektleitung) und M. Sc. Willem Jacobs (Verantwortlicher Mitarbeiter)</i>	
Einfluss stringenter Taper/Trainingsvolumenreduktions-Phasen auf physiologische Leistungsparameter und mechanische Anpassungen der Skelettmuskulatur .....	16
<i>Prof. Dr. Wilhelm Bloch, Prof. Dr. Moritz Schumann (Projektleitung) und M. Sc. Hannah Notbohm (Verantwortliche Mitarbeiterin)</i>	
Umsetzung und Evaluation eines integrativen Konzepts zur interessenorientierten Talententdeckung und -orientierung in der Ganztagsgrundschule.....	22
<i>Fabienne Döringer, Larissa Heger, Julia Grob, Tim Bindel (Projektleitung) und Mark Pfeiffer (Projektleitung)</i>	
Anpassung allgemeiner und spezifischer Kraftfähigkeiten und des Blutmetaboloms auf definierte Reduktionen von Krafttrainingsvolumina im Mesozyklus – Ein explorativer Ansatz zur Bestimmung von Biomarkern und Anpassungsreserven im Trainingsprozess.....	30
<i>Univ.-Prof. Dr. Sebastian Gehlert (Projektleiter)</i>	
Sportliches Talent aus systemdynamischer Perspektive.....	35
<i>Andreas Hohmann (Projektleiter), Maximilian Siener und Joshua Behr</i>	
Entwicklung und Evaluation einer exzentrischen Krafttrainingsintervention für das Schultergelenk bei Handballern.....	39
<i>Hans-Peter Köhler, Sebastian Vetter und Maren Witt</i>	
<b>Sozial- und Verhaltenswissenschaften .....</b>	<b>45</b>
Figurationen des Schmerzmitteleinsatzes im Spitzenshandball – Regulierungsmuster und Interdependenzgeflechte (Fidelis-Studie) .....	46
<i>Jannika M. John, Jan Bursik, Jochen Mayer, Felix Kühnle, Christoph Burgstahler, Anna Reußner und Ansgar Thiel</i>	
Individuelles Schlafmanagement im Nachwuchsleistungs- und Spitzensport (InSchlaf) .....	54
<i>Sarah Jakowski, Asja Kiel, Lisa Kullik, Tim Birnkraut und Michael Kellmann</i>	
Sequenzentscheidungen im Beachvolleyball: Ein integrativer Ansatz psychologischer Forschung und Spielbeobachtung .....	60
<i>Sandra Ittlinger (Projektmitarbeit), Markus Raab (Projektleiter), Steffen Lang (Projektmitarbeit) und Daniel Link (Projektleiter)</i>	

Collaboratio: Gesundheit versus sportlicher Erfolg Von der Forschung in die Ausbildung: Eine Untersuchung zur Zusammenarbeit von Trainern, Trainerinnen und Sportphysiotherapeuten, Sportphysiotherapeutinnen im Spitzensport .....	64
<i>Moritz Breucker, Annika Steinmann, David Jaitner, Anna Klees, Milena Pippert und Swen Körner</i>	
Digital-analoges Schulungskonzept im Eishockey – Praxistransfer .....	71
<i>Dr. Felix Ehrlenspiel (Projektleitung), Dr. Tom-Nicolas Kossak, Annika Hof zum Berge, Shannon Straube und Karl Schwarzenbrunner (Zusammenarbeit)</i>	
<b>Sportanlagen, Sporttechnologie und Sportökologie .....</b>	<b>75</b>
Umweltgerechter Kunststoffrasen durch verringerten Kunststoffaustrag und -verbrauch (UKuRa) .....	76
<i>Martin Thieme-Hack (Projektleitung), Maximilian Karle und Paul Pöhler</i>	
Prüfung des Reaktionsverhaltens von Tretschichten bei Belastung.....	81
<i>Olaf Hemker (Projektleitung), Alexandra Rauch, Sigrid Bertelmann und Julia Bartke</i>	
Entwicklung automatischer Bildanalyseverfahren auf Basis künstlicher Intelligenz zur Bestimmung von kinematischen Parametern zur Analyse der sportlichen Technik im Kanu-Rennsport und Kanu-Slalom (KinematikKanu) .....	86
<i>Daniel Matthes, Patrick Frenzel und Mirco Fuchs (Projektleitung)</i>	
Echtzeitfeedbacksystem für Speerwerfen und Kugelstoßen.....	93
<i>Kerstin Witte (Projektleitung), Jürgen Edelmann-Nusser (Projektleitung) und Stefan Tiedemann</i>	
Open-Source-Freistellung der Internetplattform REGmon (Kurztitel: REGmon) .....	97
<i>Prof. Dr. Mark Pfeiffer (Projektleitung) und Christian Strotkötter (Projektmitarbeit)</i>	
<b>Service-Forschungsprojekte.....</b>	<b>101</b>
Entwicklung eines Reflexionsleitfadens für das Coaching im paralympischen Tischtennis .....	102
<i>Oliver Höner (Projektleitung) und Thorsten Leber (Projektmitarbeit)</i>	
Herstellung von sensorgestützten Kugelstoßkugeln für das Techniktraining von Para-Athletinnen und -Athleten .....	107
<i>Kerstin Witte, Dan Bürger und Stefan Tiedemann</i>	
Sportartübergreifende Übertragbarkeit digitaler Technologien in der Sitzschalenfertigung .....	112
<i>Dr. Maren Goll, Dr. Peter Spitzenpfeil und Dipl. Ing. Volker Junior</i>	
Entwicklung und Anwendung eines Diagnoseschlittens für Para-Sit-Skiing unter besonderer Berücksichtigung der neuronalen und physiologischen Optimierung der Sitzposition .....	119
<i>Prof. Dr. Natalie Mrachacz-Kersting und Dr. Walter Rapp</i>	

Verbesserung der Laufökonomie durch Individualisierung des Laufschuhs unter Berücksichtigung der spezifischen Laufbiomechanik .....	124
<i>Karsten Hollander (Projektleitung), Dominik Fohrmann, Marcelle Schaffarczyk, Thomas Gronwald und Steffen Willwacher</i>	
Identifizierung genetischer, physiologischer, psychologischer und trainingsbedingter Parameter zur erfolgreichen Implementierung künstlicher Höhenbedingungen in den leichtathletischen Disziplinen Lauf und Gehen (AltitudeID) .....	131
<i>Svenja Nolte, Karsten Krüger, Deeksha Malhan, Angela Relógio, Anna Klemmer, Tobias Stauber, Tom Kastner, Nico Walter, Daniel Fleckenstein und Karsten Hollander</i>	
Basaltemperaturmessung im Sport zur Diagnostik der Integrität des Menstruationszyklus (Basaltemperatur-Zyklus) .....	139
<i>Jana Nolte, Malina Pilz und Petra Platen (Projektleitung)</i>	
Untersuchung der Ermüdungsresistenz in den Disziplinen 3.000 m sowie 5.000 m im olympischen Eisschnelllauf .....	147
<i>Christian Fay und Michael Behringer (Projektleitung)</i>	
Monitoring what matters – ein systematischer, partizipativer Ansatz zur Einführung eines Athletinnen- und Athletenmonitoringsystems in der Deutschen Eisschnelllauf- und Shorttrack-Gemeinschaft.....	157
<i>Prof. Dr. Eric Eils (Projektleitung), Matthias Hendricks und Dr. Ross Julian (Projektmitarbeiter)</i>	
Überprüfung der Leistungs- und Regenerationsfähigkeit in Abhängigkeit des Menstruationszyklus von Elite-Athletinnen des Bundesverbandes deutscher Gewichtheberinnen.....	163
<i>Dr. Eduard Isenmann (Projektleitung) und Paul Schatz (Projektunterstützung)</i>	
Reliabilität und Validität eines 12-m-Shuttle-Run-Tests zur Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Turnen .....	169
<i>Lina Fay, Steffen Held, Ludwig Rappelt und Lars Donath</i>	
Entwicklung und Implementation von Verhaltensregeln als Kernbaustein von Präventions- und Förderkonzepten: Gewaltprävention und Förderung pädagogischer Trainingsqualität im Deutschen Turner-Bund.....	175
<i>Kathrin Kohake (Projektleitung), Alfred Richartz, Lena Henning und Malte Stoffers</i>	
Identifizierung geeigneter Parameter für ein praxistaugliches Ermüdungs- und Erholungsmonitoring beim Athletenpferd in der Disziplin Vielseitigkeit.....	180
<i>Heidrun Gehlen (Projektleitung), Charlotte Frenzel, Johanna Giers, Katharina Böhm, Insa Rump, Katharina Kirsch und Stephanie Horstmann</i>	
Ermittlung von Einflussfaktoren auf die hämatoogische Höhenanpassung bei Eliteschwimmerinnen und -schwimmern.....	187
<i>Projektleitung: Dr. Nadine Wachsmuth Projektmitarbeit: Sandra Haupt und Dr. Janis Schierbauer</i>	
Okklusionstraining im Ski alpin.....	195
<i>Christoph Henghuber, Steffen Held, Ludwig Rappelt und Lars Donath</i>	

Untersuchungen zum Krafttraining mit ruderspezifischen Bewegungsgeschwindigkeiten: Eine kontrollierte Interventionsstudie .....	201
<i>Prof. Dr. Steffen Held, Ludwig Rappelt, Tim Wiedenmann, Jan-Phillip Deutsch und Prof. Dr. Lars Donath</i>	
Monitoring der Leistungsvariabilität der Ruderinnen des Bundesstützpunkt Berlin entlang des Menstruationszyklus (LeRuMe) .....	208
<i>Lars Claußen, Nikolai Böhlke und Kirsten Legerlotz (Projektleitung)</i>	

# Medizin und Naturwissenschaften



# Die Effekte von Krafttraining auf Eigenschaften der Muskel-Sehnen-Einheit und ausgewählte Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit im Triathlon (TriaTendon)

AZ 070110-22-23

*Prof. Dr. Moritz Schumann (Projektleitung)  
M. Sc. Mats Willem Jacobs (Verantwortlicher Mitarbeiter)*

## Problem

Die Auswirkungen von Krafttraining auf die Leistung von Ausdauersportlerinnen und - sportler sind seit Langem Gegenstand des praktischen und wissenschaftlichen Diskurses zwischen Athletinnen und Athleten, Trainerinnen und Trainern und Sportwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern. Im Gegensatz zum klassischen Kraftausdauertraining (bspw. im Rahmen von Zirkeltraining mit dem eigenen Körpergewicht) geht es dabei grundsätzlich um die Frage, ob das Ausdauertraining mit zusätzlichem Maximal- und/oder Explosivkrafttraining supplementiert werden sollte, um dadurch spezifische Aspekte der Ausdauerleistung positiv zu beeinflussen. Hierzu konnten bereits zahlreiche Studien darstellen, dass zusätzliches Maximalkrafttraining oder Explosivkrafttraining insbesondere die Bewegungsökonomie und somit die Ausdauerleistungsfähigkeit positiv beeinflussen können (1,10,13). In der aktuellen Literatur werden zahlreiche Faktoren diskutiert, die der verbesserten Bewegungsökonomie durch Krafttraining zugrunde liegen könnten (11). Unter diesen Faktoren wird auch der Muskel-Sehnen-Einheit eine hohe Bedeutung zugewiesen. Hierbei zeigte sich bereits in spezialisierten Läuferinnen und Läufern, dass eine gute Laufökonomie mit einer hohen Sehnensteifigkeit der Achillessehne einhergeht (3). Auch die gezielte Manipulation durch sehnorientiertes Krafttraining führte zu einer signifikanten Verbesserung der Sehnensteifigkeit, welche mit einer Verbesserung der Laufökonomie korrelierte (2). Während es im Laufen entsprechend Evidenz gibt, dass eine

erhöhte Sehnensteifigkeit mit einer verbesserten Bewegungsökonomie einhergeht, ist das Wissen im Radsport begrenzt. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die Funktionsweise des M. quadriceps femoris (Hauptantriebsmuskulatur) beim Radfahren in gleicher Weise wie der M. triceps surae im Laufen durch die Sehnensteifigkeit beeinflusst werden kann und so durch eine erhöhte Patellarsehnensteifigkeit ein positiver Effekt auf die Radökonomie erzielt wird.

Neben fehlender Evidenz zum Stellenwert der Patellarsehnensteifigkeit und potenzieller Effekte auf die Radökonomie ist im Athletinnen- und Athletenkollektiv wenig über die der Sehnensteifigkeit zugrunde liegenden Umbauprozesse der Kollagenstrukturen bekannt. Diese Umbauprozesse der Kollagenstrukturen lassen sich durch die Analyse sehnenspezifischer Proteoglykane- und Kollagenspalt- und Umbauprodukte im Serum erfassen (8). Für ein besseres Verständnis ist daher zusätzlich ein Einblick in sowohl chronische Anpassungen der einzelnen Marker als auch akute Veränderungen der Blutparameter notwendig.

Entsprechend war es das übergeordnete Ziel des beantragten Projektes zu untersuchen, ob ein Muskel-Sehnen-Training, zusätzlich zu dem umgesetzten Ausdauertraining in zwei Disziplinen (Rad & Lauf), die mechanischen Eigenschaften der Achilles- und der Patellarsehnen gleichermaßen beeinflusst und ob sich dadurch die Rad- bzw. Laufökonomie verbessern lässt. Zusätzlich sollten die der Anpassung der Sehne

zugrunde liegenden molekularen Mechanismen durch eine Analyse von Serum-Blut-Markern untersucht werden.

## Methode

18 gut trainierte männliche Triathleten (Alter:  $26 \pm 6$  Jahre; Größe:  $184,7 \pm 6,3$  cm; Körpergewicht:  $75,12 \pm 5,45$  kg;  $\text{VO}_{\text{2max}}$  beim Laufen:  $62,75 \pm 3,72 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $\text{VO}_{\text{2max}}$  beim Radfahren:  $64,58 \pm 4,75 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) wurden in die Studie eingeschlossen. Die Studie bestand aus einem randomisiert-kontrollierten Studiendesign, bei dem ein Teil der Teilnehmer eine zwölfwöchigen Trainingsintervention absolvierte (Abb.1). Zur Bestimmung der Steifigkeit von Achilles- und Patellarsehne sowie der Beurteilung der Kraft von Plantarflexoren und Kniestrecker wurde eine kombinierte Ultraschall- und Dynamometrie-Testung durchgeführt. Zusätzlich erfolgte eine dynamische Maximalkrafttestung zur Bestimmung des Einwiederholungsmaximums in der freien Kniebeuge. Durch zwei venöse Blutentnahmen wurden sowohl chronische als auch akute Veränderungen von Markern der Sehnen-Extrazellulärmatrix (d. h. MMP 1 & 3, Decorin, Thrombospondin-4, C-terminales Propeptin, Tenascin-C) analysiert. Zur Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit und insbesondere der Rad- und Laufökonomie wurde ein kombiniertes Stufen- und Rampenprotokoll sowohl auf dem Radergometer als auch auf dem Laufband durchgeführt. Die Randomisierung in die Gruppen erfolgte anhand der bisherigen Trainingscharakteristika (Trainingsimpulsmethode (TRIMP)), der isometrischen Maximalkraft der Kniestrecker und der  $\text{VO}_{\text{2max}}$ . Während die Kontrollgruppe weiterhin ein reguläres Ausdauertraining durchführte, nahmen die Probanden der Interventionsgruppe an einem zusätzlichen Maximalkrafttraining des Unterkörpers teil, welches 3-mal wöchentlich absolviert wurde.

Zusätzlich zum regulären Krafttraining absolvierten die Probanden der Interventionsgruppe in der ersten und letzten Woche eine experimentelle Krafttrainingseinheit. Diese diente zur Entnahme venöser Blutproben, anhand derer eine Analyse von akuten und chronischen Umbau-

prozessen der Muskel-Sehnen-Einheit durchgeführt wurden. Die Blutentnahme fand direkt vor und nach der experimentellen Einheit statt, um sowohl die akute Expression der Umbaumarker innerhalb der jeweiligen Einheit als auch im Verlauf der zwölfwöchigen Intervention zu untersuchen. Für die Analyse des chronischen Markers wurden die basalen Blutproben der Interventionsgruppe an den experimentellen Einheiten genutzt sowie zeitgleich abgenommene basale Blutproben der Kontrollgruppe.

## Ergebnisse

Die Achillessehnensteifigkeit nahm in der Interventionsgruppe signifikant zu ( $39,1 \pm 31,8\%$ ,  $p = 0,001$ ), nicht aber in der Kontrollgruppe ( $-5,5 \pm 12,4\%$ ,  $p = 0,270$ ) (Abb. 2). Gleichermaßen nahm die Patellarsehnensteifigkeit in der Interventionsgruppe ( $15,8 \pm 8,5\%$ ,  $p = 0,001$ ), nicht aber in der Kontrollgruppe ( $-5,6 \pm 9,9\%$ ,  $p = 0,230$ ) signifikant zu (Abb. 2).

Weiter zeigten sich keine signifikanten Veränderungen des isometrischen Plantarflexionsmoments sowohl für die Interventions- ( $10,5 \pm 15,7\%$ ,  $p = 0,063$ ) als auch für die Kontrollgruppe ( $1,2 \pm 5,1\%$ ,  $p = 0,25$ ). Das maximale isometrische Kniestreckungsmoment hingegen nahm in der Interventionsgruppe signifikant zu ( $8,9 \pm 5,7\%$ ,  $p = 0,002$ ), blieb in der Kontrollgruppe allerdings statistisch unverändert ( $-1,6 \pm 2,8\%$ ,  $p = 0,134$ ).

Das Einwiederholungsmaximum in der Kniebeuge stieg signifikant in der Interventionsgruppe ( $20,0 \pm 9,7\%$ ,  $p < 0,001$ ), nicht aber in der Kontrollgruppe ( $-1,5 \pm 4,1\%$ ,  $p = 0,351$ ) an. Gleichermaßen konnte ein signikanter Anstieg der maximalen Power in der Kniebeuge für die Interventionsgruppe ( $14,8\% \pm 8,5\%$ ,  $p < 0,001$ ), nicht aber für die Kontrollgruppe ( $-1,2\% \pm 8,5\%$ ,  $p = 0,763$ ) dargestellt werden (Abb.3).

Die Serumkonzentration von MMP1 stieg signifikant ( $46,30\% \pm 20,00\%$ ,  $p < 0,001$ ) in der ersten experimentellen Krafttrainingseinheit an, blieb aber in der zweiten experimentellen Einheit statistisch unverändert ( $12,97\% \pm 45,62\%$ ,  $p = 0,871$ ) (Abb. 4). Im Gegensatz dazu konnte für MMP 3

keine Veränderung der Konzentration nach der ersten ( $8,44\% \pm 17,54\%$ ,  $p = 0,239$ ), aber nach der zweiten experimentellen Krafttrainingseinheit ( $40,77\% \pm 20,13\%$ ,  $p < 0,001$ ) festgestellt werden (Abb. 4). Die Magnitude des Konzentrationsanstiegs von MMP 1 und MMP 3 unterschied sich jeweils signifikant zwischen den zwei Krafttrainingseinheiten ( $p < 0,001$ ).

Die Konzentration von Decorin stieg in beiden experimentellen Krafttrainingseinheiten signifikant an ( $30,50\% \pm 19,94\%$  ( $p < 0,001$ ) /  $36,59\% \pm 37,81\%$  ( $p = 0,026$ )), ohne dass sich die Magnitude des Anstiegs zwischen beiden Einheiten statistisch unterschied (Abb. 5). Die Serumkonzentration von Thrombospondin-4 zeigte weder eine signifikante Veränderung in den jeweiligen Einheiten ( $-6,53\% \pm 8,24\%$ , ( $p = 0,072$ ) /  $-4,90\% \pm 9,32\%$ , ( $p = 0,174$ )), noch unterschied sich die Magnitude der Expression zwischen beiden experimentellen Einheiten ( $p = 0,442$ ).

Die Serumkonzentration für Tenascin-C zeigte keine signifikante Veränderung in der Interventionsgruppe (Prä:  $103,21 \pm 22,88$ , Post:  $94,01 \pm 16,11$ ,  $\Delta: -7,31\% \pm 16,22\%$ ,  $p = 0,163$ ), aber in der Kontrollgruppe (Prä:  $99,98 \pm 25,33$ , Post:  $78,99 \pm 25,97$ ,  $\Delta: -19,49\% \pm 20,55\%$ ,  $p = 0,029$ ) (Abb.5). Die Serumkonzentration des C-Terminal-Propeptids veränderte sich weder in der ersten ( $9,26\% \pm 31,28\%$ ,  $p > 0,05$ ) noch in der zweiten ( $2,42\% \pm 39,95\%$ ,  $p > 0,05$ ) experimentellen Trainingseinheit signifikant.

Sowohl für die Laufökonomie bei  $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  als auch  $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  Blutlaktatkonzentration wurden weder ein signifikanter Zeit- ( $p = 0,632/0,834$ ), Gruppen- ( $p = 0,709/0,961$ ) oder Interaktionseffekte ( $p = 0,333/0,061$ ) beobachtet. Des Weiteren zeigten sich keine signifikanten Zeit- ( $p = 0,123/0,316$ ), Gruppen- ( $p = 0,387/0,469$ ) oder Interaktionseffekte ( $p = 0,294/0,058$ ) für die Radökonomie bei  $2$  und  $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  Blutlaktatkonzentration.

## Diskussion

Ziel dieser Untersuchung war es, Effekte eines zwölfwöchigen Krafttrainings auf die Anpas-

sungen des Muskel-Sehnen-Komplexes der Achilles- und Patellarsehne sowie damit einhergehende Veränderungen der Rad- und Laufökonomie zu untersuchen. Zusätzlich zur mechanischen Analyse der Sehnensteifigkeit wurden akute und chronische molekulare Veränderungen von spezifischen Blutmarkern der Sehnen-Extrazellulärmatrix untersucht, um die potenziellen Mechanismen hinter der strukturellen Veränderung des Sehnengewebes besser verstehen zu können.

In der Untersuchung konnte, wie im Vorfeld vermutet und durch einige Studien bereits gezeigt, ein signifikanter Anstieg der Steifigkeit von Achilles- und Patellarsehne (2,4), der Maximalkraft (10,12) sowie eine erhöhte Expression spezifischer Sehnen-Umbaumarker in der Interventionsgruppe dargestellt werden (8,9). Allerdings resultierte die erhöhte Sehnensteifigkeit der Interventionsgruppe nicht in einer messbaren Verbesserung der Rad- oder Laufökonomie. Dies ist insbesondere in Bezug auf die Laufökonomie verwunderlich, da es hierzu bereits Evidenz für positive Zusammenhänge zwischen einer erhöhten Sehnensteifigkeit und der Ökonomie gibt (3). Im Hinblick auf die fehlende Veränderung der Radökonomie ist die größere Differenz von Patellarsehnenlänge und Muskelfaserlänge des M. quadriceps femoris anzumerken. Dies könnte darin resultieren, dass die Patellarsehne im Vergleich zur Achillessehne einen geringeren Einfluss auf das Kraftpotenzial nimmt und somit die fehlende Anpassung der Ökonomie erklärt. Weiter kann gemutmaßt werden, dass dieser Effekt noch durch das Kontraktionsverhalten der Muskulatur beim Radfahren verstärkt wird. Während die Laufbewegung durch einen exzentrischen Teil charakterisiert ist, von welchem angenommen wird, dass die Achillessehne kinetische Energie speichert und später in der Bewegung wieder zurückgeben kann, zeichnet sich die Radfahrbewegung maßgeblich durch konzentrische Muskelkontraktionen aus, welche möglicherweise zusätzlich den Stellenwert des Einflusses der Patellarsehnensteifigkeit auf die Radökonomie minimieren (6). Außerdem muss weiter in Betracht gezogen werden, dass die Veränderung der Rad- und Laufökonomie nicht zwangsläufig durch die Manipulation eines ein-

zernen Faktors (bspw. Sehnensteifigkeit) erklärt werden kann, sondern weitere Faktoren wie die neuronale Ansteuerung oder auch die Muskelfaserverteilung beachtet werden müssen (11). Entsprechend sollte die Struktur des Krafttrainings in zukünftigen Studien ggf. um diese Faktoren erweitert werden. Bedingt dadurch, dass die Bewegungsökonomie über den gemessenen Sauerstoffverbrauch bei einer Belastung bestimmt wird, sind, neben den das Krafttraining betreffenden Limitationen, ebenfalls trainingsinduzierte Veränderungen des Energiestoffwechsels (z.B. Anstieg des Fettstoffwechsels) zu bedenken. Zwar konnte in der Studie im Mittel kein statistisch signifikanter Anstieg des Fettstoffwechsels bei den Probanden festgestellt werden, nichtsdestotrotz ist nicht auszuschließen, dass die dennoch teilweise individuell gemessenen Veränderungen des Fettstoffwechsels Einfluss auf die mittlere Veränderung des Sauerstoffverbrauchs und somit der Ökonomie genommen haben. Weiter könnte sich eine krafttrainingsinduzierte Veränderung der Muskelmasse, auch wenn diese durch das hier applizierte Maximalkrafttraining gering ausfallen sollte, ebenfalls auf den Sauerstoffverbrauch auswirken.

Trotz fehlender Evidenz für eine signifikante Veränderung der Bewegungsökonomie in dieser Studie war es interessant zu beobachten, dass eine signifikante Erhöhung der Sehnensteifigkeit auch in gut trainierten Ausdauerathleten möglich ist. Weiter geben insbesondere die Ergebnisse, welche die Expression spezifischer Marker der Sehnen-Extrazellulärmatrix betreffen, einen vielversprechenden Einblick in mögliche Mechanismen der strukturellen Veränderungen der Muskel-Sehnen-Einheiten durch Krafttraining. Hier konnten wir im Speziellen eine erhöhte Expression der Marker MMP 1 und MMP 3 als Reaktion auf einen akuten Kraftstimulus nachweisen. Diese Marker reagieren sensibel auf mechanische Stimuli und gelten als Initiator der Remodulation von Kollagenstrukturen, was durch einen initialen Abbau vorhandener Kollagenstrukturen durch MMPs ausgelöst wird (8). In der Kaskade zur Modulierung neuer Kollagenstrukturen, als Anpassung auf einen mechanischen Reiz, konnte bereits in früheren Untersuchungen eine Expression von

Proteoglykanen aufgezeigt werden, die insbesondere auch durch die MMP-Expression ausgelöst wird (7). Die Rolle dieser Proteoglykane ist jedoch noch nicht hinlänglich geklärt, allerdings scheinen sie als Mediator für Wachstums-hormone im Zusammenhang mit Kollagenaufbau zu stehen (8). In unserer Studie konnten wir ebenfalls einen signifikanten Anstieg des Proteoglykans Decorin demonstrieren, was sich in die Kaskade des für die Strukturänderung der Sehne essenziellen Umbaus von Kollagenstrukturen, eingliedert. Lediglich einen chronischen Anstieg des ECM-Markers Tenascin-C, der mit dem tatsächlichen Aufbau von Kollagenstrukturen assoziiert ist (5), konnten wir in der Interventionsgruppe nicht aufzeigen. Wir schlussfolgern hier, dass vor allem der Messzeitpunkt unserer Untersuchung eine limitierende Rolle gespielt hat. Die Durchführung der Studie erfolgte im Anschluss an die Wettkampfphase der Athleten, in welcher der mechanische Reiz auf die Muskel-Sehnen-Struktur durch die Wettkampfbelastungen grundlegend hoch war. Während mit Eintritt in die Grundlagenphase (Zeitpunkt der Intervention) die chronische Konzentration von Tenascin-C in der Kontrollgruppe sank, blieb sie in der Interventionsgruppe unverändert. Dies könnte dafür sprechen, dass der zusätzliche mechanische Stimulus des Krafttrainings in der Interventionsgruppe den Kollagenumbau der Sehnenstruktur auf einem gleichbleibend hohen Niveau hielt, während der Umbau in der Kontrollgruppe ohne zusätzliches Krafttraining sank. Diese ersten Einblicke in die akuten und chronischen Reaktionen der ECM-Marker auf einen mechanischen Reiz stellen einen vielversprechenden Ansatz dar, der in einer weiteren Studie ausgeweitet werden sollte.

## Literatur

Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 2002;93(4):1318–26. <https://doi:10.1152/japplphysiol.00283.2002>.

- Albracht K, Arampatzis A. Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. *European journal of applied physiology* 2013;113(6):1605–15. <https://doi:10.1007/s00421-012-2585-4>.
- Aramatzis A, Monte G de, Karamanidis K, Morey-Klapsing G, Stafilidis S, Brüggemann G-P. Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. *The Journal of experimental biology* 2006;209(Pt 17):3345–57. <https://doi:10.1242/jeb.02340>.
- Fletcher JR, Esau SP, Macintosh BR. Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners. *European journal of applied physiology* 2010;110(5):1037–46. <https://doi:10.1007/s00421-010-1582-8>.
- Flück M, Mund SI, Schittny JC, Klossner S, Durieux A-C, Giraud M-N. Mechano-regulated tenascin-C orchestrates muscle repair. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2008;105(36):13662–7. <https://doi:10.1073/pnas.0805365105>. eng.
- Gregor RJ; Conconi F, editors. *Road cycling*. Oxford and Malden, MA: Blackwell Science; 2000. (Handbook of sports medicine and science). ISBN: 9780865429123.
- Imai K, Hiramatsu A, Fukushima D, Pierschbacher MD, Okada Y. Degradation of decorin by matrix metalloproteinases: identification of the cleavage sites, kinetic analyses and transforming growth factor-beta1 release. *The Biochemical journal* 1997;322 (Pt 3):809–14. <https://doi:10.1042/bj3220809>. eng.
- Kjaer M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiological reviews* 2004;84(2):649–98. <https://doi:10.1152/physrev.00031.2003>. eng.
- Lohberger B, Kaltenegger H, Stuendl N, Rinner B, Leithner A, Sadoghi P. Impact of cyclic mechanical stimulation on the expression of extracellular matrix proteins in human primary rotator cuff fibroblasts. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA* 2016;24(12):3884–91. <https://doi:10.1007/s00167-015-3790-6>. eng.
- Rønnestad BR, Hansen J, Hollan I, Ellefsen S. Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 2015;25(1):e89–98. <https://doi:10.1111/sms.12257>.
- Rønnestad BR, Mujika I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 2014;24(4):603–12. <https://doi:10.1111/sms.12104>.
- Støren O, Helgerud J, Støa EM, Hoff J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise* 2008;40(6):1087–92. <https://doi:10.1249/MSS.0b013e318168da2f>.
- Sunde A, Støren O, Bjerkaas M, Larsen MH, Hoff J, Helgerud J. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of strength and conditioning research* 2010;24(8):2157–65. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a>.

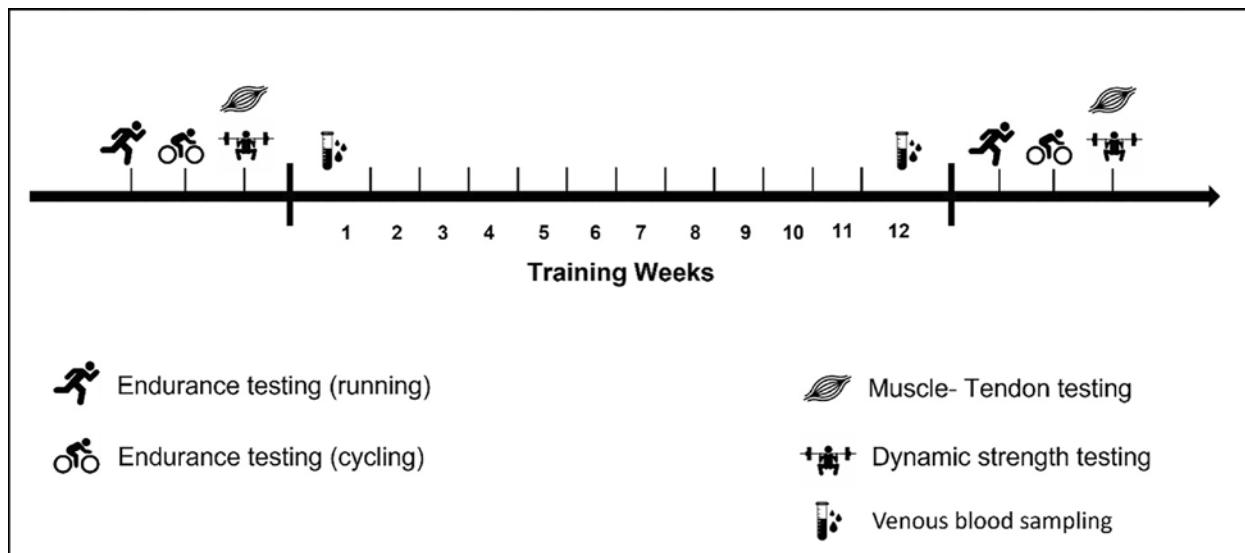


Abb. 1: Studiendesign

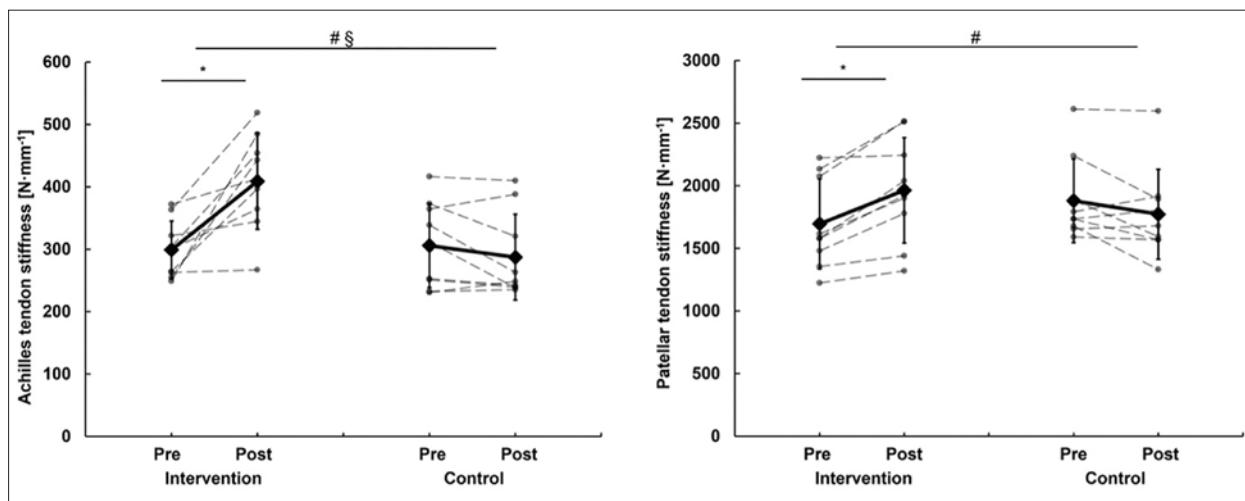


Abb. 2: Achilles- und Patellarsehnen Steifigkeit

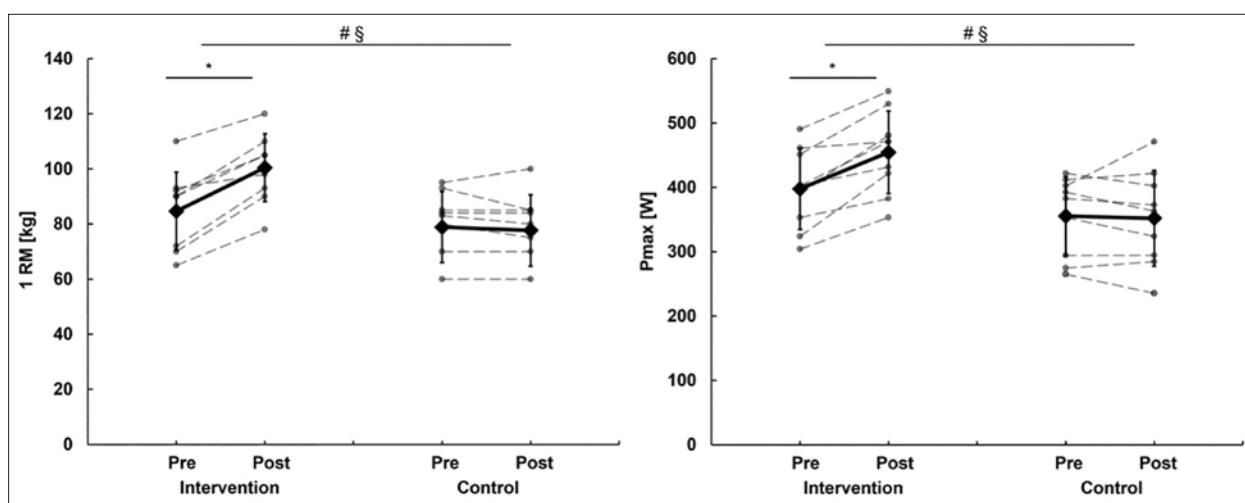


Abb. 3: Einwiederholungsmaximum und maximale Power

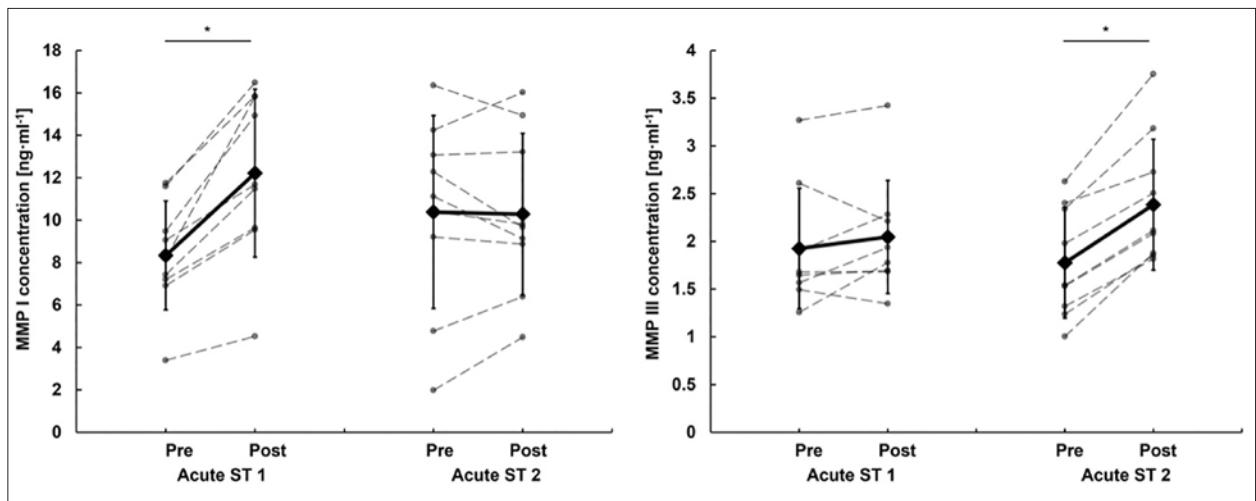


Abb. 4: Konzentration der Serum-Marker MMP-1 und MMP-3

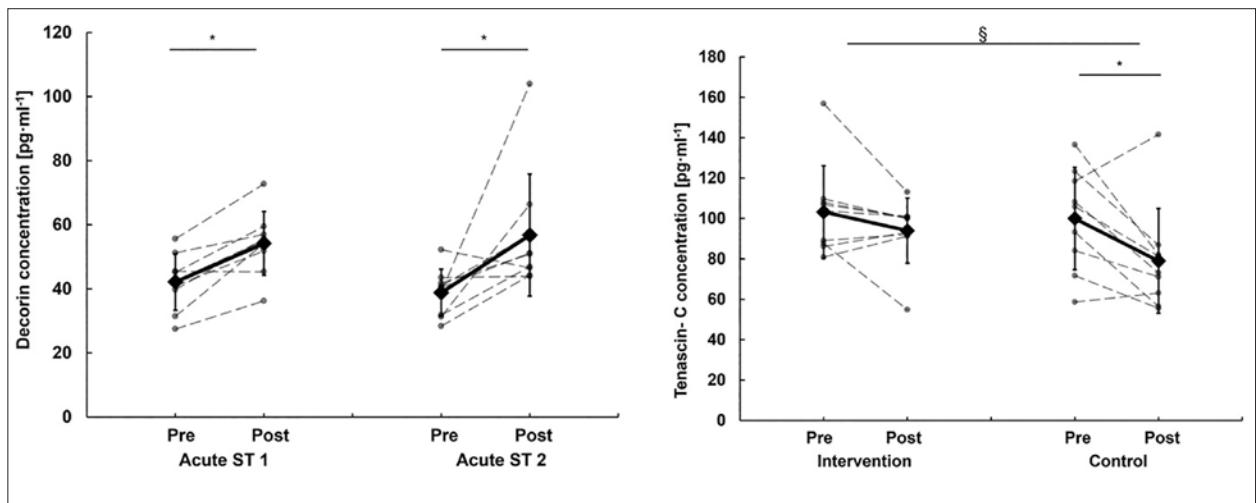


Abb. 5: Konzentration der Serum-Marker Decorin und Tenascin-C

# Einfluss stringenter Taper/Trainingsvolumen-reduktions-Phasen auf physiologische Leistungsparameter und mechanische Anpassungen der Skelettmuskulatur

AZ 070122-21-22

*Prof. Dr. Wilhelm Bloch, Prof. Dr. Moritz Schumann (Projektleitung)*

*M. Sc. Hannah Notbohm (Verantwortliche Mitarbeiterin)*

Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Abt. Molekulare und Zelluläre Sportmedizin,  
Deutsche Sporthochschule

## Problem

Um die körperliche Leistungsfähigkeit zu steigern und maximale Wettkampfleistungen zu erbringen, gilt es, das Training von Athletinnen und Athleten effektiv und zielgerichtet zu gestalten. Hierbei sind Belastung- und Entlastungsphasen von besonderer Bedeutung, um einerseits positive Leistungsanpassungen zu erzielen und gleichzeitig das Verletzungs- und Ermüdungsrisiko zu reduzieren (Skorski et al., 2019; Soligard et al., 2016). Gezielte Entlastungsphasen können somit genutzt werden, um bspw. vor Wettkämpfen durch eine gezielte und planmäßige Reduktion von Trainingsvolumen (d.h. Taper) die physiologische Leistungsfähigkeit und Wettkampfleistungen weiter zu maximieren (Mujika et al., 2004).

Die Beziehungen zwischen reduziertem Trainingsvolumen und den Verbesserungen der Leistungsfähigkeit sind mittlerweile sehr gut untersucht, allerdings ist über die zugrunde liegenden physiologischen Mechanismen weniger bekannt. Insbesondere ist die Datenlage hinsichtlich der Auswirkungen von chronischem Training und Phasen mit reduziertem Trainingsvolumen/Taper auf zelluläre und molekulare Anpassungen im humanen Skelettmuskel stark limitiert. Ziel der vorliegenden Arbeit war daher, die Analyse von Muskelproben aus einer bereits durchgeführten Trainingsstudie mit Blick auf mechanobiologisch-sensitive Proteine (Fokale Adhäsionen, FAs/Costamere, Cstms), die mecha-

nische Reize in biochemische Signale konvertieren, sowie Spaltfragmente der Extrazellulären Matrix (EZM)/Basalmembran (BM), die an einer Umstrukturierung des Gewebes beteiligt sind (Burkholder, 2007).

## Methode

15 männliche Radsportler (Alter:  $30,1 \pm 9,6$  Jahre,  $\text{VO}_{2\text{peak}}: 59,4 \pm 4,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , Trainingsvolumen:  $8,7 \pm 2,3 \text{ h}$ ) wurden in die Studie eingeschlossen. Die Studie umfasste einen elfwöchigen Trainingszeitraum. Zunächst trainierten alle Testpersonen über 9 Wochen nach vorgegebenen Intensitätszonen, die durch die in der Leistungsdiagnostik ermittelten Schwel len bestimmt wurden. Im Anschluss an die Aufbaustrainingsphase, wurden alle Testperso nen anhand ihres Trainingsvolumens und der ermittelten Leistungsfähigkeit gleichmäßig auf eine Taper- und Kontrollgruppe verteilt. In den anschließenden zwei Wochen erhielt die Kontrollgruppe die Intensitätsverteilung und das Trainingsvolumen des letzten Trainingsblocks aufrecht, während in der Tapergruppe das Trainingsvolumen um 50% reduziert wurde. Das Training wurde eigenständig durchgeführt und anhand aufgezeichneter Herzfrequenz- und Leistungsdaten überprüft.

Muskelbiopsien (M. Vastus Lateralis) und umfangreiche Leistungsdiagnostiken wurden jeweils zu Beginn der Testung (t0), nach

9 Wochen Training (t1) und nach zwei weiteren Trainingswochen (t2) durchgeführt. Dabei erfolgten die Muskelbiopsien am ersten Tag der Diagnostik und die Testung der Leistungsfähigkeit am darauffolgenden Tag. Die Reihenfolge der Testungen sowie der zeitliche Abstand wurden über alle Probanden konstant gehalten.

## Ergebnisse

Nach der Taperphase konnten keine Verbesserungen in der Ausdauerleistungsfähigkeit gemessen werden. Im Gegenteil, die einzelnen Parameter zeigten keine Veränderung ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ , Peak Power Output [PPO]) oder eine Verschlechterung (1. [LT1] und 2. [LT2] Laktatschwelle) im Vergleich zu der Kontrollgruppe.

Die Expression von Integrin-linked Kinase (ILK) (Abb. 1) war im Vergleich zu Typ-1-Fasern in Typ-2-Fasern statistisch erhöht (Abb. 1C,  $p<0,001$ ). Es zeigten sich aber keine statistischen Änderungen in der Expression von ILK von t0-t9 (Abb. 1D,  $p>0,05$ ) oder von t9-t11 (Abb. 1E,  $p>0,05$ ). Auch gab es keine statistischen Gruppenunterschiede in den letzten zwei Wochen des Trainings ( $p>0,05$ ).

Die Expression von Integrin alpha 7 (ITGA7) (Abb. 2) war im Vergleich zu Typ-1-Fasern in Typ-2-Fasern statistisch erhöht (Abb. 2C,  $p<0,01$ ). Es zeigten sich aber keine statistischen Änderungen in der Expression von ITGA7 von t0-t9 (Abb. 2D,  $p>0,05$ ) oder von t9-t11 (Abb. 2E,  $p>0,05$ ). Auch gab es keine statistischen Gruppenunterschiede in den letzten zwei Wochen des Trainings ( $p>0,05$ ).

Die Expression von Vinculin (Abb. 3) zeigte keine statistischen fasertypspezifischen Unterschiede (Abb. 3C,  $p>0,05$ ). Es zeigten sich auch keine statistischen Änderungen in der Expression von Vinculin von t0-t9 (Abb. 3D,  $p>0,05$ ) oder von t9-t11 (Abb. 3E,  $p>0,05$ ). Auch gab es keine statistischen Gruppenunterschiede in den letzten zwei Wochen des Trainings ( $p>0,05$ ).

Die Expression von Netrin-4 (Abb. 4) zeigte keine statistischen fasertypspezifischen Unterschiede (Abb. 4C,  $p>0,05$ ). In der ersten chroni-

schen Trainingsphase (t0-t9) war die Expression von Netrin-4 in sowohl Typ-1-Fasern wie auch Typ-2-Fasern statistisch erhöht. (Abb. 4D, Typ 1:  $p=0,037$ , Typ 2:  $p=0,037$ ). Von t9-t11 wurden keine statistischen Veränderungen in der Expression von Netrin-4 gezeigt (Abb. 4E,  $p>0,05$ ). Auch gab es keine statistischen Gruppenunterschiede in den letzten zwei Wochen des Trainings ( $p>0,05$ ).

Die Expression von PINCH (Abb. 5) war im Vergleich zu Typ-2-Fasern in Typ-1-Fasern statistisch erhöht (Abb. 5C,  $p=0,015$ ). Es gab allerdings keine statistischen Änderungen in der Expression von PINCH von t0-t9 (Abb. 5D,  $p>0,05$ ) oder von t9-t11 (Abb. 5E,  $p>0,05$ ). Auch gab es keine statistischen Gruppenunterschiede in den letzten zwei Wochen des Trainings ( $p>0,05$ ).

Die Expression von Matrixmetalloproteinase 9 (MMP9) (Abb. 6) war im Vergleich zu Typ-2-Fasern in Typ-1-Fasern statistisch erhöht (Abb. 6C,  $p<0,001$ ). Es gab allerdings keine statistischen Änderungen in der Expression von MMP9 von t0-t9 (Abb. 6D,  $p>0,05$ ) oder von t9-t11 (Abb. 6E,  $p>0,05$ ). Auch gab es keine statistischen Gruppenunterschiede in den letzten zwei Wochen des Trainings ( $p>0,05$ ).

Mit Blick auf mögliche Zusammenhänge zwischen zellulären Veränderungen und der Leistungsfähigkeit zeigten sich statistische Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der Leistung an LT1 und LT2 mit den Änderungen der Expression von ILK in Typ-1-(LT1:  $r=-0,763$ ,  $p=0,001$ ; LT2:  $r=-0,561$ ,  $p=0,037$ ) und Typ-2-Fasern (LT1:  $r=-0,719$ ,  $p=0,004$ ; LT2:  $r=-0,527$ ,  $p=0,05$ ) nach den ersten 9 Wochen Training (t9). Ebenfalls wurde ein statistischer Zusammenhang zwischen der Änderung der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  und der Änderung von ITGA7 nachgewiesen ( $r=-0,662$ ,  $p=0,01$ ). Nach den letzten zwei Wochen Training konnten statistische Zusammenhänge zwischen der Änderung der Expression von ITGA7 in Typ-1- und Typ-2-Fasern und der Änderung der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (Typ 1:  $r=-0,545$ ,  $p=0,044$ , Typ 2:  $r=-0,526$ ,  $p=0,05$ ) und der Änderung der PPO (Typ 1:  $r=-0,688$ ,  $p=0,007$ , Typ 2:  $r=-0,733$ ,  $p=0,003$ ) nachgewiesen werden.

## Diskussion

Das Ziel dieser Studie war es, trainingsbasierte Daten zu liefern, die einen Zusammenhang zwischen chronischem Training, einer definierten Trainingsreduzierung und einer daraus resultierenden Anpassung sensitiver molekularer Substrukturen herstellen. Fasertypspezifische Expressionen von ILK und ITGA7 konnten gezeigt werden, beide zeigten eine signifikant höhere Expression in Typ-2-Muskelfasern im Vergleich zu Typ-1-Muskelfasern. Das Training zeigte nur eine Veränderung in Netrin-4, welches nach der neunwöchigen Trainingsphase statistisch erhöht war. Die anderen Marker (Vinculin, ITGA7, ILK) zeigten keine statistische Veränderung im Verlauf der Intervention.

Das durchgeführte Training hatte nur einen geringen Einfluss auf die Marker der Zielstrukturen. Lediglich eine gesteigerte Expression von Netrin-4 konnte im Zusammenhang mit dem neunwöchigen chronischen Training gemessen werden. Dieses ist allerdings ein sehr interessantes Ergebnis, da Netrin-4 die Steifigkeit der Basalmembran verändert und somit vor einem klinischen Hintergrund auch für das Metastasierungs potenzial von Krebszellen wichtig ist (Reuten et al., 2021). Inwieweit die Änderung der Steifigkeit der Basalmembran für die laterale Kraftübertragung vom Muskel auf die Sehne von Bedeutung ist (Zhang and Gao 2012) und über eine Veränderung von Netrin IV die Leistungsfähigkeit der Muskulatur beeinflusst werden kann, erscheint eine interessante Frage und sollte in Folgestudien geklärt werden. Vorsicht ist jedoch bei der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf klinische Populationen geboten, da diese Ergebnisse in trainierten Radsportlern gemessen wurden. Allerdings bieten diese Ergebnisse einen Ausgangspunkt für zukünftige Trainingsstudien in anderen Populationen.

## Literatur

- Burkholder, T. J. (2007). Mechanotransduction in skeletal muscle. *Frontiers in Bioscience*, 12(1), 174–191. <https://doi.org/10.2741/2057>.
- Mujika, I., Padilla, S., Pyne, D., & Busso, T. (2004). Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Medicine*, 34(13), 891–927. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434130-00003>.
- Reuten, R., Zendehroudi, S., Nicolau, M., Fleischhauer, L., Laitala, A., Kiderlen, S., Nikodemus, D., Wullkopf, L., Nielsen, S. R., McNeilly, S., Prein, C., Rafaeva, M., Schoof, E. M., Furtwängler, B., Porse, B. T., Kim, H., Won, K. J., Sudhop, S., Zornhagen, K. W., Erler, J. T. (2021). Basement membrane stiffness determines metastases formation. *Nature Materials*, 20(6), 892–903. <https://doi.org/10.1038/s41563-020-00894-0>.
- Skorski, S., Mujika, I., Bosquet, L., Meeusen, R., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2019). The temporal relationship between exercise, recovery processes, and changes in performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(8), 1015–1021. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2018-0668>.
- Soligard, T., Schwellnus, M., Alonso, J. M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., Gabbett, T., Gleeson, M., Hägglund, M., Hutchinson, M. R., Janse Van Rensburg, C., Khan, K. M., Meeusen, R., Orchard, J. W., Pluim, B. M., Raftery, M., Budgett, R., & Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1030–1041. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096581>.
- Zhang, C. & Gao, Y. (2012) Finite element analysis of mechanics of lateral transmission of force in single muscle fiber. *J Biomech*, 45(11), 2001–2006 <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.04.026>.

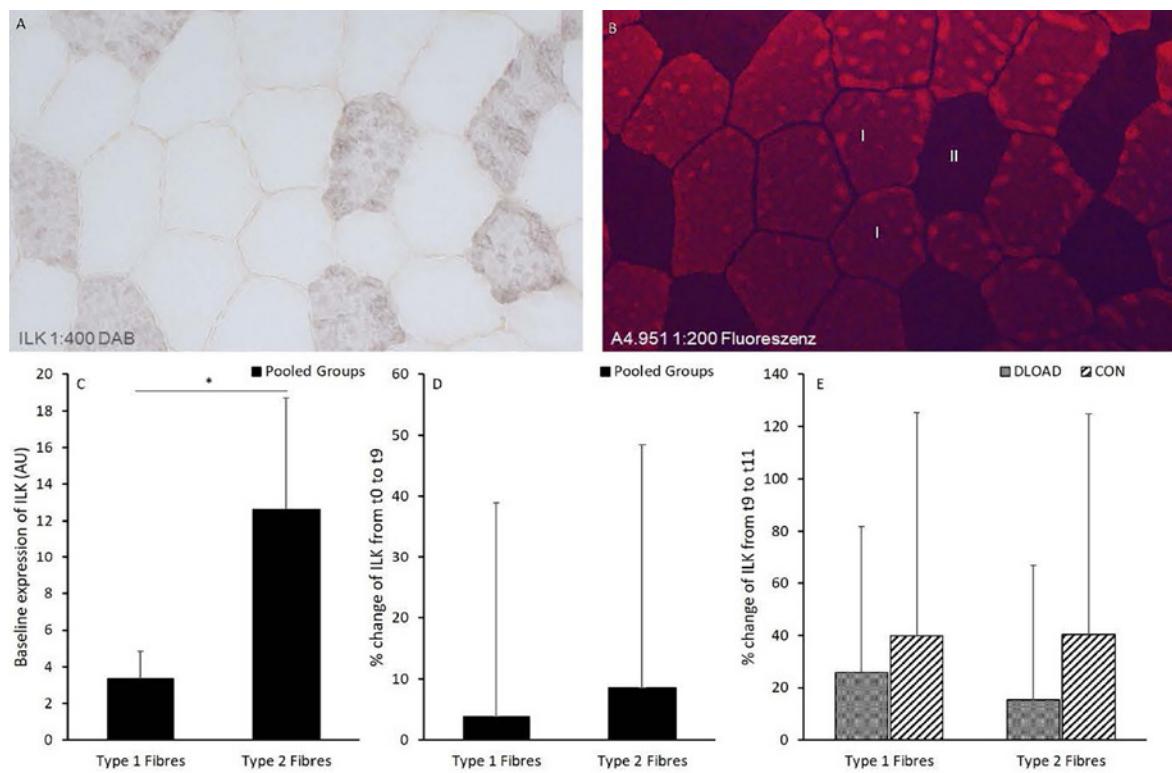


Abb. 1: Expression von Integrin-linked Kinase (A) in Typ-1- und Typ-2-Fasern (B). Dargestellt ist die Baseline-Expression von ILK (C) sowie die Veränderung von t0-t9 (D) und von t9-t11 für die Taper (DLOAD) und Kontrollgruppe (CON) (E).

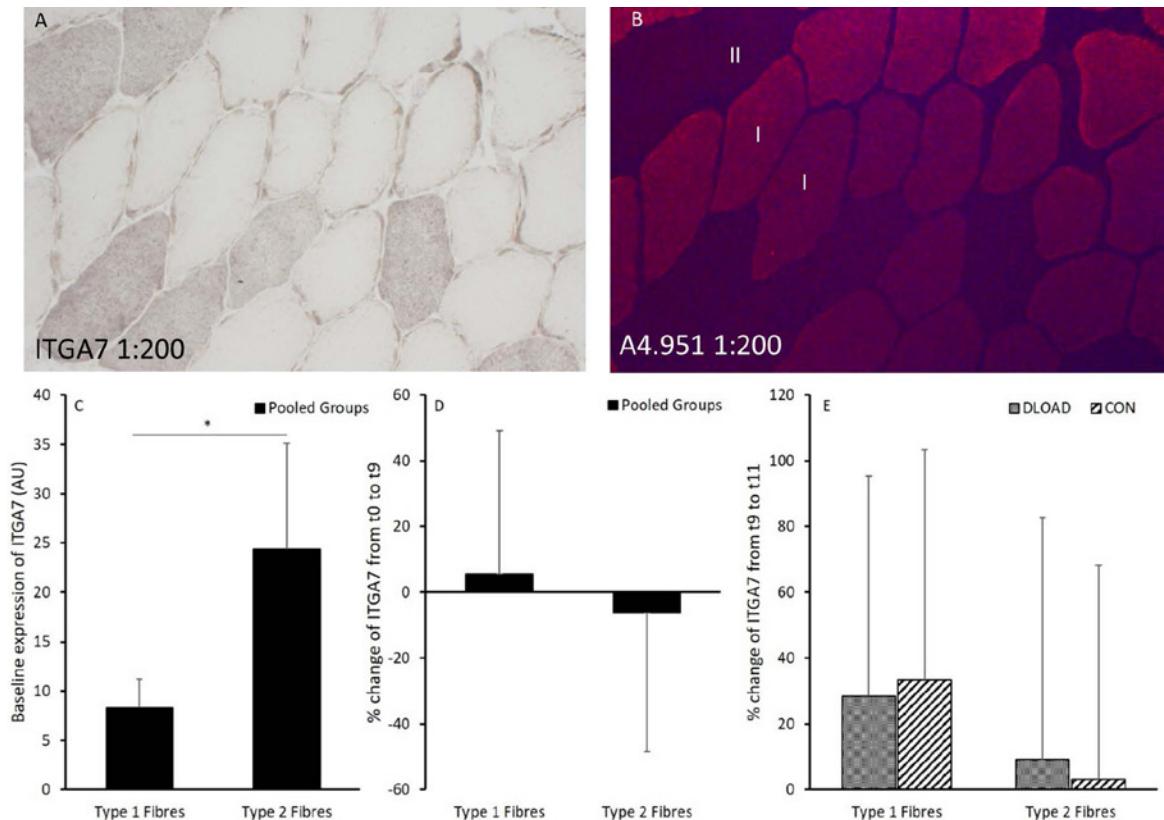


Abb. 2: Expression von Integrin alpha 7 (A) in Typ-1- und Typ-2-Fasern (B). Dargestellt ist die Baseline-Expression von ITGA7 (C) sowie die Veränderung von t0-t9 (D) und von t9-t11 für die Taper (DLOAD) und Kontrollgruppe (CON) (E).

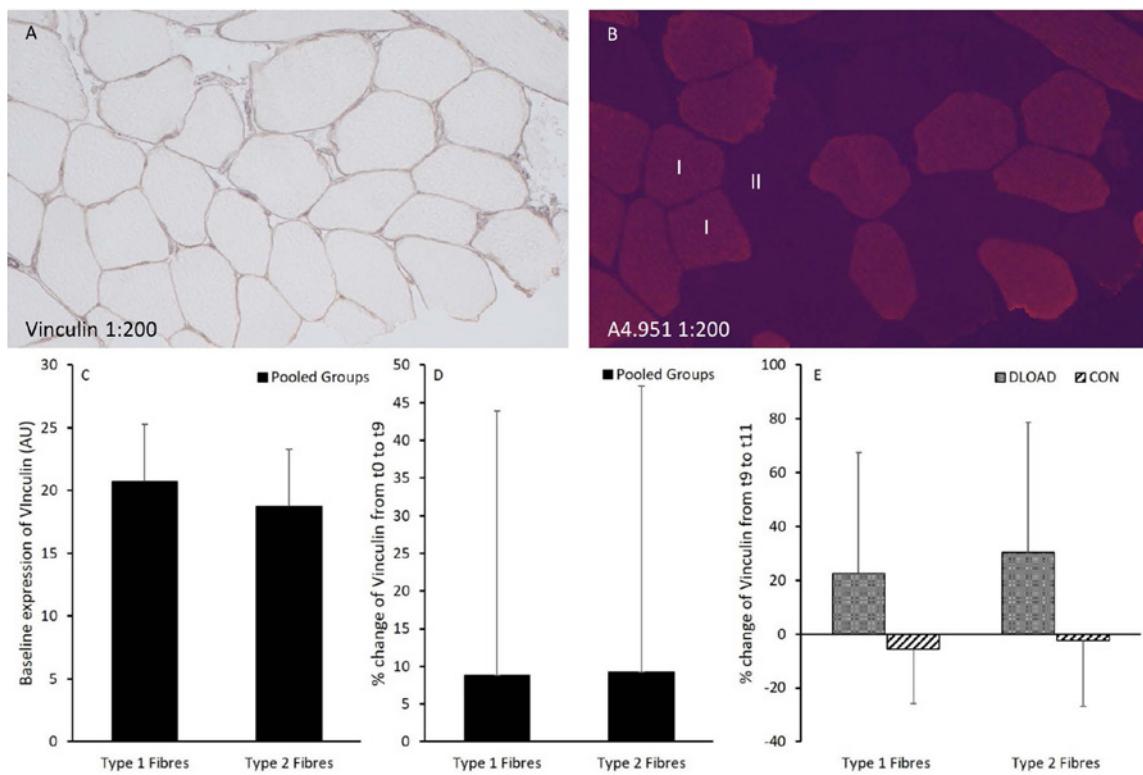


Abb. 3: Expression von Vinculin (A) in Typ-1- und Typ-2-Fasern (B). Dargestellt ist die Baseline-Expression von Vinculin (C) sowie die Veränderung von t0-t9 (D) und von t9-t11 für die Taper (DLOAD) und Kontrollgruppe (CON) (E).

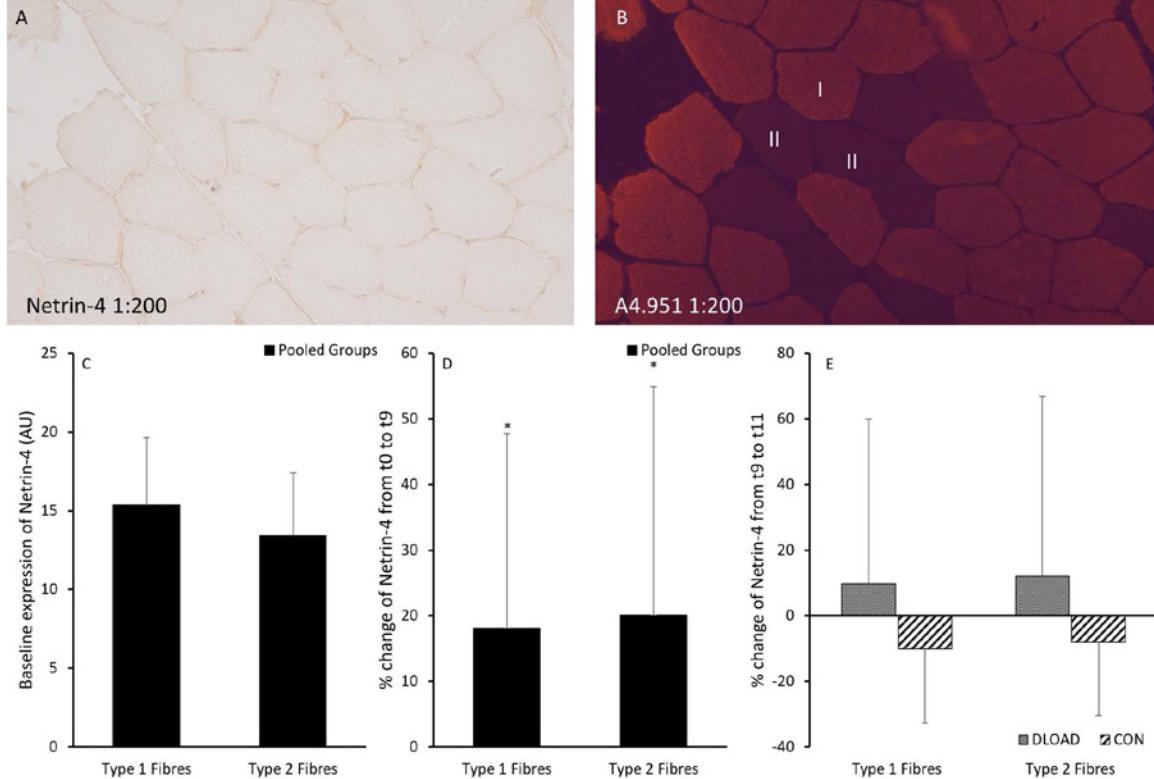


Abb. 4: Expression von Netrin-4 (A) in Typ-1- und Typ-2-Fasern (B). Dargestellt ist die Baseline-Expression von Netrin-4 (C) sowie die Veränderung von t0-t9 (D) und von t9-t11 für die Taper (DLOAD) und Kontrollgruppe (CON) (E).

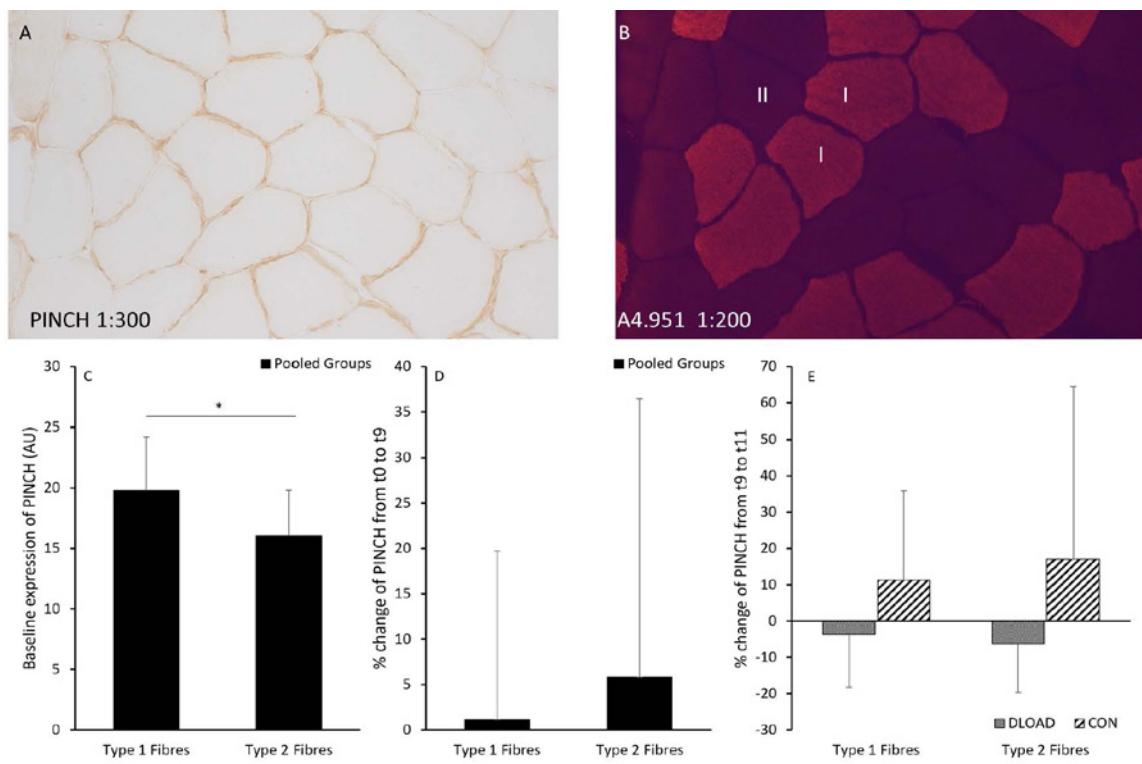


Abb. 5: Expression von PINCH (A) in Typ-1- und Typ-2-Fasern (B). Dargestellt ist die Baseline-Expression von PINCH (C) sowie die Veränderung von t0-t9 (D) und von t9-t11 für die Taper (DLOAD) und Kontrollgruppe (CON) (E).

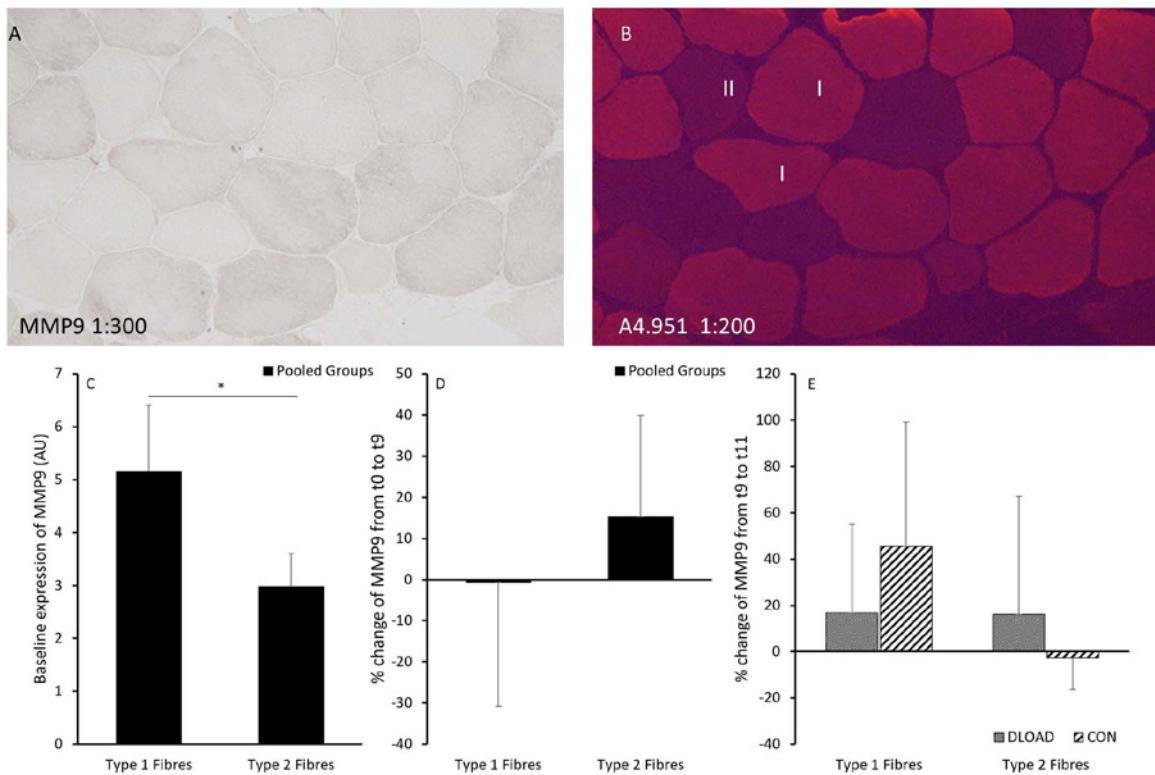


Abb. 6: Expression von MMP9 (A) in Typ-1- und Typ-2-Fasern (B). Dargestellt ist die Baseline-Expression von MMP9 (C) sowie die Veränderung von t0-t9 (D) und von t9-t11 für die Taper (DLOAD) und Kontrollgruppe (CON) (E).

# Umsetzung und Evaluation eines integrativen Konzepts zur interessenorientierten Talententdeckung und -orientierung in der Ganztagsgrundschule

AZ 070502/22-23

*Fabienne Döringer<sup>1</sup>, Larissa Heger<sup>1</sup>, Julia Grob<sup>2</sup>, Tim Bindel<sup>2</sup> (Projektleitung) und Mark Pfeiffer<sup>1</sup> (Projektleitung)*

<sup>1</sup> Abteilung Theorie und Praxis der Sportarten, Institut für Sportwissenschaft der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

<sup>2</sup> Abteilung Sportpädagogik und -didaktik, Institut für Sportwissenschaft der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Sportwissenschaft,  
Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften

## 1 Zielstellung und Forschungsrahmen

Die Zielstellung von InterTalent besteht darin, die unmittelbaren (kurzfristigen) Effekte einer Intervention zur Erweiterung der Bewegungs- und Sportartenerfahrungen (als Vorbereitung für die sportartspezifischen Sammeljahre (Côté & Vierimaa, 2014)) auf das Interesse (Präferenzen) von Grundschulkindern zu untersuchen. Dem zugrunde liegt ein Forschungsrahmen der Talententwicklung, nach dem der Zugang zum und der Verbleib im Sport von einer integrativen Verknüpfung der Person mit den Bewegungs- und Sportartenerfahrungen und damit der Gestaltung des sportlichen Angebots abhängt (Spies, Schauer, Bindel & Pfeiffer, 2022). Die Sportbiografie entwickelt sich demnach von Beginn an unter dem Einfluss von Bewegungs- und Sportartenerfahrungen (institutionalisierte oder freie Angebote) als Prozess der wechselseitigen Abhängigkeit von „Können“ und „Wollen“. Eingebettet ist dieser Dreiklang in eine Umwelt (u. a. Rahmenbedingungen wie Familie, Schule, Peers usw.), welche die individuelle Entwicklung beeinflusst (Person-Umwelt-Interaktion) (Subotnik, Olszewski-Kubilius & Worrell, 2019).

Das Modell orientiert sich an dem Rahmenkonzept von Preckel et al. (2020) (Ability-Personality

Profiles), den Auffassungen von Pion (2015) zur Bedeutung des Interesses („I like“/ Präferenz), dem personenorientierten Ansatz der Berner Talentforschungsgruppe (u. a. Schmid, Conzelmann & Zuber, 2021; Zibung & Conzelmann, 2012) und den Studien zum Einfluss psychologischer Persönlichkeitsmerkmale für eine erfolgreiche Sportkarriere (vgl. u. a. Höner & Feichtinger, 2016). Die Intervention ist an bestehende Theoriepositionen angelehnt, wonach das Ausprobieren bzw. das Sammeln von Erfahrungen im Sport von zentraler Bedeutung für die sportliche Entwicklung ist. Grundannahme ist, dass zunächst die Möglichkeiten des Sports (in seiner heterogenen Vielfalt) erlebt werden muss, um (auf Basis von Können und Wollen) eine passende Sportart zu finden, in der ein Kind potenziell in der Lage ist, in der Zukunft überdurchschnittliche Leistungen zu erzielen.

## 2 Methode

Basierend auf der skizzierten Forschungsperspektive wurde zur Bearbeitung der Zielstellung ein Prä-/Post-Vergleichsgruppendesign entwickelt, welches neben quantitativen auch qualitative Datenerhebungsmethoden umfasst. Umgesetzt wurde die Studie im Grundschulganztag der 4. Klassenstufe. Zum Beginn (prä) und am Ende (post) des Schuljahres 2022/23 fand die

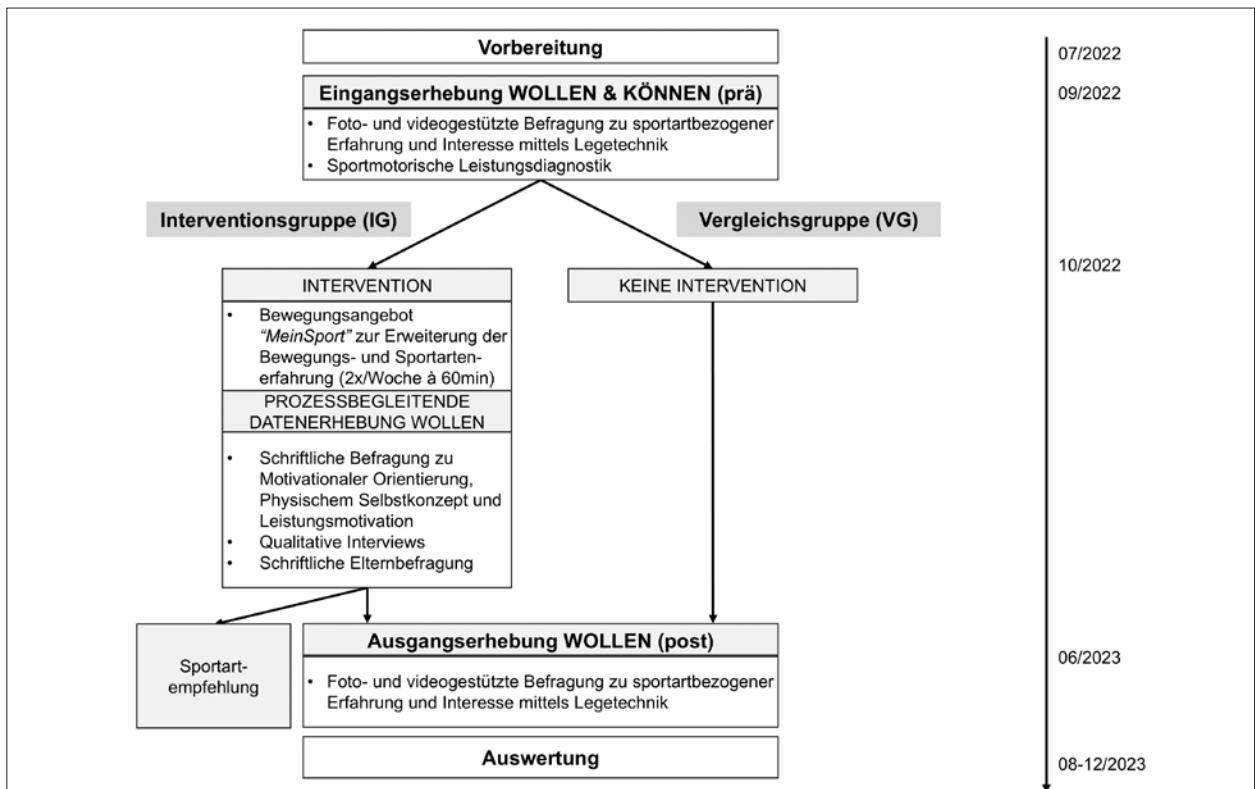


Abb. 1: Untersuchungsdesign InterTalent

Datenerhebungen zu den Bereichen Können und Wollen mit den Kindern der Interventions- und Vergleichsgruppe (IG, VG) statt (Abb. 1). Die IG erhielt über ein Schuljahr hinweg zweimal wöchentlich ein Sportangebot, in dem die Kinder verschiedene Sportarten bzw. Bewegungsformen, wie bspw. Capoeira, Volleyball oder Football, unter vielfältigen pädagogischen Perspektiven kennenlernen konnten (siehe 2.1).

## 2.1 Intervention („MeinSport“)

Das didaktische Konzept der Bewegungsinterventionen orientiert sich an aktuellen sportpädagogischen Positionen und beinhaltet folgende übergeordnete Zielstellungen: 1) Besonderheiten einer Sportart kennenlernen (Bekanntmachung mit Materialien, Räumen ...), 2) sportartspezifische Bewegungsformen ausprobieren, 3) Bewegungsideen mit Sportarbeitszug entwickeln (lassen), 4) sportartspezifische Merkmale/Kulturen herausarbeiten und trainieren, 5) sportartspezifische Regeln und Taktik erfahren. Die Einteilung der einzelnen Interventionsmodule orientierte sich im Wesentli-

chen an der Klassifikation der Sportarten nach Konopka (2008) und der Heidelberger Ballschule (Schulz-Linkholt, 2008).

Die differenzierte Ausgestaltung der Vermittlung richtete sich nach unterschiedlichen sogenannten Reglern, mit denen auf unterschiedliches Interesse eingegangen werden konnte: Partizipationsgrad, Regulierungsgrad und Mehrperspektivität.

Die Öffnung von partizipativen Spielräumen sollte dazu führen, dass die Kinder ihre individuellen Fähigkeiten entfalten und nutzen können. Auf der anderen Seite ist bekannt, dass ein Teil der Kinder oft keinen Partizipationswunsch hat und nicht aktiv in das Geschehen miteingebunden werden möchte (Reichenbach, 2016). Für diese Kinder wurden dementsprechend eher geschlossene Vermittlungswege angeboten.

Innerhalb des Regulierungsgrades wurde die Form des Sporttreibens eingestellt: offen – geschlossen. Mit einer Varianz im Regulierungsgrad konnte unterschiedlichen Bedürfnissen

nach Spiel oder Sport begegnet werden (Theoriepositionen zur Talententwicklung: deliberate play vs. deliberate practice).

Varianz in der Perspektive (Mehrperspektivität) hat das Ziel, das mündige Urteilen und aufgeklärte Handeln aufseiten der Kinder zu fördern (Neumann, 2019). Die Sportarten und Bewegungsformen wurden daher auch in divergierenden Perspektiven angeboten, um Urteils- und Entscheidungsfähigkeit von Kindern zu fördern (Kurz, 2004) und ihnen ein Angebot nach ihrem Interesse zu liefern.

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse über die einzelnen Untersuchungsklassen/-gruppen hinweg sicherstellen zu können, wurde der Ablauf der Intervention für jedes Sportartengruppen-Modul möglichst genau definiert. Die im Rahmen der Hauptstudie eingesetzten Coaches erhielten vor Beginn der Intervention eine Schulung zur Durchführung der einzelnen Interventionsmodule.

## 2.2 Datenerhebung

Aus der einschlägigen Literatur zum Talent wurde ein Modell bestehend aus vier Eigenschaftsbereichen erarbeitet: 1. sportmotorische Leistungsfähigkeit, 2. Interessen (Präferenzen), 3. Motivation und 4. Selbstkonzept. Während 1. dem „Können“ zuzuordnen ist, sind die Bereiche 2. bis 4. im „Wollen“ zu verorten. Die sportmotorische Leistungsfähigkeit der Kinder (1.) wurden durch insgesamt acht etablierte sportmotorische Tests (20 m Sprint, Rumpfbeuge, seitliches Hin- und Herspringen, Wall Volley, Zielwurf, Standweitsprung, Medizinball stoßen, Shuttle Run) und anthropometrische Daten wie die Körpergröße, -gewicht und Sitzhöhe ermittelt. Für die Bestimmung des sportart- und bewegungsbezogenen Interesses (2.) im Grundschulalter existierte kein diagnostisches Instrumentarium, weshalb in der Vorbereitungsphase von InterTalent eine foto- und videogestützte Befragungsmethode entwickelt worden ist (vgl. Spies, Heger, Bindel & Pfeiffer, 2023). Hierbei schätzen die Kinder in einem ersten Schritt ihre Erfahrungen (Wie oft hast du das schon gemacht?)

und ihre Kompetenzen (Wie gut kannst du das?) in 28 Bewegungen und Sportarten ein, zu denen sie jeweils kurze Videosequenzen präsentiert bekommen. Im zweiten Schritt wird das emotional-affektive Interesse zu jeder dieser Bewegungen und Sportarten über das Spaß-Empfinden operationalisiert (Wie viel Spaß macht dir das?). Hierzu legen die Kinder Kärtchen mit Bildausschnitten der Videosequenzen in eine siebenstufige Smiley-Tabelle.

Die Abbildung weiterer Persönlichkeitseigenschaften (3. und 4.) erfolgte mittels Fragebogen zur motivationalen Orientierung nach der Selbstbestimmungstheorie von Ryan und Deci (2000) (Kohake & Lehnert, 2018) und zur Leistungsmotivation (Elbe, Wenhold & Müller, 2005) (3.) sowie zum physischen Selbstkonzept (Dreiskämper, Tietjens, Honemann, Naul & Freund, 2015) (4.).

Um vertiefende Erkenntnisse hinsichtlich der Einstellungen und Meinungen zu erhalten, wurden mit ausgewählten Kindern qualitative Interviews geführt. Ergänzend erfolgte eine schriftliche Elternbefragung zur sport- und bewegungsbezogenen Sozialisation. In der Auswertung werden die erhobenen Daten im Paralleldesign (Kuckartz, 2014, 71 ff) aufeinander bezogen, um Aussagen zu den Persönlichkeitsprofilen und den unmittelbaren Effekten der Talentfördermaßnahme (Sammeln von Bewegungs-/Sportarterfahrungen, Sammelperioden) treffen zu können.

## 3 Ausgewählte Ergebnisse

Die vorliegende Stichprobe besteht aus N= 346 Kindern, davon 151 Mädchen und 195 Jungen, welche im Mittel 9,7 Jahre alt sind. Die Gesamtgruppe teilt sich in 202 Interventions- (IG) und 144 Vergleichskinder (VG). Die Daten wurden an 12 verschiedenen Grundschulen (IG und VG) in Rheinland-Pfalz erhoben. Insgesamt gaben 64,2% der Mädchen und 70,2% der Jungen an, in mindestens einer Sportarte in einem Sportverein aktiv zu sein. Zu den meistgenannten Vereinssportarten zählen Fußball (12,5%, 90x genannt) und Tanzen (5,4%, 39x genannt, inkl. Ballett, Breakdance...). Nachfolgend werden

zur sportlichen Erfahrung der Kinder, zu den Perspektiven des Wollens sowie zur Beziehung zwischen Selbstkonzept und sportmotorischer Leistungsfähigkeit einige ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

### 3.1 Bewegungs-/Sportarterfahrungen

Im Rahmen der foto- und videoteststützten Befragung sollten die Kinder u. a. auch ihre Erfahrung hinsichtlich verschiedener Sportarten und Bewegungen einschätzen (s. o.). In der Eingangsbefragung (prä) gaben dabei über 50% der 346 Kinder beider Gruppen (IG, VG) an, noch nie Baseball, Football, Kampfsport (ohne Körperkontakt), Hockey und Roundnet ausprobiert zu haben. Zwischen 25% und 50% der Kinder haben zudem noch keine Erfahrungen in Kampfsportarten (mit Körperkontakt), Tennis, Volleyball und Skateboardfahren gemacht. Von den befragten Kindern berichten 21%, noch nie Inliner gefahren zu sein, und 25%, noch nie Badminton gespielt zu haben. Mit Ausnahme von Inlinerfahren ( $w= 11,9\%$ ,  $m= 30,1\%$ ) und Tanzen ( $w= 2,0\%$ ,  $m= 14,8\%$ ) geben die Mädchen jeweils häufiger an, eine Sportart noch nie gemacht zu haben, als die Jungen (z.B. Hockey:  $w= 68,2\%$ ,  $m= 50,5\%$ ). Die Interventions- und Kontrollgruppe unterscheiden sich in ihren Bewegungs-/Sportarterfahrungen zum Zeitpunkt vor der Intervention (Eingangserhebung, prä) nicht voneinander.

Nach der Bewegungsintervention haben die Kinder der IG in zahlreichen bislang unbekannten Sport- und Bewegungsfeldern Erfahrung sammeln können. Auch die Erfahrungsunterschiede zwischen Mädchen und Jungen sind bei der IG in der Ausgangsbefragung (post) nicht mehr vorhanden.

### 3.2 Wollen

#### Emotional-affektives Interesse

Bei 306 Kindern wurde in der Eingangs- und der Ausgangserhebung das Interesse an 28 Bewegungsformen und Sportarten mittels foto- und

videogestützter Befragungsmethode erhoben (s. o.). Davon gehören 180 der IG und 126 der VG an. In der Eingangsbefragung wurden 17 der 28 Bewegungsformen bzw. Sportarten in der Gesamtstichprobe im Median mit  $\geq 5$  bewertet, was „ein bisschen“ bis „sehr viel Spaß“ entspricht und für ein überwiegend hohes Spaß-Empfinden bei den Kindern spricht. Am häufigsten geben die Kinder unabhängig vom Geschlecht an, beim Schwimmen und Fahrradfahren „sehr viel Spaß“ zu haben ( $Mdn = 7$ ), was die höchste Bewertung in der Untersuchung darstellt. Bei den Jungen zählt zusätzlich Fußballspielen zu den beliebtesten Sportarten ( $Mdn = 7$ ). Football und Baseball werden in der Eingangsbefragung über alle Gruppen hinweg niedrig bewertet ( $Mdn = \text{zwischen } 2 \text{ und } 3$ ). Kampfsport (ohne Körperkontakt) erhält – insbesondere bei den Mädchen – einen niedrigen Wert ( $Mdn = 3$ ), während die Jungen zudem häufig angeben, wenig Spaß am Tanzen zu haben ( $Mdn = 3$ ).

In einer explorativen inferenzstatistischen Auswertung wurden die Differenzen von prä zu post ( $\Delta \text{ prä-post}$ ) für jede Bewegungsform und Sportart mittels univariater, zweifaktorieller Varianzanalyse geprüft (Faktor 1: Untersuchungsgruppe, Faktor 2: Geschlecht). Für den Faktor „Gruppe“ zeigt sich ein signifikanter Unterschied ( $p < .01$ ) zwischen VG und IG in Baseball, Football, Kampfsport (mit Kontakt), Kampfsport (ohne Kontakt), Volleyball, Skateboard, Hockey und Tischtennis. Bezogen auf den Faktor „Geschlecht“ ist die positivere Bewertung nach der Intervention im Baseball, Fußball, Kampfsport (mit Kontakt) und Fahrradfahren auf die Veränderungen bei den Mädchen, im Inlineskaten, Turnen und in der Tendenz auch Frisbee auf die der Jungen zurückzuführen.

Mittels Rangkorrelation (Spearman) sollte die Veränderung der Interessen (unabhängig der Richtung) sichtbar gemacht werden. Hier fällt auf, dass Kinder der Vergleichsgruppe ihre Interessen an Sportarten (siehe Kap. 2.2) deutlich seltener verändern als Kinder der Interventionsgruppe, die viele Sportarten neu oder auf eine neue Art kennengelernt haben. Am instabilsten zeigen sich die Meinungen der Mädchen der VG, am stabilsten die der Jungen der IG. Beispielsweise

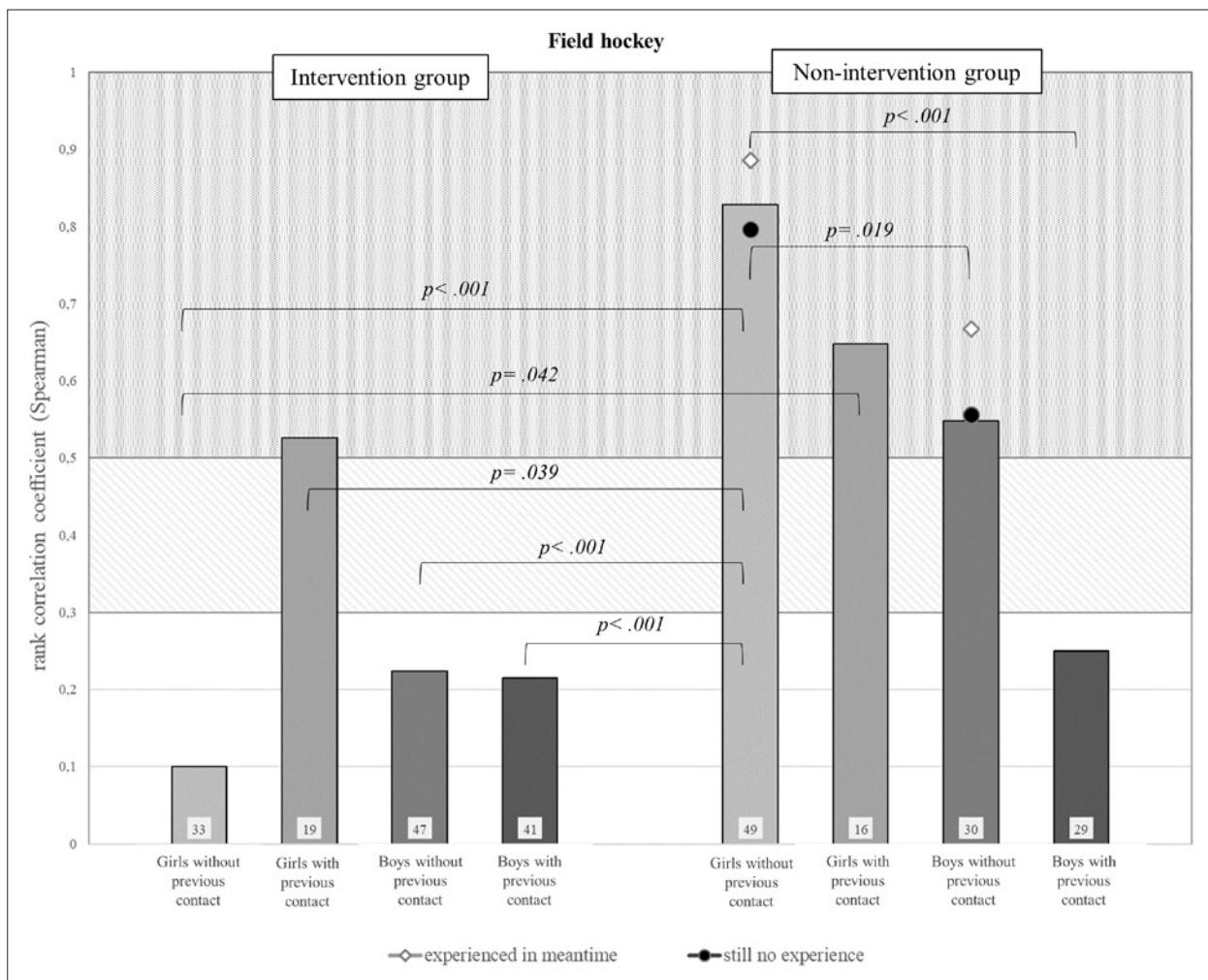


Abb. 2: Rangkorrelationskoeffizient (Spearman) für die jeweiligen Untergruppen für das Item Feldhockey. Die vier Balken auf der linken Seite stehen für die Interventionsgruppe, die vier Balken auf der rechten Seite für die Vergleichsgruppe (Non-intervention group). Die Korrelationen wurden mit dem Online-Rechner von Hemmerich (2017) auf Vergleichbarkeit geprüft und bei signifikanten Unterschieden ( $p < .05$ ) markiert. Das weiße Quadrat im rechten Teil symbolisiert die zusätzliche Untergruppe der zuvor unerfahrenen Personen, die während des Interventionszeitraums an Erfahrung gewonnen haben. Der schwarze Punkt symbolisiert die Werte der Gruppe, die weiterhin keine Erfahrung mit der Sportart hat. Die kleinen Zahlen am unteren Rand des Balkens geben die Stichprobengröße an.

werden nachstehend die Rangkorrelationen der Untergruppen (IG/VG, je nach Vorerfahrung und Geschlecht) für die Sportart Feldhockey dargestellt (Abb. 2).

### Motivationale Orientierung

Im Rahmen der Fragebogenstudie zeigen sich für den intrinsischen und identifizierten Motivationsmodus ( $M_{\text{Intrin}} = 2.45$ ,  $SD_{\text{Intrin}} = .67$ ,  $MI_{\text{ident}} = 2.40$ ,  $SD_{\text{Ident}} = .64$ ) insgesamt hohe Werte und niedrige Werte beim introjizierten und externalen Motivationsmodus ( $MI_{\text{Intro}} = .75$ ,  $SD_{\text{Intro}} = .92$ ;  $M_{\text{Ext}} = .75$ ,  $SD_{\text{Ext}} = .86$ ). Dabei unterscheiden sich die Mädchen und Jungen nicht voneinander (bspw.  $M_{\text{IntrinW}} = 2.40$ ,  $SD_{\text{IntrinW}} = .69$ ;  $M_{\text{IntrinM}} = 2.48$ ,  $SD_{\text{IntrinM}} = .66$ ).

### 3.3 Physisches Selbstkonzept und sportmotorische Leistungsfähigkeit

In der Untersuchung der IG-Kinder zeigt sich ein positiver Zusammenhang zwischen der sportlichen Leistungsfähigkeit der Kinder und ihrem physischen Selbstkonzept. Dies gilt sowohl für die Konstrukte als auch für ausgewählte sportmotorische Tests und Subskalen des physischen Selbstkonzepts. Erste Analysen deuten dabei geschlechtsspezifische Unterschiede an. Die Jungen zeigen überwiegend (signifikant) höhere Werte in den sportmotorischen Tests und im physischen Selbstkonzept als die Mädchen. Auffällig ist dabei, dass die Mädchen im Rumpfbeugetest signifikant

höhere Werte erreichen als die Jungen, wobei sich die Einschätzung beider Gruppen in der PSK-Subskala Beweglichkeit nicht voneinander unterscheidet. Im 20-m-Sprint zeigt sich kein Unterschied in der Leistung zwischen den beiden Geschlechtern, jedoch schätzen die Jungen sich auf der Subskala Schnelligkeit selbst höher ein als Mädchen.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

- › Sowohl das Interesse (Spaß) als auch die Motivation der Kinder im Sport ist – von Anfang an – sehr hoch.
- › Mädchen und Jungen unterscheiden sich in ihrer Erfahrung, im Interesse und in der Selbstwahrnehmung.
- › Kinder der IG berichten im Anschluss an die Intervention über mehr Erfahrungen in einer größeren Anzahl an Sportarten als die Kinder der VG.
- › Kinder der IG verändern ihr sportart- und bewegungsbezogenes Interesse von prä zu post stärker als die Kinder der VG.
- › Kinder in beiden Gruppen (IG, VG) mit einem höheren Niveau der sportlichen Leistungsfähigkeit („Können“) schätzen ihre Kompetenzen in den abgefragten Sportarten höher ein.
- › Kinder beschreiben in den Interviews insbesondere die Mitbestimmung und Vielfalt innerhalb der Bewegungsintervention als außerordentlich positiv.

Die hier berichteten Ergebnisse zeigen kurzfristige Effekte der Intervention auf die Bewegungserfahrungen sowie das sportartspezifische und bewegungsbezogene Interesse der Kinder. Im Rahmen wissenschaftlicher Publikationen (siehe Literaturverzeichnis) wurden tiefergehende Analysen der Persönlichkeitsprofile und deren Veränderungen vor dem Hintergrund der Positionen zum sportlichen Talent und zur Talententwicklung durchgeführt.

In einer Follow-up-Studie (InterTalent II) gilt es in Zukunft, etwaige mittelfristige Effekte der Intervention zu untersuchen. In InterTalent II soll ab Sommer 2024 an diejenigen Familien herangetreten werden, deren Kinder im Schuljahr 2022/23 an der Bewegungsintervention teilgenommen und ihre Kontaktdaten hinterlassen haben. Eltern und Kinder dürfen angeben, wie die sportliche Laufbahn der Kinder nach der Intervention weitergegangen ist, wie sich ihre Interessen seither verändert oder gefestigt haben und ob die Teilnahme am Programm sie dazu bewegt hat, ihren Interessen im Sportverein nachzugehen. Diese Informationen sollen dann vor dem Hintergrund ihrer bisherigen Persönlichkeitseigenschaften und ihres sportmotorischen Profils eingeordnet werden, um Erkenntnisse für die Talententdeckung zu erlangen. Dazu werden zusätzlich Interviews mit Trainerinnen und Trainern der Kinder geführt.

## 5 Literaturverzeichnis

- Bindel, T. (2015). Bedeutung und Bedeutsamkeit sportlichen Engagements in der Jugend [Importance and significance of sporting commitment among young people] (Sportforum, Band 31). Aachen, Auckland, Beirut: Meyer & Meyer Verlag.
- Côté, J., Baker, J. & Abernethy, B. (2007). Practice and Play in the Development of Sport Expertise, 184–202.
- Côté, J. & Vierimaa, M. (2014). The developmental model of sport participation: 15 years after its first conceptualization. *Science & Sports*, 29, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2014.08.133>.
- Dreiskämper, D., Tietjens, M., Honemann, S., Naul, R. & Freund, P. A. (2015). PSK-Kinder – Ein Fragebogen zur Erfassung des physischen Selbstkonzepts von Kindern im Grundschulalter. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 22(3), 97–111. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000141>.

- Elbe, A.-M., Wenhold, F. & Müller, D. (2005). Zur Reliabilität und Validität der Achievement Motives Scale-Sport. Zeitschrift für Sportpsychologie, 12(2), 57–68. <https://doi.org/10.1026/1612-5010.12.2.57>.
- Hemmerich, W. (2017). StatistikGuru: Korrelationen statistisch vergleichen [To compare correlations statistically]. Verfügbar unter: <https://statistikguru.de/rechner/korrelationen-vergleichen.html>.
- Höner, O. & Feichtinger, P. (2016). Psychological talent predictors in early adolescence and their empirical relationship with current and future performance in soccer. Psychology of Sport and Exercise, 25, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.03.004>.
- Kohake, K. & Lehnert, K. (2018). Konstruktion eines Fragebogens im Rahmen der Selbstbestimmungstheorie der Motivation im außerschulischen Sport im Kindesalter. German Journal of Exercise and Sport Research, 48(4), 516–529. <https://doi.org/10.1007/s12662-018-0548-6>.
- Konopka, P. & Mair, J. (2008). Sporternährung. Leistungsförderung durch vollwertige und bedarfsangepasste Ernährung, BLV-Sportwissen, 11. Aufl., München: BLV.
- Kuckartz, U. (2014). Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-93267-5>.
- Kurz, D. (2004). Von der Vielfalt sportlichen Sinns zu den pädagogischen Perspektiven im Schulsport. In P. Neumann & E. Balz (Hrsg.), Mehrperspektivischer Sportunterricht, Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 144, S. 57–70. Schorndorf: Hofmann.
- Ministerium für Familie, Kinder, Jugend, Kultur und Sport des Landes Nordrhein-Westfalen. (2016). Bildungsgrundsätze für Kinder von 0 bis 19 Jahren in Kindertagsbetreuung und Schulen im Primarbereich in Nordrhein-Westfalen. Freiburg im Breisgau: Herder.
- Neumann, P. (2019). Quo vadis mehrperspektivischer Sportunterricht? In E. Balz (Hrsg.), Arbeitsbereich Sportpädagogik, Forum Sportpädagogik, S. 11–20.
- Pion, J. (2015). The Flemish Sports Compass. From sports orientation to elite performance prediction. Dissertation. Ghent University, Ghent.
- Preckel, F., Golle, J., Grabner, R., Jarvin, L., Kozbelt, A., Müllensiefen, D. et al. (2020). Talent Development in Achievement Domains: A Psychological Framework for Within- and Cross-Domain Research. Perspectives on Psychological Science, 15(3), 691–722. <https://doi.org/10.1177/1745691619895030>.
- Reichenbach, R. (2016). Partizipieren und Partizipation ertragen. In R. Mörgen, P. Rieker & A. Schnitzer (Hrsg.), Partizipation von Kindern und Jugendlichen in vergleichender Perspektive. Bedingungen – Möglichkeiten – Grenzen, 1. Auflage, S. 217–237. Weinheim: Beltz Juventa.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. American Psychologist, 55(1), 68–78.
- Schmid, M. J., Conzelmann, A. & Zuber, C. (2021). Patterns of achievement-motivated behavior and performance as predictors for future success in rowing: A person-oriented study. International Journal of Sports Science & Coaching, 16(1), 101–109. <https://doi.org/10.1177/1747954120953658>.

Schulz-Linkholt, B. (2008, Juli). Die Heidelberger Ballschule in der amerikanischen Sportspielwelt. Eine Modifikation der Taktik-, Koordinations- und Technikbausteine. Ruprecht-Karls Universität Heidelberg, Heidelberg.

Spies, F., Heger, L., Bindel, T. & Pfeiffer, M. (2023). Interest as a supplementary criterion in the detection of talent: The identification of differing types of children at primary school age. International Journal of Sports Science & Coaching, 19(3), 1186–1195. <https://doi.org/10.1177/17479541231203497>.

Spies, F., Schauer, L., Bindel, T. & Pfeiffer, M. (2022). Talent detection—importance of the will and the ability when starting a sport activity. German Journal of Exercise and Sport Research, 52(4), 647–656. <https://doi.org/10.1007/s12662-022-00796-0>.

Subotnik, R. F., Olszewski-Kubilius, P. & Worrell, F. C. (2019). Environmental Factors and Personal Characteristics Interact to Yield High Performance in Domains. Frontiers in Psychology, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02804>.

Zibung, M. & Conzelmann, A. (2012). The role of specialisation in the promotion of young football talents: a person-oriented study. European Journal of Sport Science, 13(5), 452–460. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.749947>.

# Anpassung allgemeiner und spezifischer Kraftfähigkeiten und des Blutmetaboloms auf definierte Reduktionen von Krafttrainingsvolumina im Mesozyklus – Ein explorativer Ansatz zur Bestimmung von Biomarkern und Anpassungsreserven im Trainingsprozess

AZ 070507/20-21

*Univ.-Prof. Dr. Sebastian Gehlert (Projektleiter)*

M. Sc. Frederik Schünemann, M. Sc. Käthe Bersiner, M. Sc. Alexander Pohl,

M. Sc. Thomas Böhler (Projektmitarbeiter)

Universität Hildesheim, Institut für Sportwissenschaft

Abteilung für die Biowissenschaften des Sports

## Problem

Es besteht die Vermutung, dass im Leistungssport temporär und zu verschiedenen Zeitpunkten in der Saison, mehr trainiert wird, als dies für eine Trainingsanpassung notwendig wäre. Dies betrifft vor allem die Sportarten, in denen eine regelmäßige Vermischung von Kraft- und oder Ausdauerbeanspruchungen auftritt und in denen sich daher zellulär sehr unterschiedliche Reizmuster überlagern (Nader, 2006). Die Konsequenz hieraus ist eine mögliche verringerte Anpassungsfähigkeit permanent belasteter physiologischer Systeme wie z. B. des Skelettmuskels. Wir konnten in einem vom BISp geförderten Projekt bereits zeigen, dass sich die anabole Signalgebung im Skelettmuskel als Folge permanent auftretender Krafttrainingsreize innerhalb von 2 Mikrozyklen signifikant abschwächt und erst dann wieder „re“-sensibilisiert wird, wenn das Training für mindestens 10 Tage reduziert wird (Jacko et al., 2022). Es ist bislang in der Sportwissenschaft jedoch nicht spezifisch untersucht worden, inwieweit moderate bis mittlere Reduktionen des Krafttrainingsvolumens im laufenden Trainingsprozess zu Veränderungen der physiologischen Kraftleistungsfähigkeit bzw. des Metabolismus führen. Wir hatten in unserer Studie folgende Annahmen.

Kernhypothese war, dass sich weder das Blutmetabolom noch die Entwicklung der Kraftwerte signifikant zwischen den Gruppen innerhalb der Studie unterscheiden und eine Reduktion des Trainingsvolumens keine nachweisbare Leistungsminderung mit sich bringt.

## Methode

Ein Kollektiv von weiblichen und männlichen Testpersonen (Insgesamt n=34) wurde einer mehrmonatigen gemischten Trainingsbelastung bestehend aus einem detailliert geplanten Krafttraining und einer begleitenden Ausdauer- bzw. Spielsportbelastung ausgesetzt. Die gesamte Studie beinhaltete im Mittel  $4 \pm 0,6$  Trainingseinheiten pro Woche über einen Zeitraum von  $101 \pm 14$  Tagen bzw.  $14 \pm 2$  Wochen. Zum Zwecke der Bestimmung physiologischer Leistungswerte über den Studienzeitraum wurden wiederholt umfassende Leistungsdiagnosiken (KLD) durchgeführt (siehe Abbildung 1).

Diese beinhalteten die begleitende Bestimmung der komplexen Kraftfähigkeit sowie der allgemeinen und spezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit und der Körperkomposition mittels BIA.

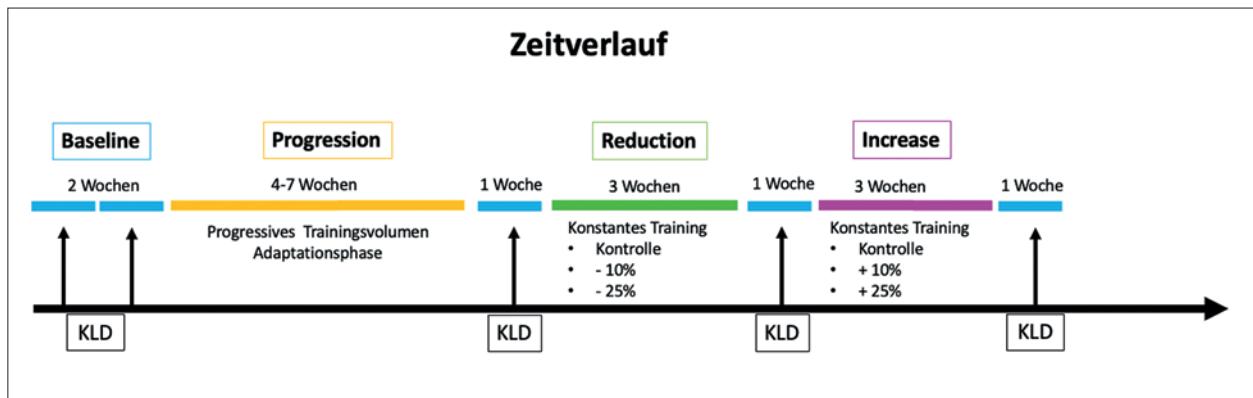


Abb. 1: Vereinfachtes Studiendesign mit Darstellung der 3 Haupttrainingsphasen (Progression, Reduction, Increase) als komplexe Leistungsdiagnostik (KLD). (Komplexe Leistungsdiagnostik).

Zum Nachweis der Veränderung des Metabolismus implementierten wir mithilfe der Blutmetabolomics an „Dried Blood Spots“ eine innovative und explorative Untersuchungsmethodik in unserer Studie. Zweck dieser Methode war es, einen Einblick in die Veränderung des Protein-, Aminosäure- und Fettstoffwechsels unter Ruhebedingungen zu bekommen. Nach den ersten Eingangsleistungsdiagnosen (*Baseline*) wurden alle Testpersonen in einer initialen Krafttrainingsphase voradaptiert. Hierzu trainierten alle nach einem individuellen, fest vorgegebenen, aber hinsichtlich Intensität und Volumen progressiv aufgebauten Krafttrainingsplan. Dieser diente dem Zweck einer uniformen Leistungssteigerung hinsichtlich der Kraft, der Einstellung einer stabilen Anpassungssituation, der kontinuierlichen Weiterumsetzung von Spielsport- und Ausdauertrainingseinheiten und der Abmilderung überschießender Anpassungsreaktionen während der Studie. Hiernach blieb die Abfolge und Anzahl aller Trainingseinheiten innerhalb der gesamten Studie pro Trainingswoche und über den gesamten Studienzeitraum konstant. Einzig das Volumen der Krafttrainungseinheiten wurde als wesentliches Steuerungskriterium der Studie angepasst. Die Testpersonen trainierten exakt 2-mal wöchentlich ein definiertes Krafttrainingsprogramm bestehend aus Beinpresse, Beinstrecker, Beinbeuger, Brustpresse, Latissimuszug, Bizeps- und Trizepscurls, Sprung- und Rumpfkraftübungen. Das Training beinhaltete für jede Kraftübung mit Gewichtsbeladung drei Trainingssätze am 10 repetition maximum (RM) und jeweils einen Satz am 6 RM. Das Aus-

dauertraining oder Mannschaftstraining wurde von den Probanden und Probandinnen entlang ihrer regelmäßigen Trainingsgewohnheiten im Mittel  $2 \pm 0,6$  Mal wöchentlich (zwischen 2 und 3 Einheiten pro Woche) weiter trainiert. Unsere Studie hat damit einen Trainingszeitraum mit hoher und gemischtanteiliger Trainingskonsistenz simuliert, der dem im Leistungssport nahekommt. Am Ende dieser ersten Progressionsphase wurden die Testpersonen anhand des dynamisch bestimmten 1 RM an der Beinpresse stratifiziert und jeweils einer von drei Gruppen zugeordnet. Danach erfolgte für jede dieser Gruppen die Umsetzung einer dreiwöchigen Reduktionsphase ( $25 \pm 2$  Tage). In dieser wurde das Krafttrainingsvolumen für 2 Gruppen präzise anhand des in der letzten Woche der Progressionsphase trainierten Krafttrainingsvolumens um 10% (Gruppe 10, n=13) oder 25% (Gruppe 250, n=12) reduziert. Gruppe KG (Kontrollgruppe, n=9) behielt das in den letzten zwei Krafttrainungseinheiten der Progressionsphase trainierte Trainingsvolumen über den gesamten Studienzeitraum konstant und ohne Änderung bei (n=8). Nach diesem Abschnitt wurde bei den entsprechenden Gruppen unmittelbar eine Erhöhung des Krafttrainingsvolumens um 10% (Gruppe 10) oder 25% (Gruppe 25) über einen Zeitraum von 3 Wochen ( $25 \pm 2$  Tage) angesetzt. Als Referenz hierfür diente wieder die letzte Trainingseinheit am Ende der Progressionsphase. Die Testpersonen waren daher einer akuten 20- bis 50%igen Erhöhung des Krafttrainingsvolumens nach der Reduktionsphase ausgesetzt. Am Ende jeder Phase wurde abschließend eine KLD

gekoppelt mit einer Abnahme zur Messung der Blutmetabolomics durchgeführt. Nach der letzten KLD war die Studie beendet.

## Ergebnisse

Die Studie wurde von insgesamt 34 Testpersonen (Alter: 26 +-4 Jahre; Größe: 175 +- 10 cm; Gewicht 75+-13 kg) abgeschlossen (weiblich n=15; männlich n=19). Die Progressionsphase zu Beginn der Studie führte zu einem signifikanten Anstieg der Kraftparameter von Baseline zum Ende der Progressionsphase in der Gesamtgruppe aller Testpersonen: Beinpresse 1 RM (14,7+-10 %); isometrische Maximalkraft Beinpresse (12,0+-14,0%); Beinpresse 10 RM (16,7+-12,4%; isometrische Maximalkraft Beinstrecker (17,7+-16,3 %); isometrische Maximalkraft Brustpresse (9,7+-11,9%); Squatjump Sprunghöhe (7,9+-8,4%); 1 RM Schulterpresse (15,6±10,9%). Die fettfreie

Körpermasse (bestimmt mittels BIA-Analyse) war zwischen den Gruppen nach der Progressionsphase nicht unterschiedlich und veränderte sich auch über alle Phasen nicht. Alle Kraftwerte zeigten sowohl zwischen den Gruppen als auch innerhalb der Gruppen (Zeiteffekt) über die „Reduktion“ als auch den nachfolgenden „Increase“ keinen Unterschied ( $p>0.20$ ). Somit lässt sich die Vermutung, dass eine transiente Reduktion des Krafttrainingsvolumens im laufenden Trainingsprozess keinen Verlust an spezifischen Kraftfähigkeiten induziert, für beide Reduktionsgruppen (-10% und -25%) bestätigen. Auch eine abrupte, dreiwöchige Erhöhung des Trainingsvolumens um 20 (Gruppe 10) und 50% (Gruppe 25) führte nach „Increase“ zu keinem Anstieg der Kraftfähigkeiten. Um den Effekt der Kraftanpassung von Baseline über den Gesamtzeitraum besser deutlich zu machen, haben wir den prozentualen Anstieg der isometrischen Kraftanpassung (Beinpresse, Beinstrecker und

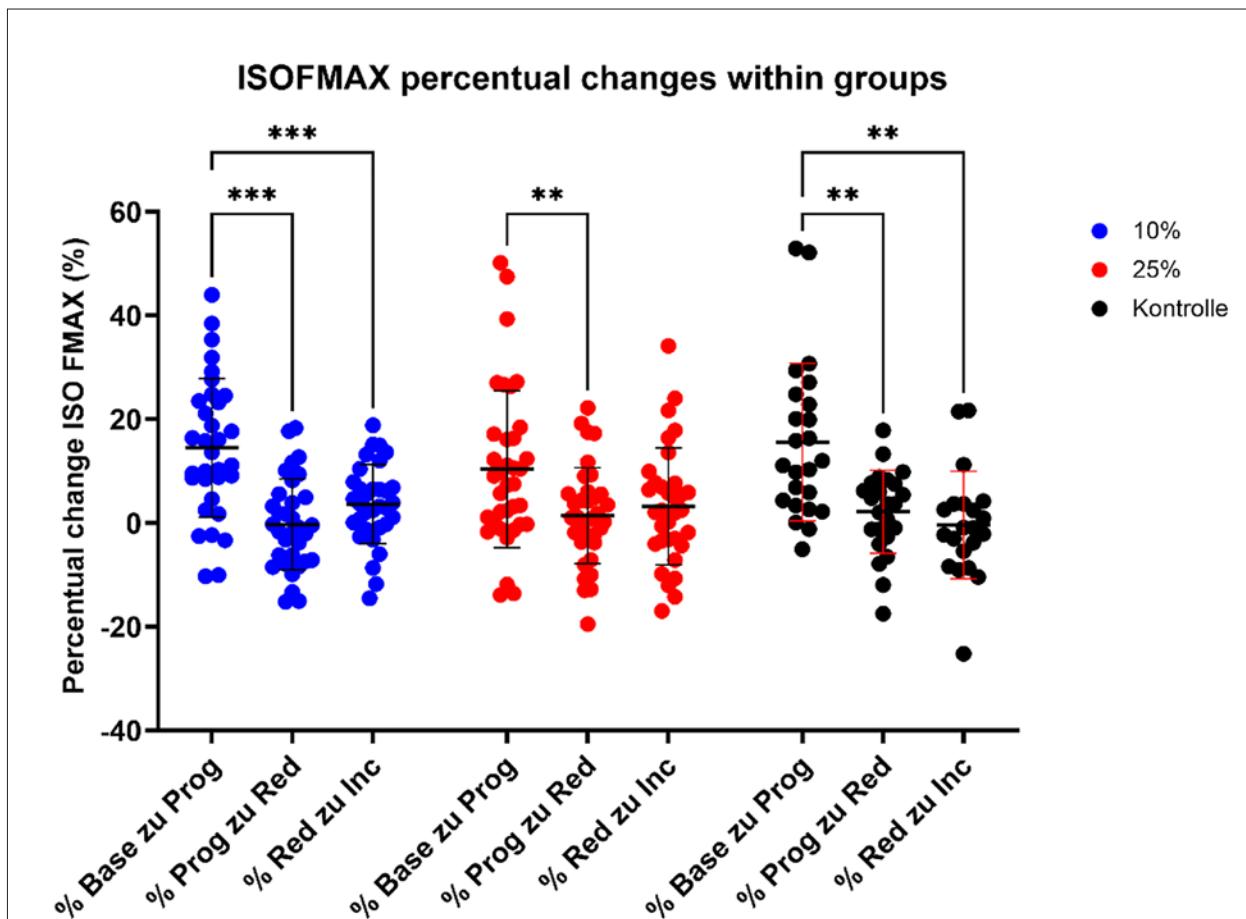


Abb. 2: Prozentuale Änderung der isometrischen Maximalkräfte von Brustpresse, Beinstrecker, Beinpresse zwischen den Trainingsphasen (individuelle Datenpunkte; Mittelwert +- SD; \*\*  $p>0.01$ ; \*\*\*  $p<0.001$ ).

Brustpresse) von „Baseline“ zu „Progression“, von „Progression“ zu „Reduktion“ und von „Reduktion“ zu „Increase“ zusammengefasst. Abbildung 2 zeigt die prozentualen Unterschiede der isometrischen Kraftanpassungen, aufsummiert für alle drei Übungsformen.

Klar erkennbar sind die ausgeprägten, signifikanten Steigerungen der isometrischen Maximalkräfte ( $p<0.01$ ) (Abbildung 2; X-Achse Base zu Prog) für alle drei Gruppen ( $n=34$ ; Von „Baseline“ zu „Progression“) in allen drei Übungen. Von Progression zu Reduktion kam es zwar zu einer signifikanten Reduktion (mind.  $p<0.01$ ) der prozentualen Anpassung in allen Gruppen jedoch in keiner Gruppe zu einem Abfall der Kraftfähigkeit (Betrifft alle Kraftwerte). Da dies auch die Kontrollgruppe betrifft, die zwischen Progression und Studienende (bis nach „Increase“) mit konstantem Volumen weitertrainierte, gehen wir hier von einem reduktionsunabhängigen und generellen Sättigungseffekt durch das konstante Training (in allen Gruppen) in der Progressionsphase aus. Hier erkennt man zusätzlich, dass auch die Phase des gesteigerten Volumens in Gruppe 10 und 25 keinen Einfluss im Sinne einer erhöhten Kraftanpassung nach der Krafttrainingsreduktion hat. Eine entsprechende Reduktion der Anpassungsfähigkeit der Skelettmuskulatur als Folge von frequenter wurde bereits von uns beobachtet (Jacko et al., 2022) und ist auf biologischer Ebene insbesondere damit in Zusammenhang zu bringen, dass Strukturen des Sarkomers wie Filamin C (Ulbricht et al., 2015) und Desmin (Jacko et al., 2020) sich bei einer erhöhten Expression negativ auf die mTOR-regulierte Trainingsanpassung auswirken. Der Sättigungseffekt ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Sarkomeranpassung (ohne manifeste Hypertrophie) zurückzuführen, die, solange diese Anpassung weiterbesteht, nur durch eine Erhöhung der Intensität wieder initiiert werden kann. Die Ergebnisse der Blutmetabolomics zeigten weder über den gesamten Studienzeitraum (Pre-Post) noch zu den einzelnen Zeitpunkten zwischen den Phasen und Gruppen signifikante Änderungen des Blutmetaboloms. Kernergebnis ist daher, dass sich das über „Dried Blood Spots“ detektierbare Metabolom im Blut durch Veränderungen des

Krafttrainingsvolumens nicht verändert bzw. nicht im Blut unter Ruhebedingungen messbar ist. Das Metabolit 3-methyl Histidin, welches auf einen Abbau von Sarkomerproteinen hindeutet, zeigt jedoch einen Trend (nicht signifikant) zu verringerten Leveln bei Gruppe 25 und Gruppe 10 im Vergleich zu KG. Dies könnte darauf hinweisen, dass die verringerte Krafttrainingsbeanspruchung, wenn auch nur moderat, zu einem verminderten Proteinturnover oder zu einem geringeren Grad an myofibrillärer Schädigung und Proteinabbau geführt hat.

## Diskussion

Eine dreiwöchige Reduktion des Krafttrainingsvolumens im laufenden Trainingsprozess um 10% bzw. 25% bewirkt keine Verminderung der allgemeinen und spezifischen Kraftfähigkeiten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Zusätzlich führt eine abrupte, dreiwöchige Erhöhung des Krafttrainingsvolumens um 20 bzw. 50% nachfolgend zu keiner Erhöhung der Kraftfähigkeiten. Dieser Effekt bezieht sich jedoch nur auf eine frequente und progressive Vorbelastung durch mehrwöchiges Krafttraining und kann nicht auf andere Szenarien übertragen werden. Eine mehrwöchige, progressive Krafttrainingsbelastung erzeugte daher einen gruppenübergreifenden Sättigungseffekt der Kraftanpassung, der sowohl deren Verringerung durch Reduktion als auch deren Erhöhung durch Erhöhung des Trainingsvolumens supprimiert hat. Das Blutmetabolom zeigte keine gesicherte und gerichtete Anpassung die mit einer Volumenmodulation durch Krafttraining in Verbindung gebracht werden konnte.

Wir schlussfolgern aus diesen Befunden, dass eine Reduktion des Krafttrainingsumfanges von bis zu 25% im fortlaufenden Trainingsprozess umgesetzt werden kann, ohne dass die Kraftfähigkeit beeinträchtigt wird. Dies unter der Voraussetzung, dass eine mehrwöchige adaptationssteigernde Trainingsphase durch wiederholtes Krafttraining vorgeschaltet wurde. Eine entsprechende Reduktion eignet sich ganz spezifisch, um in Blocktrainingsphasen, bei denen neben dem Krafttraining weitere Inhalte in

höherer Dichte trainiert werden müssen, das energetische Potenzial der Athletinnen und Athleten zu schonen. Das Blutmetabolom reflektiert höchstwahrscheinlich keine Änderungen des Krafttrainingsvolumens unter Ruhebedingungen, weil der generelle Effekt einer solchen Modulation zu gering ist, um sich strukturell auf den Skelettmuskel, spezifisch auf auf Protein-auf- oder -abbau auszuwirken. Die Analyse des Blutmetaboloms unter der gegebenen Fragestellung ist sportwissenschaftlich zwar relevant, jedoch scheint dessen Detektion unter Ruhebedingungen von einer sehr geringen Effektstärke geprägt zu sein.

## Literatur

- Jacko, D., Bersiner, K., Schulz, O., Przyklenk, A., Spahiu, F., Höhfeld, J., Gehlert, S. (2020). Coordinated alpha-crystallin B phosphorylation and desmin expression indicate adaptation and deadaptation to resistance exercise-induced loading in human skeletal muscle. *AJP: Cell Physiology*, 319(2), C300–C312. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00087.2020>.
- Jacko, D., Schaaf, K., Masur, L., Windoffer, H., Aussieker, T., Schiffer, T., Gehlert, S. (2022). Repeated and Interrupted Resistance Exercise Induces the Desensitization and Re-Sensitization of mTOR-Related Signaling in Human Skeletal Muscle Fibers. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(10), 5431. <https://doi.org/10.3390/ijms23105431>.
- Nader, G. A. (2006). Concurrent Strength and Endurance Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(11), 1965–1970. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233795.39282.33>.

Ulbricht, A., Gehlert, S., Leciejewski, B., Schiffer, T., Bloch, W., & Höhfeld, J. (2015). Induction and adaptation of chaperone-assisted selective autophagy CASA in response to resistance exercise in human skeletal muscle. *Autophagy*, 11(3), 538–546. <https://doi.org/10.1080/15548627.2015.1017186>.

# Sportliches Talent aus systemdynamischer Perspektive

AZ 070509/22-23

*Andreas Hohmann (Projektleiter), Maximilian Siener und Joshua Behr<sup>1</sup>*

Universität Bayreuth, Bayreuth Center of Sport Science (Bayspo)

## 1 Problem

Das Thema Talent hat eine lange und erfolgreiche Forschungstradition in der deutschen Sportwissenschaft. Aktuell besteht ein zentrales Forschungsdesiderat darin, das seit den 1980er-Jahren in die (inter)nationalen Modelle der Talententwicklung eingeflossene systemische und dynamisch-prozessuale Verständnis von sportlichem Talent auch auf einer methodisch-statistischen Ebene umzusetzen.

Eine dynamisch-weite Auslegung und Betrachtung von Talent und die dadurch notwendigen Querschnittsstudien über längerfristige Leistungsverläufe junger Talente gibt es derzeit kaum (Baker, et al., 2020; Bergkamp et al., 2019; Verbeek et al., 2023). Um hier einen Fortschritt zu ermöglichen, wurde in der jüngeren Vergangenheit eine verstärkt längsschnittlich angelegte und dominant prognoseorientierte Talentforschung gefordert und auf dieser Basis wurden einzelfallorientierte und primär auf den sportlichen Entwicklungsprozess bezogene Vorgehensweisen vorgeschlagen. Zuletzt sind diese Vorschläge in komplexen systemdynamischen Forschungskonzepten gemündet (den Hartigh et al., 2016; Zibung & Conzelmann, 2013; Zuber, Zibung & Conzelmann, 2016) und haben nicht-linearmustererkennende Prognoseverfahren (Heazlewood, 2016; Siener, Faber & Hohmann, 2021) einbezogen.

Im vorliegenden Projekt wurden diese konzeptionellen und forschungsmethodischen Vorschläge auf die individuelle Analyse der Nach-

wuchsleistungssportkarrieren von 13 national und zum Teil auch bereits international erfolgreichen Topathleten (N = 9) und -athletinnen (N = 4) übertragen.

Das Ziel der Studie besteht darin, die individuellen Entwicklungsindikatoren (Motivation, Verletzungen, Unterstützung etc.) im Kontext persönlicher Leistungsentwicklungsverläufe hinsichtlich ihrer funktionalen und auch dysfunktionalen Einflussgrößen auf die Gesamtleistung bis hin zum Hochleistungssportler zu erheben und auszuwerten. Die Befunde können anschließend Aufschluss geben über mögliche förderliche oder auch hinderliche Faktoren der Talententwicklung sowie darüber, welche Faktoren in welchen Zeitintervallen entscheidenden Einfluss auf individuelle Entwicklungssprünge oder Leistungsstagnationen haben könnten.

## 2 Methoden

Die untersuchten Nachwuchssportlerinnen und -sportler repräsentieren elf olympische Einzel- und Teamsportarten und befinden sich aktuell im Junioren- und frühen Erwachsenenalter (U23). Einschlusskriterium sind leistungssportliche Erfolge auf mindestens nationaler Ebene, d.h. Finalteilnahmen und/oder Siegleistungen bei Deutschen oder internationalen Meisterschaften.

Methodisch liegt dem Projekt ein Mixed-Methods-Design aus qualitativen und quantitativen Analyseverfahren zugrunde:

<sup>1</sup> Als Kooperationspartner in konzeptionellen und forschungsmethodischen Fragen haben Prof. Dr. Ruud den Hartigh (Universität Groningen, NED) und seine Lehrstuhlmitarbeiter am Projekt teilgenommen, denen unser herzlicher Dank für ihre wertvollen Vorschläge und Hinweise gilt. Ferner möchten wir uns auch bei unserem Bayreuther Projektteam Luis Tom Kränlein, Mark Michel und Lucas Ollmann für ihre wertvolle Unterstützung bedanken.

1. In einem ersten Schritt wurde die individuelle langfristige Leistungsentwicklung von jeder einzelnen Athletin/ jedem einzelnen Athleten mithilfe einer 20-stufigen Erfolgsskala (hierzu ausf. Hohmann, Fehr, Siener & Hochstein, 2017) eigenständig bewertet und grafisch in eine standardisierte Verlaufsskizze überführt. Diese Leistungsentwicklungskurve diente in Form einer quantitativen Zeitreihe als Grundlage der Einzelfallauswertung.
2. In einem zweiten Schritt wurde mit jeder Athletin/ jedem Athleten ein 90- bis 120-minütiges leitfadengestütztes Interview zur retrospektiven Beschreibung und Erläuterung der eigenen Leistungssportkarriere durchgeführt, elektronisch aufgezeichnet und transkribiert.
3. Im dritten Schritt diskutierte ein Expertinnen- und Expertenteam jedes der 13 Transkripte, um die Einzelaussagen (meaning units) zu persönlich erlebten, funktionalen und dysfunktionalen Karriereeinflüssen inhaltlich abzugrenzen und thematisch zu systematisieren. Die geordneten Einzelaussagen wurden dann softwaregestützt (Max-QDA) zu sechs übergreifenden Einflusskategorien verdichtet: (1) Trainerin- oder Trainereinfluss, (2) Unterstützungssystem (Familie, Schule, Verein, Verband, Sporthilfe, Sponsoren etc.), (3) Training, (4) Wettkampf, (5) Motivation und (6) Hindernisse in Form von Verletzungsepisoden. Diese sechs Kategorien wurden als Abschluss der Interviewauswertung durch das Projektteam mithilfe einer 15-stufigen Skala (gemäß dem Schulnotensystem) über den gesamten Karriereverlauf hinweg in halbjährlichen Abständen in Bezug auf ihre jeweils zeitlich aktuelle Einflusshöhe auf den jeweiligen Leistungsentwicklungstand quantifiziert.
4. Der vierte Arbeitsschritt beinhaltete die zeitreihenanalytische Datenauswertung für jeden einzelnen Karriereverlauf. Dazu wurden zwei alternative mathematisch-statistisch Prozeduren (SPSS, Version 28.0) angewandt: einerseits wurde die Leistungs-

verlaufszeitreihe (abhängige Variable) auf der Basis der sechs Prädikatorenzeitreihen mit Hilfe einer linearen (multivariaten) Regression und andererseits mithilfe eines nichtlinearen neuronalen Netzwerks (multilayer perceptron) modelliert. Über diese zunächst statisch, d.h. auf die gesamte Leistungsentwicklungskurve gerichtete Analyse hinaus wurde in einem weitergehenden, dynamisch angelegten Auswertungsschritt die phasenweise unterschiedliche Einflusshöhe der sechs Einflussfaktoren in den Blick genommen. Dazu wurde die prozessuale Zeitreihe der Leistungsentwicklung in gleitende Fenster (sliding windows) mit einer jeweiligen Länge von vier Jahren (d.h. jeweils acht halbjährige Datenpunkte) abschnittsweise aufgeteilt. Für jeden Abschnitt der Leistungsentwicklungskurve (window 1 bis n) wurden dann die jeweils acht Datenpunkte ( $t_1-t_8, t_2-t_9$  usw.) mithilfe eines neuronalen Netzwerks (multilayer perceptron) modelliert und dabei die relative Wichtigkeit der sechs Karriereeinflussfaktoren bestimmt.

### 3 Ergebnisse

Im Ergebnis des Forschungsprojekts wurde über die Identifikation der sechs leistungswirksamen Kategorien (einschließlich der zugrunde liegenden Einzelmerkmale) hinaus für jeden der 13 Topathleten und -athletinnen mithilfe des linearen und nichtlinearen Verfahrens eine mittlere (60-80 Prozent) bis hohe (80-100 Prozent) Varianzaufklärung der Leistungsentwicklungskurve erzielt. Zudem wurden mithilfe der gleitenden Zeitfenstertechnik die drei etappenspezifisch wichtigsten Einflussfaktoren identifiziert und in ein persönliches Karriereschaubild überführt, das die Leistungsentwicklung und Einflussfaktoren zusammengefasst illustriert (Abb. 1). Dabei ist besonders die im Projekt herausgearbeitete systemdynamische Individualität der Karriereschaubilder hervorzuheben, die sich aus dem prozessualen Zusammenspiel der personalen (Training, Wettkampf, Motivation, Verletzung) und umweltbezogenen (Coach, Förderung) Karriereeinflüsse ergibt.

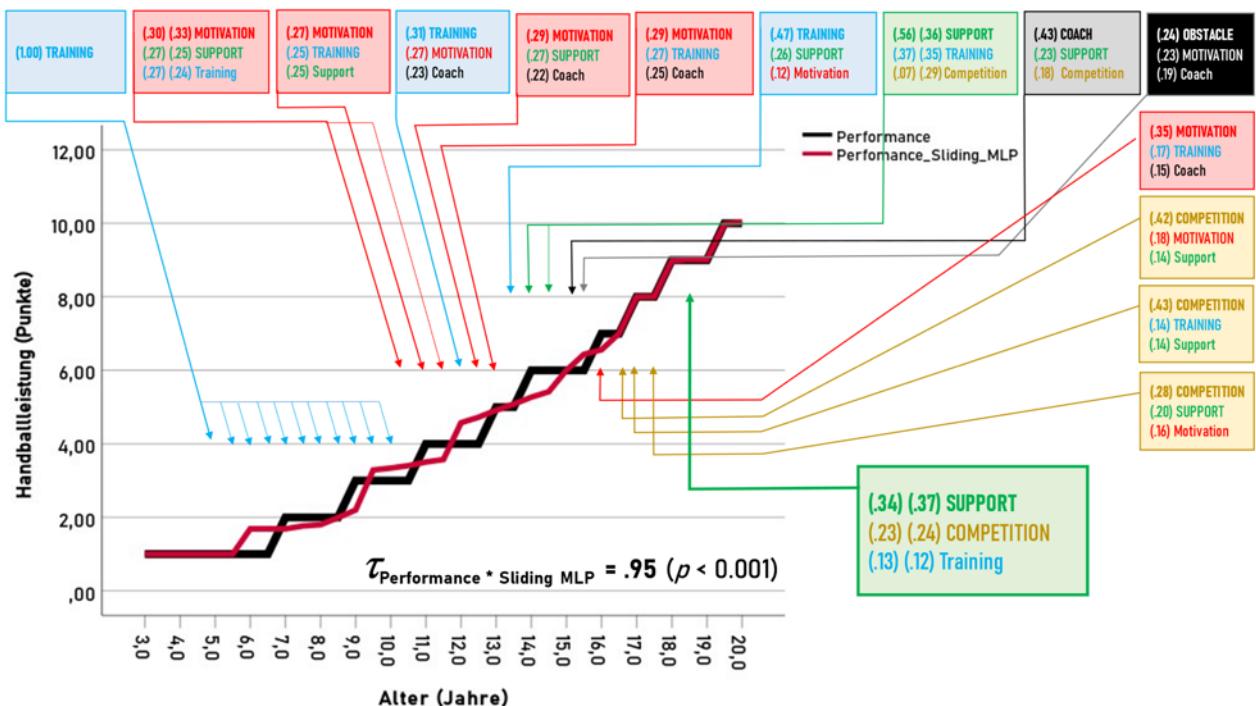


Abb. 1: Die innerhalb der über die gesamte Leistungsentwicklungscurve hinweg gleitenden, vierjährigen Zeitfenster wichtigsten drei Karriereeinflussgrößen im Verlauf der Nachwuchsleistungssportkarriere des Handballers.

## 4 Diskussion

Zusammenfassend hat sich im Forschungsprojekt „Sportliches Talent aus systemdynamischer Perspektive“ der einzelfallorientierte und retrospektiv-prozessual konzipierte Forschungsansatz mit einem Mixed-Methods-Design aus qualitativem Interview und quantitativer Zeitreihenanalyse (einschließlich des Verfahrensverbunds aus linearer Regressionsanalyse und nichtlinearem neuronalen Netzwerk) als gewinnbringend erwiesen.

Die Karrierewirksamkeit der sechs – auch im jeweils einschlägigen Forschungsstand als leistungsbedeutsam hervorgehobenen – Einflussfaktoren wurden durchweg als leistungsbedeutsam bestätigt.

Im Hinblick auf die praktischen Konsequenzen des Projekts lässt sich schlussfolgern, dass für den Nachwuchsleistungssport in Deutschland eine individuell differenzierte und zeitlich engmaschige, strategische Athletenberatung und operative Betreuung erfolgsbezogen eher zielführend sind als eine „one size fits all“-Karriereplanung.

## 5 Literatur

Baker, J., Wilson, S., Johnston, K., Dehghansai, N., Koenigsberg, A., Vegt, S. de, & Wattie, N. (2020). Talent research in sport 1990–2018: A scoping review. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.607710>.

Bergkamp, T., Niessen, A., den Hartigh, R., Frencken, W., & Meijer, R. (2019). Methodological Issues in Soccer Talent Identification Research. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 49(9), 1317–1335. doi: 10.1007/s40279-019-01113-w.

Den Hartigh, R.J.R., Hill, Y., & van Geert, P.L.C. (2018). The Development of Talent in Sports: A Dynamic Network Approach, Complexity, Article ID 9280154. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9280154>.

Heazlewood, I., Walsh, J., Climstein, M., Kettunen, J., Adams, K., & DeBeliso M. A. (2016). Comparison of Classification Accuracy for Gender Using Neural Networks Multilayer Perceptron (MLP), Radial Basis Function (RBF) Procedures Compared to Discriminant Function Analysis and Logistic Regression Based on Nine Sports Psychological Constructs to Measure Motivations to Participate in Masters Sports Competing at the 2009 World Masters Games. In: P. Chung, A. Soltoggio, C.W. Dawson, Q. Meng, & M. Pain (Hrsg.), Proceedings of the 10th International Symposium on Computer Science in Sports (ISCSS). Advances in Intelligent Systems and Computing (pp. 93–101). Cham: Springer International Publishing.

Hohmann, A., Fehr, U., Siener, M., & Hochstein, S. (2017). Talentscreening und Talentorientierung. Leistungssport, 47(4), 11-13.

Siener, M., Faber, I., & Hohmann, A. (2021). Prognostic Validity of Statistical Prediction Methods Used for Talent Identification in Youth Tennis Players Based on Motor Abilities. Applied Sciences, 11, 7051.  
<https://doi.org/10.3390/app11157051>.

Zibung, M. & Conzelmann, A. (2013). The role of specialisation in the promotion of young football talents: A person-oriented study. European Journal of Sport Science, 13(5), 452-60. DOI: 10.1080/17461391.2012.749947.

Zuber, C., Zibung, M., & Conzelmann, A. (2016). Holistic patterns as an instrument for predicting the performance of promising young soccer players—A 3-years longitudinal study. Frontiers in Psychology, 7(1088). doi: 10.3389/fpsyg.2016.01088.

# Entwicklung und Evaluation einer exzentrischen Krafttrainingsintervention für das Schultergelenk bei Handballern

AZ 070601/22-23

*Hans-Peter Köhler, Sebastian Vetter und Maren Witt*

Universität Leipzig, Sportwissenschaftliche Fakultät, Abteilung Sportbiomechanik

Schlüsselwörter: exzentrisches Training, Prävention

## Problemstellung

Große Bewegungsamplituden und repetitive Belastungen führen zu einer hohen Verletzungsanfälligkeit der Schulter (Baltaci & Tunay, 2004). Während in Disziplinen ohne Gegnereinwirkung wie Baseball oder Speerwurf die Schulter zu den am häufigsten verletzten Strukturen zählt, ist die Schulter im Handball am dritthäufigsten betroffen (VBG, 2019). Neben den Ursachen, die in den Belastungsanforderungen zu suchen sind, haben vor allem auch Defizite im Bereich der Kraft und Beweglichkeit der Schulter einen Einfluss auf das Verletzungsrisiko (Doyscher et al., 2014). Zwar existieren Präventionsprogramme, die diese Probleme adressieren, jedoch ist deren Wirksamkeit stark umstritten (Achenbach et al., 2022, handball-specific Western Ontario Shoulder Index (WOSI)). Dies liegt unter anderem auch daran, dass die Belastungen der eigentlichen Wurfbewegung deutlich über dem Maß derartigen Übungen liegen (Köhler et al., 2022). Abhilfe versprechen hier exzentrische Trainingsformen, da diese in der gleichen Kontraktionsform arbeiten, wie sie auch in Schlagwürfen vorkommt. Ziel der Untersuchungen war es daher, die Auswirkung einer exzentrischen Trainingsintervention auf die Kraft und Beweglichkeitsparameter bei Nachwuchshandballern zu untersuchen.

## Untersuchungsmethoden

An der Hauptstudie nahmen 29 männliche Nachwuchshandballer ( $18,0 \pm 1,6$  Jahre;  $186,8 \pm 6,3$  cm;  $84,8 \pm 11,3$  kg) der örtlichen U20-Bundesliga- und U23-Mannschaft teil. Die Sportler wurden gemäß ihren Spielpositionen zufällig

der Interventions- und Kontrollgruppe zugewiesen. Die Kontrollgruppe wurde als aktive Kontrollgruppe gestaltet. Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Universität Leipzig genehmigt (362/21-ek). Alle Probanden bzw. deren Erziehungsberechtigte gaben nach einer Aufklärung ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der Studie.

## Untersuchungsdesign

Interventions- und Kontrollgruppe durchliefen eine sechswöchige Interventionsphase, wobei beide Gruppen ein Training für die Außenrotatoren der Schulter absolvierten, das im Umfang (2 Trainingseinheiten, 5 Serien, 10 Wiederholungen) pro Woche gleich gestaltet wurde (Abb. 1). Die Interventionsgruppe durchlief ein rein exzentrisches Trainingsregime, das gerätegestützt an einem isokinetischen Dynamometer (BTE Primus RS, BTE Technologies, Hanover, USA) absolviert wurde. Die aktive Kontrollgruppe absolvierte demgegenüber ein Übungsprogramm mit Kurzhanteln und Gummibändern und einer konzentrisch fokussierten Übungsausführung, welches an das Athletikkonzept des DHB angelehnt wurde (Groeger et al., 2019). Die Intervention wurde für beide Gruppen in das Training integriert.

## Untersuchungsablauf

Die Kraft- und Beweglichkeitstests wurden an einem isokinetischen Dynamometer (IsoMed 2000, D&R Ferstl, Hemau, Deutschland) durch-

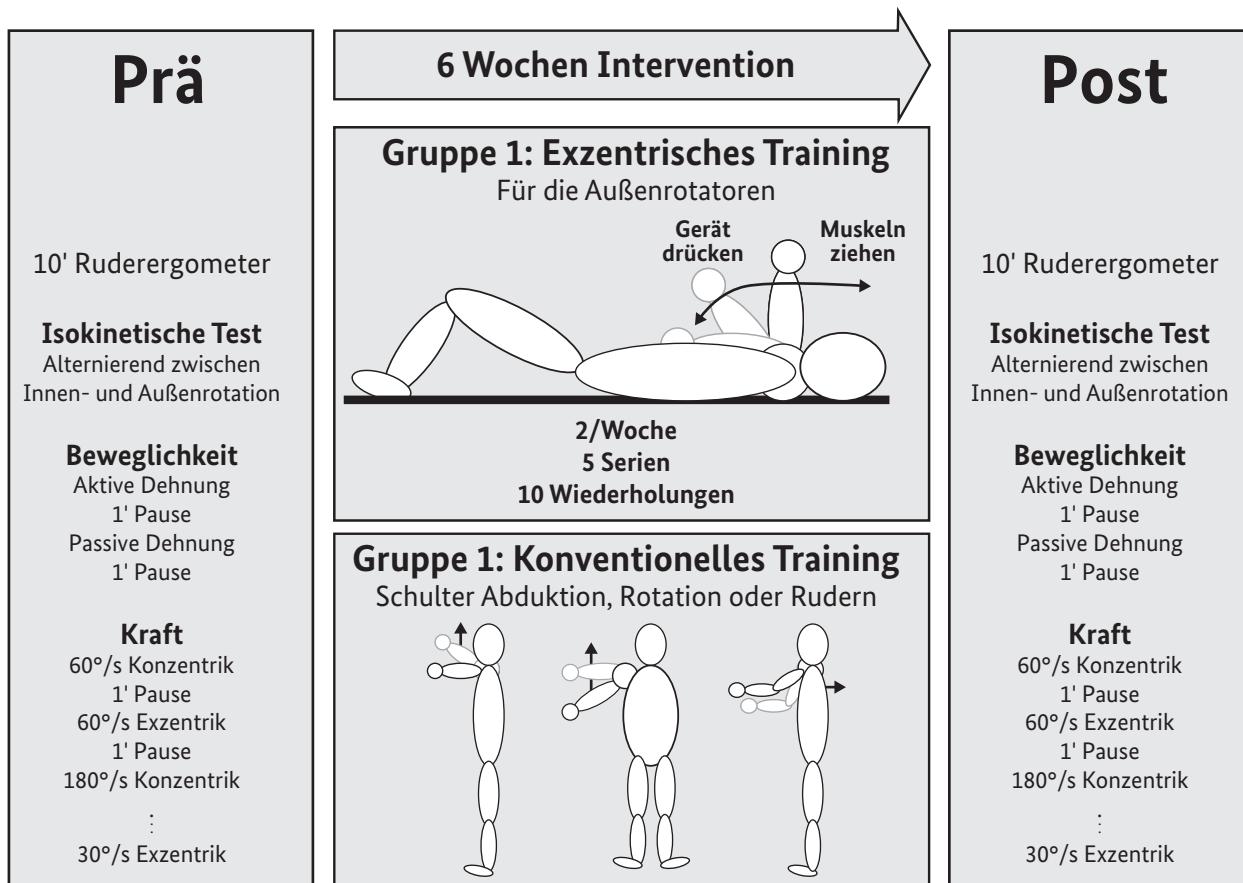


Abb. 1: Studiendesign der Studie mit den Inhalten der unterschiedlichen Messzeitpunkte und den Interventionsformen für beide Untersuchungsgruppen.

geführt. Es wurde nur die trainierte bzw. dominante Schulter getestet. Nach einer 10-minütigen Aufwärmphase erfolgte die Fixierung der Probanden in Rückenlage in einer Position von 90° Schulterabduktion und 90° Ellenbogenbeugung (Schleichardt et al., 2018). In dieser Position erfolgten aktive und passive Dehnungstests sowie Krafttests bei 60°/s und 30°/s, getrennt nach exzentrischer und konzentrischer Kontraktionsform, alternierend zwischen Innen- und Außenrotation. Zwischen den einzelnen Tests folgte eine Pause von einer Minute. Pro Bewegungsrichtungs-, Kontraktionsform- und Geschwindigkeitskombination wurden fünf Versuche durchgeführt, wobei die letzten drei in die Auswertung einflossen.

Der aktive Dehtest bestand ebenfalls aus fünf Wiederholungen, bei denen zwischen Innen- und Außenrotation gewechselt wurde. Die maximale Bewegungsamplitude (ROM) wurde als der Wert erfasst, bei dem die Sportler nicht mehr in der Lage waren, mit den Antagonisten der zu dehnenden Muskulatur eine Erhöhung der

Bewegungsamplitude (Winkel) zu erreichen. Die passive Beweglichkeit wurde durch das Dynamometer geführt. Dabei wurde der Sportler mit einer Geschwindigkeit von 10°/s in die jeweilige Position gedrückt. Die maximale ROM wurde entweder bei einem Grenzwert von 100° Innenrotation bzw. 140° Außenrotation oder wenn der passive Widerstand der Gelenkstrukturen den Grenzwert von 9 Nm erreicht. Die Daten am Dynamometer wurden mit 200 Hz aufgezeichnet.

### Statistik

Die aus den Kraftdaten extrahierten Werte des maximalen und mittleren Drehmoments wurden im Anschluss auf Unterschiede geprüft (SPSS v.27, IBM, Armonk, New York, USA). Die deskriptiven Ergebnisse basierten auf Mittelwerten und der Standardabweichung ( $\pm$ ). Teilnehmer wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen, wenn die z-transformierten Werte mindestens 2,5 erreichten. Um Gesamtunterschiede herauszufinden, wurde eine multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung

(MANOVA) durchgeführt. Als Faktoren dienten dabei die variablen Gruppe (Interventions- vs. Kontrollgruppe), Geschwindigkeit (60°/s und 30°/s) und Kontraktionsform (konzentrisch und exzentrisch). Post-hoc-Analysen wurden mit einer univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) sowie t-Tests durchgeführt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde für alle Tests einheitlich auf  $\alpha = 0.05$  festgelegt.

## Ergebnisse

Für die Kraftentwicklung der trainierten Außenrotatoren zeigte die Analyse von Gruppe x Zeit x Modus x Geschwindigkeit einen Haupteffekt für den Faktor Zeit ( $\Lambda = .699$ ;  $F_{2,22} = 4.74$ ;  $p = .019$ ;  $\eta^2 = .301$ ), einen Interaktionseffekt für Zeit x Modus ( $\Lambda = .699$ ;  $F_{2,22} = 4.74$ ;  $p = .019$ ,  $\eta^2 = .301$ ) und einen Interaktionseffekt für die Faktoren Zeit x Geschwindigkeit ( $\Lambda = .691$ ,  $F_{2,22} = 4.92$ ;  $p = .017$ ;  $\eta^2 = .309$ ), aber nicht für Zeit x Gruppe ( $\Lambda = .832$ ;  $F_{2,22} = 4.74$ ;  $p = .132$ ;  $\eta^2 = .168$ ). Die Post-hoc-Analyse ergab eine Gruppe x Zeit-Interaktion beim Spitzendrehmoment und damit einen Trainingseffekt für die trainierte exzentrische Bedingung ( $F_{1,23} = 3,628$ ,  $p = .035$ ;  $\eta^2 = .136$ ). Der Haupteffekt Zeit zeigte gruppenunabhängige signifikante Unterschiede von Prä- zu Posttest ( $F_{1,23} = 4.82$ ,  $p = .038$ ,  $\eta^2 = .173$ ). Die Analysen zu den Innenrotatoren ergaben keine signifikanten Veränderungen in allen Parametern. Die Post-hoc-Analyse für die Interventionsgruppe zeigte jedoch, dass die exzentrische und konzentrische Kraft im 60°/s-Spitzendrehmoment zunahm (Tab. 1). Die Beweglichkeitsanalysen ergaben keinen Interaktionseffekt für den passiven Dehnungstest der Außenrotatoren ( $\Lambda = .945$ ;  $F_{2,22} < 1$ ;  $p = .054$ ;  $\eta^2 = .055$ ). Auch die aktive ROM ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt für die Faktoren Gruppe x Zeit ( $F_{1,23} < 1$ ;  $p = .773$ ;  $\eta^2 = .004$ ). Die Innenrotatoren wiesen keine Interaktionseffekte in den Beweglichkeitsparametern ( $\Lambda = .932$ ;  $F_{2,22} < 1$ ;  $p = .460$ ;  $\eta^2 = .068$ ) und keine weiteren Unterschiede in den Post-hoc-Analysen auf (Tabelle 1).

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Intervention deutliche Veränderungen der exzentrischen Kraft erzielt werden können. Die Kraftzunahme fällt zwar geringer aus als bei einer gleichen Intervention bei Sportstudierenden (+24%, Vetter et al., 2023), jedoch muss berücksichtigt werden, dass bei den Handballern aufgrund ihrer sportlichen Aktivität von einem anderen Ausgangsniveau ausgegangen werden muss. Weiterhin zeigt die exzentrische Kraftzunahme deutliche Unterschiede zur Kontrollgruppe. Demgegenüber zeigen weder die aktive noch die passive Beweglichkeit Veränderungen. Dies steht im Kontrast zu der bisher angenommenen, multifaktoriellen Wirkungsweise des exzentrischen Trainings auf Kraft- und Beweglichkeitsparameter (Vetter et al., 2022). Die Autoren konnten dabei jedoch nur Studien für die unteren Extremitäten in das Review einschließen. Bereits Camago et al. (2014) weisen darauf hin, dass ein gezieltes Beweglichkeitstraining der Rotatorenmanschette mittels exzentrischem Training Probleme mit sich bringt.

Es bleibt festzuhalten, dass mit einem gezielten exzentrischen Training der Außenrotatoren eine Verbesserung der Kraft in beiden Kontraktionsformen erreicht werden kann. Es ist deshalb davon auszugehen, dass auch in dynamischen Bewegungen eine verbesserte Stabilisierung der Schulter und somit eine Reduzierung des Risikos von Überlastungsschäden erreicht werden kann. Es müssen daher gezielt exzentrische, praxisnahe Trainingsprogramme für die Anwendung in der Sportart entwickelt werden, die ein Training ermöglichen, das gleiche Effekt erzielt. Gleichzeitig müssen diese Programme deutlich besser unter den Bedingungen des sportlichen Trainings anzuwenden sein, um deren Einsatz zu vereinfachen und somit die Möglichkeit für eine verbesserte Prävention von Schulerverletzungen zu ermöglichen.

Parameter	Intervention					Kontrolle					Gruppen-Differenz	
	Prätest	Posttest	Δ%	p	d	Prätest	Posttest	Δ%	p	d		p
<b>Exzentrische Kraft (Nm)</b>												
Mittleres Drehmoment	30°/s	30,79 (7,66)	34,38 (9,68)	11,66	,053	,465	25,95 (5,72)	26,27 (6,65)	1,27	,777	,101	,121
	60°/s	34,91 (6,85)	38,02 (7,48)	8,91	,022	,593	28,12 (5,29)	30,27 (8,29)	7,65	,293	,334	,330
Spitzen-drehmoment	30°/s	39,56 (9,32)	45,63 (11,13)	15,34	,011	,692	35,63 (6,28)	35,93 (6,10)	0,84	,777	,088	,035
	60°/s	44,06 (7,64)	49,31 (6,77)	11,92	,002	,950	37,03 (7,24)	40,57 (7,67)	9,56	,062	,632	,253
<b>Konzentrische Kraft (Nm)</b>												
Mittleres Drehmoment	30°/s	23,24 (4,56)	24,47 (6,49)	5,29	,152	,286	20,10 (4,55)	20,81 (4,77)	3,53	,341	,302	,394
	60°/s	26,48 (5,38)	27,97 (6,04)	5,63	,064	,435	22,52 (4,16)	23,25 (4,80)	3,24	,367	,285	,299
Spitzen-drehmoment	30°/s	30,98 (5,98)	33,31 (7,51)	7,52	,077	,404	27,38 (4,40)	27,55 (5,37)	0,62	,835	,064	,145
	60°/s	34,09 (6,94)	36,48 (6,45)	7,01	,032	,539	29,33 (4,95)	29,44 (5,54)	0,38	,931	,027	,110
<b>Beweglichkeit (Innenrotation)</b>												
Active stretch	aROM (°)	69,88 (6,85)	70,35 (10,93)	0,67	,410	,062	72,46 (14,11)	72,68 (12,93)	0,30	,451	,038	,464
Passive Dehnung	pROM (°)	79,55 (10,03)	77,54 (11,27)	-2,53	,179	,255	82,00 (9,09)	83,25 (11,25)	1,52	,356	,292	,116

Tabelle 1: Ergebnisse der Post-hoc-Vergleiche. Die Spalten geben die absoluten Werte vor und nach dem Test an und in Klammern die Werte für die Standardabweichung für jede Gruppe, die prozentuale Veränderung (Δ%) und die signifikanten Prä-Post-Unterschiede innerhalb der Gruppen (p) (Kraftwerte normalisiert auf die Körpermasse). Nm, Newtonmeter; ROM, maximaler Bewegungsumfang; °, Winkelgrad; °/s, Grad pro Sekunde (Bewegungsgeschwindigkeit).

## Literatur

- Achenbach, L., Huppertz, G., Zeman, F., Weber, J., Luig, P., Rudert, M., & Krutsch, W. (2022). Multicomponent stretching and rubber band strengthening exercises do not reduce overuse shoulder injuries: a cluster randomised controlled trial with 579 handball athletes. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001270>.
- Baltaci, G., & Tunay, V. B. (2004). Isokinetic performance at diagonal pattern and shoulder mobility in elite overhead athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(4), 231–238. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00348.x>.
- Camargo, P. R. (2014). Eccentric training as a new approach for rotator cuff tendinopathy: Review and perspectives. *World Journal of Orthopedics*, 5(5), 634. <https://doi.org/10.5312/wjo.v5.i5.634>.
- Doyscher, R., Kraus, K., Finke, B., & Scheibel, M. (2014). Akutverletzungen und Überlastungsschäden der Schulter im Sport. *Der Orthopäde*, 43(3), 202–208. <https://doi.org/10.1007/s00132-013-2141-x>.
- Groeger, D., Beppler, J., Braun, J., Luig, P., Overkamp, S., Ribbecke, T., & Wudke, E. (2019). Athletikkonzept des DHB - Version 1.0. Philippka-Sportverlag.
- Köhler, H.-P., Hepp, P., & Witt, M. (2022). Quantifizierung der Belastungen des Muskel-Band-Apparats im Schultergelenk von Speerwerfern. *Obere Extremität*, 17(1), 27–33. <https://doi.org/10.1007/s11678-021-00674-5>.
- Schleichardt, A., Köhler, H.-P., Ueberschär, O., Büsch, D., & Fichtner, I. (2018). Erprobung eines Kraft- und Beweglichkeitstests zur Diagnose von Risikofaktoren für Schulterverletzungen – dargestellt am Beispiel von jugendlichen Handballern. In M. Rauscher & M. Witt (Eds.), *dvs-Tagung Biomechanik, Biomechanik & Kognition* (pp. 76–84). Lehmanns Media.
- VBG. (2019). VBG-Sportreport 2019. VBG. [http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/VBG-Sportreport\\_2019.pdf?blob=publicationFile&v=5](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/VBG-Sportreport_2019.pdf?blob=publicationFile&v=5) am 11.03.2020.
- Vetter, S., Hepp, P., Schleichardt, A., Schleifbaum, S., Witt, M., Roth, C., & Köhler, H.-P. (2023). Effect of isokinetic eccentric training on the human shoulder strength, flexibility, and muscle architecture in physically active men: A preliminary study. *PLOS ONE*, 18(12), e0293439. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293439>.
- Vetter, S., Schleichardt, A., Köhler, H.-P., & Witt, M. (2022). The Effects of Eccentric Strength Training on Flexibility and Strength in Healthy Samples and Laboratory Settings: A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 13(April), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.873370>.



# Sozial- und Verhaltenswissenschaften



# Figurationen des Schmerzmitteleinsatzes im Spitzensport – Regulierungsmuster und Interdependenzgeflechte (Fidelis-Studie)

AZ 070301/21-24

Jannika M. John<sup>1</sup>, Jan Bursik<sup>1</sup>, Jochen Mayer<sup>2</sup>, Felix Kühnle<sup>3</sup>, Christoph Burgstahler<sup>4</sup>, Anna Reußner<sup>1</sup>, Ansgar Thiel<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Eberhard Karls Universität Tübingen, Institut für Sportwissenschaft

<sup>2</sup> PH Schwäbisch Gmünd, Institut für Gesundheitswissenschaften

<sup>3</sup> TU Darmstadt, Institut für Sportwissenschaft

<sup>4</sup> Universitätsklinikum Tübingen, Abteilung Sportmedizin

<sup>5</sup> Deutsche Sporthochschule Köln

## 1 Einleitung

Schmerzen und Verletzungen werden in der Forschung als nahezu unvermeidbare Begleiterscheinungen des Leistungssports beschrieben (z.B. Reußner et al., 2024; Theberge, 2008). Sie gehen mit erheblichen gesundheitlichen Risiken für Sportlerinnen und Sportler einher, insbesondere wenn empfohlene und notwendige Regenerations- und Rehabilitationspausen nicht eingehalten werden. Nichtsdestotrotz lässt sich eine hohe Bereitschaft zur Teilnahme an Wettkämpfen trotz gesundheitlicher Beschwerden unter Leistungssportlerinnen und -sportler beobachten (Bursik et al., under review; Mayer et al., 2018; Roderick et al., 2000). Bereits im Nachwuchsbereich zeigte die GOAL-Studie (Thiel et al., 2011) mit jugendlichen Bundeskaderathletinnen und -athleten, dass die Hälfte der Nachwuchskaderathletinnen und -athleten selbst bei starken Gelenkschmerzen in Ruhe keinen Grund für eine Wettkampfabsage sah. Ein Viertel der Befragten gab sogar an, Schmerzen zu verheimlichen, um am Wettkampf teilnehmen zu dürfen (Mayer et al., 2018). Auch internationale qualitative Analysen mit Nachwuchskaderathletinnen und -athleten und erwachsenen Spitzensportlerinnen und -Sportler deuten darauf hin, dass die Verheimlichung von Schmerzen im professionellen und auch semiprofessionellen Sport fast den Regelfall darstellt (Overbye, 2021; Theberge, 2008).

Gerade dass Schmerzen nicht objektiv bestimmbar und nicht unbedingt sichtbar sind, kann eine Bagatellisierung durch Athletinnen und Athleten, Trainerinnen und Trainer, Funktionärinnen und Funktionäre und auch medizinisches Personal begünstigen. Die Bagatellisierung von Schmerzen wiederum birgt die Gefahr eines zu frühen Einsatzes nach Verletzungen, der Umgehung präventiver und rehabilitativer Leitlinien und nicht zuletzt des unangemessenen Einsatzes von Schmerzmitteln (Mayer, 2010). Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass bereits im Jugendalter fast die Hälfte aller in der GOAL-Studie befragten Nachwuchsatletinnen und -athleten die Einnahme von Schmerzmitteln als sehr gut mit Wettkampf und Training vereinbar ansieht (Thiel et al., 2011; Thiel et al., 2017). Die Dunkelziffer derer, die im Spitzensport regelmäßig Schmerzmittel einnehmen, dürfte jedoch deutlich über 50 Prozent liegen (Pedersen et al., 2022).

Der Spitzensportball ist aufgrund seines Belastungsprofils und des harten Körperkontakts ein geradezu idealtypisches Beispiel für eine Untersuchung der Schmerzbewältigung und ihrer Bedingungen. Hinsichtlich der Schmerzbewältigung deuten mediale Aussagen ehemaliger Handballprofis zwar auf eine weit verbreitete Einnahme von Schmerzmitteln hin, das tatsächliche Ausmaß des Schmerzmittelkonsums sowie die Beschaffungs- und Anwendungsmuster von

Schmerzmitteln sind jedoch noch weitgehend unerforscht. Vor diesem Hintergrund beschäftigte sich das vorliegende Forschungsprojekt mit folgenden Fragen:

1. Welche Muster des Schmerzmittelkonsums lassen sich im Spitzensport beobachten?
2. Wie wirken sich Beziehungskonstellationen zwischen Athletinnen und Athleten, Trainerinnen und Trainern und medizinischem Personal auf den Schmerzmittelkonsum im Spitzensport aus?

## 2 Methodik

Zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen wurde ein multi-methodisches Vorgehen gewählt. Es wurden in beiden Studienteilen neben deutschen Spitzensportlerinnen und -sportlern auch Trainerinnen und Trainern, Ärztinnen und Ärzten und Physiotherapeutinnen und -therapeuten befragt.

### 2.1 Datenerhebung und Datenanalyse

#### 2.1.1 Quantitativer Studienteil

Die quantitative Datenerhebung wurde im Zeitraum vom 01.10.2021 bis 01.04.2022 mittels eines Online-Fragebogens zur Einsatzhäufigkeit und Art eingenommener Schmerzmedikamente durchgeführt. Neben epidemiologischen Basisinformationen sollten insbesondere Hoch- und Niedrigrisikogruppen für einen hohen und kritischen Schmerzmitteleinsatz ermittelt werden. Daher wurden auch mögliche Bedingungsfaktoren für den Schmerzmitteleinsatz (z.B. Geschlecht, Alter, Leistungsniveau, Gesundheitszustand, wahrgenommener Erwartungsdruck, Perfektionismus, athletische Identität) erhoben. Zudem sollte herausgefunden werden, von wem die Medikamente bezogen werden und in welchem Ausmaß Wissen über die Wirkungsweisen und Nebenwirkungen vorhanden ist. Die statistische Auswertung wurde mittels Verfahren der deskriptiven und multivariaten Statistik und explorativen Algorithmen durchgeführt.

#### 2.1.2 Qualitativer Studienteil

Die qualitative Datenerhebung wurde im Zeitraum vom 14.02.2022 bis 31.03.2023 durchgeführt. Untersucht wurden Athletinnen und Athleten der A-Nationalmannschaft und deren Umfeldakteure (Trainerinnen und Trainern, Physiotherapeutinnen und -therapeute und Ärztinnen und Ärzte). Bei der Erhebung der Athletinnen und Athleten wurden biografische Mappings (Thiel et al., 2020) eingesetzt, um eine Karriereverlaufsperspektive zu gewährleisten. Die Athletinnen und Athleten sollten dabei ihre Spitzensportkarriere biografisch rekonstruieren. Anhand dieser Rekonstruktion wurde der Verlauf verschiedener Dimensionen (z.B. Ausmaß des Schmerzmitteleinsatzes) über die Spitzensportkarriere hinweg erfasst. Die Datenerhebung der Umfeldakteure wurde mittels eines semi-strukturierten Interviewleitfadens durchgeführt. Dabei wurden neben dem Einsatz von Schmerzmitteln weitere Prozesse im Umgang mit Schmerzen und Verletzungen im Spitzensport erhoben. Die qualitativen Daten wurden mit einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring & Fenzl (2019) ausgewertet.

## 2.2 Studienteilnehmende

#### 2.2.1 Quantitativer Studienteil

Insgesamt nahmen 1404 Handballerinnen und Handballer mit einer Beendigungsquote von 27,9% (n = 391) und 295 Umfeldakteure mit einer Beendigungsquote von 27,1% (n = 80; davon 38 Trainerinnen und Trainer, 36 Physiotherapeutinnen und -therapeuten und 12 Ärztinnen und Ärzte, wobei eine Person alle drei Funktionsrollen angab und jeweils 2 eine Doppelrolle aus Ärztin/Arzt und Trainerin/Trainer und Physiotherapeutin/Physiotherapeut und Trainerin/Trainer erfüllten) an der Online-Umfrage teil. Bei den Spielerinnen und Spielern stammen 32 aus den A-Nationalmannschaften, 16 aus den Mannschaften der U21/20, 28 aus der U19 beziehungsweise U18 und 25 aus den Kadern der Altersklassen U17/U16.

### 2.2.2 Qualitativer Studienteil

Für die qualitativen Interviews wurden 11 Handballerinnen und Handballer der A-Nationalmannschaften rekrutiert (6 männlich, 5 weiblich). Die Stichprobe der Umfeldakteure setzt sich zusammen aus 11 Ärztinnen und Ärzte, 12 Physiotherapeutinnen und -therapeuten und 10 Trainern. Die Dauer der Interviews mit den Athletinnen und Athleten betrug im Durchschnitt 86 Minuten und mit den Umfeldakteurinnen und -akteuren 47 Minuten.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Quantitativer Studienteil

Die Handballerinnen und Handballer bewerteten ihren aktuellen gesundheitlichen Zustand mehrheitlich als sehr gut, obwohl 22,8% angaben, derzeit aufgrund einer Verletzung oder Krankheit zu pausieren. Gesundheit wird von den Spielerinnen und Spieler nicht nur mit Wohlbefinden ( $M = 4,5$ ) und körperlicher Funktionalität ( $M = 4,5$ ) assoziiert, sondern auch mit Leistungsfähigkeit ( $M = 4,3$ ). Schmerzen, die infolge von intensiven und guten Trainings- oder Wettkampfleistungen auftreten, werden daher oft als positiv wahrgenommen.

Insgesamt gaben 70,7% der Spielerinnen und Spieler an, bereits Schmerzmittel im Zusammenhang mit dem Sport eingenommen zu haben. Besonders im Seniorenbereich ist der Schmerzmittelkonsum verbreitet, was darauf hindeutet, dass der Kontakt zu Schmerzmitteln mit zunehmendem Alter steigt. Durchschnittlich wurden Schmerzmittel bei jedem fünften Spiel und jedem zehnten Training konsumiert, wobei Männer, ältere Spieler, Vertragsspieler und Rotationsspieler häufiger Schmerzmittel einnahmen als ihre jeweiligen Gegenstücke (siehe auch John et al., 2023).

Die am häufigsten verwendeten nichtsteroidalen Antirheumatika (NSAR) in der letzten Saison waren Ibuprofen (98,8%), gefolgt von Diclofenac/Voltaren (48,6%), Paracetamol (31,6%) und Acetylsalicylsäure (15,4%). Dabei zeigte sich, dass

das Wissen der Spielerinnen und Spieler über die Nebenwirkungen dieser Präparate größtenteils unzureichend ist. Die Beratung zu Schmerzmitteln erfolgte hauptsächlich durch Eltern und Ärztinnen und Ärzte, während der Bezug der Medikamente am Spieltag häufig eigenständig durch die Spielerinnen und Spieler erfolgte, was dem Umfeld oft nicht bewusst war.

Während Ärztinnen und Ärzte Schmerzmittel überwiegend bei akuten Verletzungen oder Krankheiten verschrieben, kam es vereinzelt auch zu Empfehlungen durch Trainerinnen und Trainer. Neben einer Schmerzmitteleinnahme aufgrund von ärztlichen Anweisungen nahmen Spielerinnen und Spieler Schmerzmittel auch präventiv vor Pflichtspielen (21,8%) und Trainingseinheiten (11,8%) ein. Die Auswertung anhand der Randomized-Response-Technik ergab, dass etwa ein Viertel der Handballerinnen und Handballer gelegentlich Schmerzmittel präventiv einnimmt, um die eigene Leistung zu steigern.

Unter den 231 Athletinnen und Athleten (MAlter = 19,8 Jahre; nweiblich = 139; nmännlich = 92), die Schmerzmittel in Selbstmedikation einnahmen, um Schmerzen oder Verletzungen eigenständig zu behandeln, identifizierte die Entscheidungsbaumanalyse ein Hochrisikoprofil für therapeutische Selbstmedikation bei älteren Handballspielerinnen und -spieler (74,9%). Das Niedrigrisikoprofil besteht aus jüngeren Handballspielerinnen, die zusätzlich eine geringe Bereitschaft zeigten, verletzt zu spielen (43,1%) (siehe auch Bursik et al., 2024).

Unter den 91 Athletinnen und Athleten (MAlter = 20,1 Jahre; nweiblich = 42; nmännlich = 49), die präventive Selbstmedikation im Training oder Wettkampf betrieben (Einnahme von Schmerzmitteln in Eigenregie zur Verhinderung potenzieller Schmerzen), identifizierte die Entscheidungsbaumanalyse ein Hochrisikoprofil für präventive Selbstmedikation bei Spielerinnen und Spieler über 17 Jahren, die hohe Werte im Subfaktor „negative Affektivität der athletischen Identität“ erzielten und ihre Leistungsfähigkeit in der letzten Saison als hervorragend oder gut einschätzten. In dieser Gruppe lag die Prävalenz

für präventive Selbstmedikation bei 65,5%. Das Niedrigrisikoprofil für den präventiven Einsatz von Schmerzmitteln charakterisiert Spielerinnen und Spieler im Alter von 17 Jahren oder jünger, die sich als Stammspielerinnen und -spieler wahrnahmen und weniger als zwölf Stunden pro Woche trainierten. In diesem Profil betrug die Prävalenz für präventive Selbstmedikation 6,6% (siehe auch Bursik et al., 2024).

### 3.2 Qualitativer Studienteil

Die qualitative Analyse liefert umfassende Einblicke in die Wahrnehmung und den Umgang mit Schmerzmitteln aus der Perspektive verschiedener Akteursgruppen im Spitzensport. Dabei zeigt sich eine komplexe und teils widersprüchliche Wahrnehmung.

Athletinnen und Athleten berichteten von einem breiten Spektrum des Schmerzmittelgebrauchs, das von keinem bis zu intensivem Konsum reichte. „Also meine Mannschaft damals, da haben schon einige immer Ibu genommen, einfach, ich weiß nicht, ob die jetzt Schmerzen hatten oder so. Bei mir war es hauptsächlich wirklich, ich bin erschöpft, müde oder ich habe Muskelkater“ (Athletin). Einige Athletinnen und Athleten nahmen Schmerzmittel regelmäßig ein, ohne sich der potenziellen Risiken vollständig bewusst zu sein. Athletinnen und Athleten berichteten, dass Schmerzmittel vor allem dann eingesetzt wurden, wenn der Druck hoch war, etwa in wichtigen Spielen oder Turnieren. Die Einnahme geschah oft unreflektiert und unabhängig von akuten Schmerzen, sondern präventiv, um möglichen Beschwerden vorzubeugen oder die Leistungsfähigkeit zu erhalten. Diese Praxis deutet auf eine Normalisierung des Schmerzmittelgebrauchs hin, die auch in der allgemeinen Spitzensportkultur verankert sein könnte.

Trainer waren sich der Verbreitung von Schmerzmitteln im Sport bewusst, wobei ihre Einstellungen dazu variierten. Während einige Trainer den Einsatz von Schmerzmitteln als notwendig erachteten, um die Leistungsfähigkeit der Spielerinnen und Spieler aufrechtzuerhalten und das Team im Wettkampf zu unterstützen, zeigten

andere eine zurückhaltendere Haltung. „Ja also, ich glaube, jetzt aus meiner Trainersicht, wenn ich das wüsste, dass ich einen Spieler habe, der auch nur noch mit Ibu trainiert. Also, das haben wir nicht. Ich, dann würde ich was sagen, weil das ist für mich kein Zustand“ (Trainer). Letztere betonten die Risiken und waren vorsichtiger in ihrer Kommunikation mit den Spielerinnen und Spielern. Die Wahrnehmung der Trainer hing oft mit ihrer eigenen sportlichen Vergangenheit und ihren persönlichen Erfahrungen im Umgang mit Verletzungen zusammen. Trainer, die negative Erfahrungen mit Schmerzmitteln während ihrer eigenen Sportkarriere gemacht hatten, neigten dazu, vorsichtiger zu sein und alternative Behandlungsweisen zu fördern.

Ärztinnen und Ärzte standen dem Schmerzmittelkonsum im Handball kritisch gegenüber, da er häufig ohne ihre direkte Kontrolle erfolgt. Sie äußerten Bedenken hinsichtlich der fehlenden medizinischen Überwachung, besonders wenn Schmerzmittel zur Prävention und nicht zur Behandlung akuter Beschwerden eingesetzt werden. Ärztinnen und Ärzte berichteten zudem, dass es schwierig ist, den tatsächlichen Schmerzmittelgebrauch der Athletinnen und Athleten zu beurteilen, da dieser oft in Eigenregie oder auf Anraten von nicht-medizinischem Personal erfolgt. „Die Dunkelziffer ist da, wie in allen Sportarten, sehr groß. Also, ich glaube eben, es wird sehr viel in Eigenregie genommen“ (Ärztin). Dennoch scheinen sich die medizinischen Standards und die Sensibilisierung für die Risiken im Laufe der Jahre verbessert zu haben, was zu einem gewissen Rückgang des unkontrollierten Schmerzmittelkonsums geführt hat.

Physiotherapeutinnen und -therapeuten nahmen den Schmerzmittelgebrauch als verhältnismäßig gering wahr, waren sich jedoch bewusst, dass viele Spielerinnen und Spieler privat auf Schmerzmittel zurückgreifen, um Beschwerden zu lindern. Ihre Hauptaufgabe galt den langfristigen gesundheitlichen Folgen und der möglichen Abhängigkeit von Schmerzmitteln. Sie betonten die Notwendigkeit eines integrierten Ansatzes, der auf Prävention, alternativen Schmerzmanagementtechniken und einer engen Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten basiert.

Zusammenfassend zeigt die qualitative Analyse, dass der Umgang mit Schmerzmitteln im Handball von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst wird wie individuellen Einstellungen, sportlichem Druck und dem Grad der Aufklärung über gesundheitliche Risiken. Es besteht ein klarer Bedarf an umfassenden Präventionsstrategien, die die Sensibilisierung aller Akteure verstärken und den bewussten, sicheren Umgang mit Schmerzmitteln fördern.

## 4 Diskussion

Die vorliegende Studie beleuchtet die weit verbreitete Nutzung von Schmerzmitteln unter Sportlerinnen und Sportlern und zeigt, dass 70,7% der befragten Handballspielerinnen und -spieler während ihrer Karriere Schmerzmittel im Zusammenhang mit ihrer sportlichen Betätigung eingenommen haben. Diese hohe Prävalenz deutet darauf hin, dass Schmerzmittel eine gängige Strategie zur Bewältigung von Schmerzen und Verletzungen im Sport darstellen.

Ein wichtiger Aspekt der Ergebnisse ist die signifikant höhere Prävalenz des Schmerzmitteleinsatzes bei älteren Athletinnen und Athleten im Vergleich zu jüngeren. Ältere Athletinnen und Athleten haben eine achtmal höhere Wahrscheinlichkeit, Schmerzmittel während ihrer Karriere verwendet zu haben. Dies könnte auf die kumulative Belastung durch jahrelanges Training und Wettkämpfe zurückzuführen sein, die zu chronischen Schmerzen und Verletzungen führen kann. Darüber hinaus könnte die höhere Schmerzmitteleinnahme bei älteren Athletinnen und Athleten auch mit einem gesteigerten Leistungsdruck verbunden sein, da sie möglicherweise versuchen, ihre sportliche Karriere zu verlängern, indem sie Schmerzen unterdrücken, um weiterhin auf hohem Niveau zu konkurrieren (vgl. Mayer et al., 2018).

Herauszustellen ist in Bezug auf die Gründe für eine Schmerzmitteleinnahme, dass etwa ein Viertel der Handballerinnen und Handballer in dieser Stichprobe angaben, Schmerzmittel präventiv vor einem Spiel einzusetzen. Dies geschah, um eventuell auftretenden Schmerzen

im Spiel gelassen begegnen zu können und in einigen Fällen, um die eigene Leistung zu steigern. Hinter dem präventiven Schmerzmitteleinsatz könnte der Wunsch stehen, potenzielle Schmerzempfindungen zu unterdrücken, um physische Grenzen auszutesten und zu überwinden (Warner et al., 2002). Zusätzlich gaben 62% der Spielerinnen und Spieler an, Schmerzmittel in therapeutischer Selbstmedikation zu verwenden. Demnach scheint die Verwendung von Schmerzmitteln den Spielerinnen und Spieler ein Gefühl von Sicherheit und Kontrollierbarkeit, auch in der Abwesenheit ärztlicher Aufsicht, zu vermitteln (Bursik et al., 2024). Die Selbstmedikation mit Schmerzmitteln erlaubt es den Spielerinnen und Spieler, physische Irritationen, einschließlich schmerzhafter Situationen beim Spiel oder Wettkampf, zu kaschieren und persönliche sowie soziale Konflikte durch die eigenständige Behandlung dieser Schmerzen zu bewältigen (Overbye, 2021; Theberge, 2008).

Insbesondere die qualitativen Ergebnisse zeigen, dass der Schmerzmittelkonsum im Handballsport ein komplexes Phänomen ist, das alle beteiligten Akteure – von Athletinnen und Athleten über Trainerinnen und Trainer bis hin zu medizinischem Personal – vor erhebliche Herausforderungen stellt. Schmerzmittel werden oft als notwendig betrachtet, um trotz Verletzungen, Erschöpfung oder Schmerzen weiterhin auf hohem Niveau spielen zu können. Dabei treten jedoch Spannungsfelder auf, die sowohl die körperliche Gesundheit als auch die moralische Verantwortung aller Beteiligten betreffen. Im Leistungssport besteht ein erheblicher Druck auf Athletinnen und Athleten, konstant gute Leistungen zu erbringen, selbst wenn dies körperliche Schmerzen oder Verletzungen zur Folge hat (Mayer et al., 2018). Schmerzmittel, insbesondere nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR), sind in diesem Kontext oft nicht nur ein medizinisches Hilfsmittel, sondern auch eine Möglichkeit, die hohen Belastungen des Spitzensports scheinbar leichter zu bewältigen (Bursik et al., 2024).

In den komplexen Bedingungskonstellationen scheinen insbesondere Trainerinnen und Trainer eine entscheidende Rolle zu spielen, da sie

direkten Einfluss auf das Verhalten ihrer Spielerinnen und Spieler haben und oft das Leitbild für den Umgang mit Schmerzmitteln vorgeben (vgl., Joncheray et al., 2022; Overbye, 2021). In einigen Fällen wird der Konsum von Schmerzmitteln durch Trainerinnen und Trainer gefördert oder zumindest toleriert, vor allem in Situationen, in denen der Fokus stark auf Leistung liegt. Es gibt jedoch auch Trainerinnen und Trainer, die den übermäßigen Konsum von Schmerzmitteln ablehnen und ihre Spielerinnen und Spieler dazu anhalten, alternative Strategien zur Schmerzbewältigung zu entwickeln. Trainerinnen und Trainer tragen somit eine hohe Verantwortung, nicht nur die Leistung ihrer Athletinnen und Athleten zu fördern, sondern auch deren körperliches Wohl langfristig zu schützen (vgl. Dijkstra et al., 2014). Insgesamt fällt bei den qualitativen Ergebnissen auf, dass alle Akteure die Einnahme von Schmerzmitteln als riskante Praxis wahrnehmen, aber trotzdem den Einsatz von Schmerzmitteln immer wieder als notwendig im Spitzensport darstellen. Dies zeigt deutlich, welche inneren Konflikte und Spannungen in Bezug auf Gesundheit alle beteiligten Akteure in einem Umfeld erleben, in dem sie letztendlich an sportlicher Leistung gemessen werden (John et al., 2024).

## 5 Ableitbare Praxiskonsequenzen

Die Ergebnisse legen nahe, dass der Deutsche Handball Bund weiterhin einen bewussteren Umgang mit Schmerzmitteln fördern sollte. Um Handballerinnen und Handballer deutschlandweit bestmöglich zu erreichen, sollte eine Aufklärungskampagne über Social Media in Erwägung gezogen werden. Videos und Posts, die in erster Linie zur grundlegenden Informationsvermittlung dienen, können in kurzen Formaten über wichtige Punkte aufklären und auf ausführlichere Ressourcen verweisen. Thematisch bietet sich hier eine Schwerpunktsetzung auf Risiken der Schmerzmitteleinnahme und alternative Möglichkeiten des Umgangs mit Schmerzen an. In diese Kampagnen könnten bekannte ehemalige oder aktive Persönlichkeiten aus

dem deutschen Handball eingebunden werden. Erste Fact Sheets und Videomaterialien wurden im Rahmen des Projekts gemeinsam mit dem Deutschen Handballbund entwickelt.

Weitere Transfermaßnahmen können gezielt auf die in der Analyse identifizierten Hochrisikogruppen zugeschnitten werden. So sollten Spielerinnen und Spieler der Profiligen durch geschultes Personal (z.B. Sportpsychologinnen und -psychologen) vermehrt bei den Themen Leistungsdruck und eingeengter athletischer Identität unterstützt werden. Für Spielerinnen und Spieler an der Grenze zum Profisport empfiehlt es sich, eine verbesserte Betreuung durch medizinisches Personal anzubieten, da aus dieser Gruppe besonders viele Teilnehmende in der vorangegangenen Saison Schmerzmittel eingenommen hatten und die spätere Bereitschaft zur Schmerzmittelanwendung gerade in dieser Phase entsteht.

Eine kontinuierliche Ausbildung und Aufklärung der Umfeldakteure im Handball ist zusätzlich umzusetzen. Dies kann bestenfalls in kleineren Gruppen bei Lehrgängen, Workshops oder Diskussionsrunden geschehen. Zum einen sollten insbesondere Trainerinnen und Trainer eingehend über die (Langzeit-)Nebenwirkungen der am gängigsten konsumierten Schmerzmittel aufgeklärt werden. Außerdem sollte die Selbstmedikation der Handballerinnen und Handballer thematisiert werden, da diese von den Umfeldakteuren grundlegend unterschätzt zu werden scheint. Da die gängig eingenommenen Schmerzmittel in Apotheken für die Spielerinnen und Spieler frei verfügbar sind, erscheint die Informationsverbreitung über Risiken und Nebenwirkungen durch Ärztinnen und Ärzte und Trainerinnen und Trainer besonders wichtig. Des Weiteren sollten Umfeldakteure über die identifizierten Hochrisikogruppen für eine vorbeugende und therapeutische Einnahme von Schmerzmitteln in Selbstmedikation aufgeklärt werden. So können Trainerinnen und Trainer und das medizinische Personal gezielt auf ebenjene Spielerinnen und Spieler zugehen und über negative Folgen eines eigenständigen und habitualisierten Schmerzmittelkonsums aufklären.

Letztlich empfiehlt es sich, Richtlinien zu entwickeln, die den verantwortungsvollen Einsatz von Schmerzmitteln definieren. Des Weiteren bietet es sich an, konkrete Prämissen auch für den Ablauf von gesundheitsbezogenen Entscheidungen zu erarbeiten und festzuhalten. Hier können Kommunikations- und Entscheidungsabläufe in Bezug auf den Umgang mit Schmerzen und Verletzungen klar abgebildet und allen Akteuren im Handball zur Verfügung gestellt werden, damit gesundheitsbezogene Entscheidungen verantwortungsbewusst und mit dem gesundheitlichen Wohl der Spielerinnen und Spieler im Vordergrund getroffen werden können.

## Literatur

- Bursik, J., John, J. M., Thiel, A., & Kühnle, F. (2024). Risk profiles for self-medication with analgesics among elite German handball players. *International review for the sociology of sport*.
- Bursik, J., Thiel, A., Mayer, J., & John, J. M. (under review). The role of psychosocial factors in performing hurt: A systematic review covering the high-performance domains of sport, music, and dance. *International Review for Sport and Exercise Psychology*.
- Dijkstra, H. P., Pollock, N., Chakraverty, R., & Alonso, J. (2014). Managing the health of the elite athlete: a new integrated performance health management and coaching model. *British journal of sports medicine*, 48(7), 523-531.
- John, J. M., Bursik, J., Burgstahler, C., Büsch, D., Luig, P., Kühnle, F., Mayer, J., Reußner, A., & Thiel, A. (2023). Prevalence of sport-related analgesic use in German elite handball players. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 74(5), 168-174.
- John, J. M., Wachsmuth, S., & Thiel, A. (2024). „Either or“ or „as well as“: Exploring the relation between health and performance throughout the career pathways of elite athletes, musicians, and mathematicians. *Sport, Exercise and Performance Psychology*.
- Joncheray, H., Chavinier-Réla, S., Burlot, F., Dalgalarrodo, S., & Fukazawa-Couckuyt, S. (2022). Experiences of normalization of pain and injury in elite adolescent basketball. *Sociology of sport journal*, 40(1), 69-77.
- Mayer, J. (2010). Verletzungsmanagement im Spitzensport. *Forum Sportwissenschaft*, Band: 20. Czwalina.
- Mayer, J., Giel, K. E., Malcolm, D., Schneider, S., Diehl, K., Zipfel, S., & Thiel, A. (2018). Compete or rest? Willingness to compete hurt among adolescent elite athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, 35, 143-150.
- Mayring, P., & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse, pp. 633-648. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Overbye, M. (2021). Walking the line? An investigation into elite athletes' sport-related use of painkillers and their willingness to use analgesics to train or compete when injured. *International review for the sociology of sport*, 56(8), 1091-1115.
- Pedersen, J. R., Andreucci, A., Thorlund, J. B., Koes, B., Møller, M., Storm, L. K., & Bricca, A. (2022). Prevalence, frequency, adverse events, and reasons for analgesic use in youth athletes: A systematic review and meta-analysis of 44,381 athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 25(10), 810-819.
- Reußner, A., Kühnle, F., Thiel, A., & John, J.M. (2024). The meaning of injury to the elite athlete. A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, 71, 102571. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102571>.

Roderick, M., Waddington, I., & Parker, G. (2000).

Playing hurt: Managing injuries in English professional football. International review for the sociology of sport, 35(2), 165-180.

Theberge, N. (2008). „Just a normal bad part of what I do“: Elite athletes' accounts of the relationship between health and sport. Sociology of sport journal, 25(2), 206-222.

Thiel, A., Diehl, K., Giel, K. E., Schnell, A., Schubring, A. M., Mayer, J., Zipfel, S., & Schneider, S. (2011). The German young Olympic athletes' lifestyle and health management study (GOAL Study): Design of a mixed-method study. BMC public health, 11, 1-10.

Thiel, A., Gropper, H., John, J.M., Keppler, V., & Mayer, J. (2020). bioMAP – Development of a software for the retrospective analysis of biopsychosocial health trajectories in elite sport. <http://dx.doi.org/10.15496/publikation-38957>.

Thiel, A., Schneider, S. & Mayer, J. (2017). „Competing hurt“ als Herausforderung für die medizinische Betreuung im Nachwuchstennis – Erkenntnisse aus der GOAL-Study. Leistungssport, 47(4), 14-18.

Warner, D. C., Schnepf, G., Barrett, M. S., Dian, D., & Swigonski, N. L. (2002). Prevalence, attitudes, and behaviors related to the use of nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) in student athletes. Journal of Adolescent Health, 30(3), 150-153.

# Individuelles Schlafmanagement im Nachwuchsleistungs- und Spitzensport (InSchlaf)

AZ 071002/21-23

*Sarah Jakowski, Asja Kiel, Lisa Kullik, Tim Birnkraut, Michael Kellmann*

Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sportwissenschaft, Lehr- und Forschungsbereich  
Sportpsychologie

## Einleitung und Problemstellung

Die Bedeutung des Schlafs für grundlegende körperliche Funktionen sowie die psychische und physische Gesundheit ist auch im Sport inzwischen hinlänglich bekannt, wobei gerade im Leistungssport überwiegend unzureichende Schlafqualität und -quantität berichtet werden (Gupta et al., 2017; Nédélec et al., 2018; Simpson et al., 2017). Ebenso haben die Befunde im Forschungsprojekt *Regenerationsmanagement im Spitzensport* (REGman) gezeigt, dass die Themen Schlaf und Erholung nach wie vor leistungsrelevante und optimierbare Aktivitäten darstellen (Hof zum Berge et al., 2020; Meyer et al., 2016). Die subjektive Schlafqualität sowie das Schlafverhalten sind bei zahlreichen Sportlerinnen und Sportlern regelmäßig und/oder in bestimmten Trainings- bzw. Wettkampfphasen beeinträchtigt. Dabei scheinen nicht nur äußere Faktoren, wie Trainings-/Wettkampfzeiten, (Interkontinental-)Reisen und ungewohnte Schlafumgebungen eine Rolle zu spielen (Nédélec et al., 2018), sondern auch dysfunktionale Verhaltensweisen, welche den Regenerationsprozess erschweren oder den Trainingseffekt mindern können (Halson & Lastella, 2017).

In der internationalen Literatur finden sich zahlreiche Empfehlungen für die Optimierung des Schlafverhaltens im Sport (Bonnar et al., 2018; Kölling et al., 2019; Simpson et al., 2017). Die Übertragbarkeit dieser Empfehlungen und Strategien auf den deutschen Spitzens- bzw. Nachwuchsleistungssport ist bisher noch nicht untersucht worden. Dabei ist die wissenschaftli-

che Evaluierung von Interventionsprogrammen besonders vor dem Hintergrund bedeutsam, dass auf dem freien Markt eine Vielzahl an vermeintlichen schlaffördernden Methoden und Equipments angeboten wird und Akteure des Spitzensports als Testimonials für die Glaubwürdigkeit dieser Produkte herangezogen werden. Gleichzeitig existieren bereits zahlreiche kommerzielle Technologien, die vermeintlich die Schlafqualität erfassen und zum Schlafmanagement genutzt werden können, aber den wissenschaftlichen Standards überwiegend nicht genügen (Bianchi, 2018; Choi et al., 2018).

Mit der Übersetzung des *Fragebogens zum Schlafverhalten von Sportlerinnen und Sportlern* (FSVS) von Driller et al. (2018) ist ein Diagnostik- und Beratungstool für die sportwissenschaftliche und -psychologische Betreuung sowie die Sportpraxis entwickelt worden (Hof zum Berge et al., 2022). Diesen gilt es nun in Bezug auf seine Praxistauglichkeit weiter zu untersuchen, um darüber hinaus konkrete Empfehlungen abzuleiten. In diesem Bericht werden Ergebnisse des Moduls 1 des Forschungsprojekts *Individuelles Schlafmanagement im Nachwuchsleistungs- und Spitzensport* (InSchlaf) auszugsweise präsentiert.

## Methodik

Für dieses Forschungsprojekt wurde aus verschiedenen Sportarten und Leistungsniveaus rekrutiert. Aus dem Leistungssport nahmen insgesamt  $n = 216$  Personen ( $M = 21,8 \pm 7,1$  Jahre) teil, die zum Großteil (87%) aus dem Individualsport (u. a. Schwimmen, Tanz, Judo) kamen. Die Mehrheit ( $n = 135$ ) waren Sportlerinnen. Die

Leistungssportstichprobe wurde in die Gruppen Individualsport Ü18 ( $n = 53$ ), Teamsport ( $n = 29$ ), ästhetischer Sport ( $n = 68$ ) und Schwimmen U18 ( $n = 66$ ) unterteilt. Eine weitere Stichprobe bestand mit  $n = 101$  aus Teilnehmenden des Freizeitsports ( $n = 45$  weiblich,  $M = 24,2 \pm 5,5$  Jahre), die ebenfalls überwiegend aus dem Individualsport kamen (59,4%).

Als Standard für ein einmaliges Screening bzw. für Baseline-Erhebungen wurden der FSVS und weitere Fragebögen der Schlafforschung zur Erfassung der Schlafqualität (Buysse et al., 1989) und der Tagesschläfrigkeit (Johns, 1991) eingesetzt. Der *Fragebogen zum Schlafverhalten von Sportlerinnen und Sportlern* (FSVS; Hof zum Berge et al., 2022) ist die deutsche Version des *Athlete Sleep Behavior Questionnaire* (ASBQ; Driller et al., 2018) und besteht aus 18 Aussagen, welche Schlafverhaltensweisen in den Bereichen Umweltfaktoren, Verhaltensaspekte und sportbezogene Aspekte erfassen. Der FSVS wurde entwickelt, um Herausforderungen im Hinblick auf das Schlafverhalten und dysfunktionale Schlafverhaltensweisen bei Leistungs- und Wettkampfsportlerinnen und -sportlern zu identifizieren. Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 90, wobei Werte  $\leq 36$  als ein *gutes* bzw. *günstiges Schlafverhalten* und Werte  $\geq 42$  als *ungünstiges Schlafverhalten* gewertet werden.

Der *Pittsburgh-Sleep-Quality-Index* (PSQI; Buysse et al., 1989) ist ein Selbstberichtsfragebogen, der die Schlafqualität retrospektiv über einen Zeitraum von vier Wochen erfasst. Mittels 19 individuellen Aussagen werden sieben Teilwerte generiert, bestehend aus der subjektiven Schlafqualität, der Einschlaflatenz, der Schlafeffizienz, der Schlafdauer, gestörtem Schlaf, dem Gebrauch von Schlafmedikation und Dysfunktionen am Tag. Für die Interpretation werden diese zu einem Gesamtscore aufaddiert (0 bis 21). Eine *gute Schlafqualität* liegt im Bereich von nicht mehr als 5 Punkten, Werte zwischen 6 und 10 deuten auf eine *schlechte Schlafqualität* hin und Werte über 10 auf *chronische Schlafprobleme*.

Die *Epworth Sleepiness Scale* (ESS; Johns, 1991) ist ein Kurzfragebogen zur Erfassung der sub-

jektiven Tagesschläfrigkeit, wobei acht Alltags-situationen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit bewertet werden, in diesen einzuschlafen (z. B. lesen in einem Stuhl, Fernsehen schauen oder als Beifahrer in einem Auto; 0 = *würde nie einschlafen* bis 3 = *würde mit großer Wahrscheinlichkeit einschlafen*). Der Gesamtscore kann Werte zwischen 0 und 24 annehmen. Eine *unauffällige Tagesschläfrigkeit* liegt im Wertebereich von 0 bis 5, eine *geringe Tagesschläfrigkeit* von 6 bis 10. Werte von 11 bis 12 deuten auf eine *leicht auffällige Tagesschläfrigkeit* hin, eine *moderat auffällige Tagesschläfrigkeit* wird bei Werten von 13 bis 15 angenommen. Eine *stark auffällige Tagesschläfrigkeit* liegt im Wertebereich von 16 bis 24.

## Ergebnisse

Der Gesamtscore des FSVS zeigte für die Leistungssportstichprobe sowie für die Freizeitsportstichprobe ( $M = 38,7 \pm 8,0$ ) ein *möglicherweise ungünstiges Schlafverhalten* an ( $M = 41,2 \pm 8,3$ ). Alle Teilgruppen des Leistungssports überschritten den Cut-off von 42 und berichteten demnach ein *ungünstiges Schlafverhalten*, während einzig die Jugendlichen aus dem Nachwuchsleistungsschwimmen einen geringeren Wert erzielten ( $M = 35,2 \pm 7,7$ ). Abbildung 1 stellt die Verteilung der einzelnen FSVS-Items getrennt nach den Kategorien *Leistungssport* und *Kein Leistungssport* dar. Wird in Anlehnung an Driller et al. (2018) ein Cut-off von 2 angewandt, zeichnen sich für die Leistungssportstichprobe die Themen *spätes Training/Wettkampf*, *Muskelschmerzen* und *Grübeln* ab, wobei die *Mediennutzung eine Stunde vor dem Zubettgehen* das auffälligste Verhalten darstellt. Auch die Angabe von *unterschiedlichen Schlafenszeiten mit mehr als einer Stunde Abweichung* wurde häufig gemacht.

Für die gesamte Stichprobe konnte mit  $M = 2,6 \pm 1,4$  eine *gute Schlafqualität* konstatiert werden. Die Tagesschläfrigkeit wurde zudem als gering eingestuft ( $M = 8,0 \pm 4,3$ ). Korrelationen zwischen dem FSVS-Gesamtscore und dem PSQI ergaben einen mittleren Zusammenhang ( $r = .49$ ,  $p < .001$ ), ebenso wie mit der ESS ( $r = .49$ ,  $p < .001$ ).

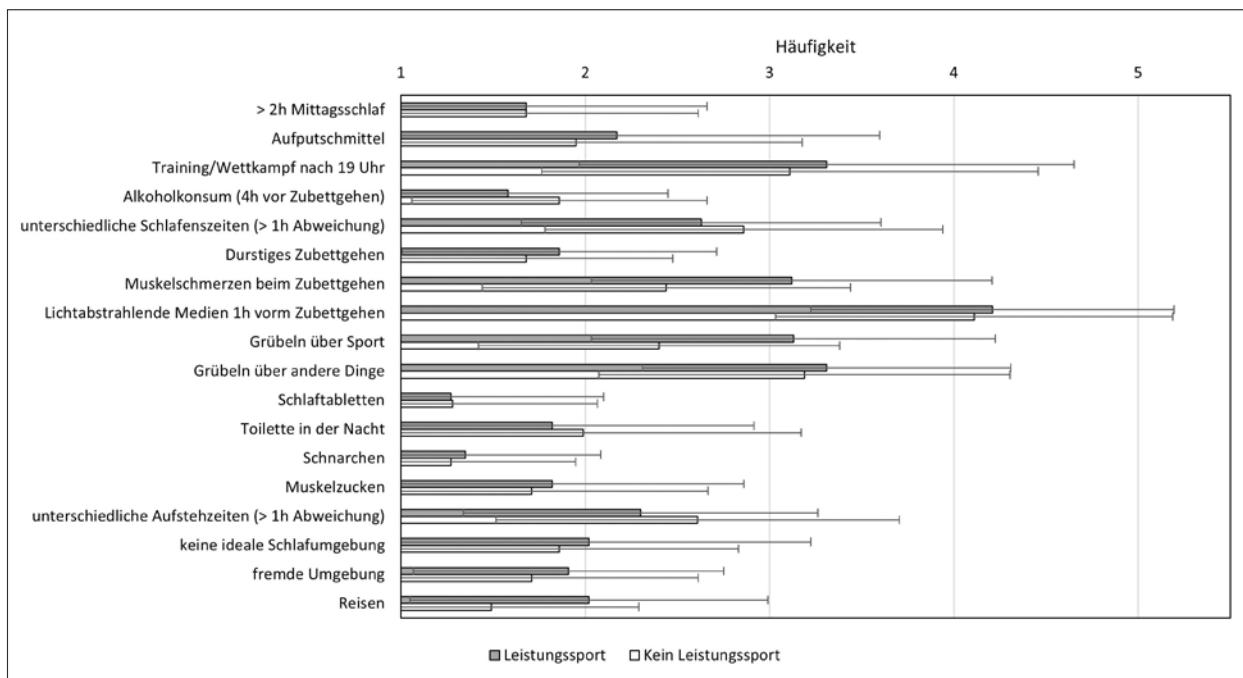


Abb. 1: Verteilung der FSVS-Items getrennt für *Leistungssport* und *Kein Leistungssport*.

Anmerkung: FSVS = Fragebogen zum Schlafverhalten für Sportlerinnen und Sportler; 1 = nie; 2 = selten; 3 = manchmal; 4 = oft; 5 = ständig.

## Diskussion

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt wurde ein wichtiger Beitrag für die sportwissenschaftliche Schlafforschung geleistet. Da es zu Beginn des Projekts vorrangig internationale Forschung zum Thema Schlaf im Sport gab, wurde nun die Datenlage für den deutschen Raum erweitert. Aufgrund der Komplexität des Gesamtprojekts sowie der umfassenden Datenerhebungen in den einzelnen Modulen sind an dieser Stelle nur relevante Auszüge präsentiert worden.

Als wichtiger Meilenstein ist die Etablierung des FSVS als Diagnostik- und Beratungstool zu nennen. Dank der umfangreichen Befragung liegt nun eine Datenmenge vor, die für Folgestudien sowie für die angewandte Beratung als Vergleichs- und Orientierungswerte herangezogen werden können. Der FSVS-Gesamtscore der Gesamtstichprobe fiel hierbei vergleichbar aus zu der englischen Originalstichprobe ( $M = 43 \pm 5,8$ ; Driller et al., 2018) sowie zur deutschen Validierungsstudie ( $M = 39,3 \pm 6,2$ , Hof zum Berge et al., 2022). Die Korrelationen mit den Fragebögen PSQI und ESS waren sogar stär-

ker als bei Driller et al. (2018) sowie bei Hof zum Berge et al. (2022). In diesem Projekt stellte sich der FSVS als gutes Tool zur Rückmeldung heraus, indem es einen Gesprächseinstieg erleichterte. Er diente zudem der Visualisierung im Rahmen der Rückmeldungsgespräche auf Gruppenebene mit den Betreuungsstäben.

Grundsätzlich ist die Untersuchung des Schlafverhaltens einerseits und die Förderung eines gesunden, erholsamen Schlafs andererseits für die hier betrachtete Zielgruppe besonders wichtig. Schließlich ist das Risiko für junge Erwachsene – unabhängig vom Einflussfaktor Leistungssport – in dieser Lebensphase eine Schlafstörung zu entwickeln und zu verstetigen, als besonders hoch einzustufen (Gosling et al., 2012; Singareddy et al., 2012). Dieses wird durch die ständige Verfügbarkeit ablenkender Technologien, insbesondere Smartphones und soziale Medien noch verstärkt (Dowdell & Clayton, 2019; Strube et al., 2016). Auch in den vorliegenden Screening-Daten konnte der Medienkonsum unmittelbar vor dem Zubettgehen als ein auffälliges und potenziell schlafstörendes Verhalten identifiziert werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Driller et al. (2018)

sowie Hof zum Berge et al. (2022). Dass junge, aktive, schlafgesunde Erwachsene jedoch durch die Anwendung von Schlaf-Apps fehlgeleitet werden könnten, ist laut Jakowski und Stork (2022) unwahrscheinlich. Dies spiegeln auch Befunde einer jüngeren Umfrage wider, wonach Smartphones oder Wearables bislang kaum zum Schlafmonitoring oder gar Schlafmanagement genutzt werden (Jakowski, 2022). Demnach ist auch nicht damit zu rechnen, dass etablierte Methoden der Schlafmessung, wie sie in diesem Forschungsprojekt zum Einsatz kamen, von den Teilnehmenden nicht akzeptiert würden. Auf Diskussionen über unterschiedliche Schlafwerte zwischen Schlaf-Apps und den validierten Methoden brauchen sich Forschende demnach wahrscheinlich nicht einzustellen.

Das frühzeitige Erkennen von nicht-schlaffördernden Verhaltensweisen ist ein wichtiger Baustein, um ein funktionales Schlafverhalten zu unterstützen (Holzinger & Klösch, 2018). Für nachfolgende Forschungsvorhaben ist daher eine gute Grundlage geschaffen worden. Für die Optimierung des Schlafverhaltens existieren zahlreiche verhaltensbezogene Empfehlungen. Ein verbreiteter Ansatz in der allgemeinen Bevölkerung ist die Umsetzung von Schlafhygiene-Regeln, welche die Gestaltung schlaffördernder Verhaltensweisen und die Reduktion von Störfaktoren umfassen (Irish et al., 2015). In einem systematischen Review untersuchten Bonnar et al. (2018) Interventionsstrategien, die typischerweise im Sportkontext durchgeführt wurden. Die untersuchten Maßnahmen umfassten Schlafextension und Tagschlafphasen, Schlafhygiene sowie gezielte Regenerationsstrategien nach dem Training. Eine Verlängerung der Schlafdauer scheint eine effektive Strategie in Bezug auf die Verbesserung der Stimmung und Leistung zu sein. Grundsätzlich wird auch die Anwendung von Schlafhygiene-Regeln durch das Review unterstützt, wobei keine Aussagen zu konkreten Strategien und zum Ausmaß der individuellen Durchführung getroffen werden können. Neben laborbasierten Experimenten zu einzelnen Maßnahmen werden vermehrt Konzepte für ein individuelles Schlafmanagement im Sport vorgestellt (Bonnar et al., 2018). Bisher handelt es sich dabei um Pilotstudien mit gerin-

gen Stichprobengrößen oder Untersuchungen in einzelnen Sportarten über unterschiedlich lange Zeiträume (zwischen einer und sechs Wochen). Allen gemeinsam ist eine einmalige Präsentation zur Schlafedukation und Vorstellung der Schlafhygiene-Regeln auf Gruppenebene. Allgemeine Hinweise richten sich beispielsweise auf (a) die Einhaltung geregelter Schlafenszeiten, (b) die Schaffung einer schlaffördernden Atmosphäre (ruhig, dunkel, kühl), (c) den Verzicht von Alkohol, Koffein und anderer Stimulanzien sowie (d) die Vermeidung von blaulichtemittierenden Technologien (v. a. Smartphone/Tablet, Computer, TV) vor dem Zubettgehen und (e) gegebenenfalls die Durchführung von Entspannungsmaßnahmen zur Reduktion kognitiver Aktivierung. Auch für den deutschen Leistungssport ist ein solches Konzept zu empfehlen. Der FSVS bietet dafür ein Tool, um auf die Schlafthematik aufmerksam zu machen, kritische Verhaltensweisen zu identifizieren und Handlungsempfehlungen abzuleiten.

## Literatur

- Bianchi, M. T. (2018). Sleep devices: Wearables and nearables, informational and interventional, consumer and clinical. *Metabolism Clinical and Experimental*, 84, 99-108.
- Bonnar, D., Bartel, K., Kakuschke, N., & Lang, C. (2018). Sleep interventions designed to improve athletic performance and recovery: A systematic review of current approaches. *Sports Medicine*, 48, 683-703.
- Buysse, D. J., Reynolds III, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28, 193-213.

- Choi, Y. K., Demiris, G., Lin, S.-Y., Iribarren, S. J., Landis, C. A., Thompson, H. J., McCurry, S. M., Heitkemper, M. M., & Ward, T. M. (2018). Smartphone applications to support sleep self-management: Review and evaluation. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 14, 1783-1790.
- Dowdell, E. B., & Clayton, B. Q. (2019). Interrupted sleep: College students sleeping with technology. *Journal of American College Health*, 67, 640-646. <https://doi.org/10.1080/07448481.2018.1499655>.
- Driller, M. W., Mah, C. D., & Halson, S. L. (2018). Development of the athlete sleep behavior questionnaire: A tool for identifying maladaptive sleep practices in elite athletes. *Sleep Science*, 11(1), 37-44.
- Gosling, J. A., Batterham, P. J., & Christensen, H. (2012). Cognitive-behavioural factors that predict sleep disturbance 4 years later. *Journal of Psychosomatic Research*, 73, 424-429. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2012.08.011>.
- Gupta, L., Morgan, K., & Gilchrist, S. (2017). Does elite sport degrade sleep quality? A systematic review. *Sports Medicine*, 47, 1317-1333.
- Halson, S. L., & Lastella, M. (2017). Amazing athletes with ordinary habits: Why is changing behavior so difficult? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 1273-1274.
- Hof zum Berge, A., Kellmann, M., Loch, F., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Jakowski, S. (2022). Validierung des Fragebogens zum Schlafverhalten von Sportlerinnen und Sportlern. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 29, 84-94. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000367>.
- Hof zum Berge, A., Kölling, S., & Kellmann, M. (2020). Schlaf. In T. Meyer, A. Ferrauti, M. Kellmann & M. Pfeiffer (Hrsg.), *Regenerationsmanagement im Spitzensport (Teil 2)*. REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen (S. 63-73). Bundesinstitut für Sportwissenschaft.
- Holzinger, B., & Klösch, G. (2018). *Schlafstörungen. Psychologische Beratung und Schlafcoaching*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54668-0>.
- Irish, L. A., Kline, C. E., Gunn, H. E., Buysse, D. J., & Hall, M. H. (2015). The role of sleep hygiene in promoting public health: A review of empirical evidence. *Sleep Medicine Reviews*, 22, 23-36.
- Jakowski, S. (2022). Self-tracking via smartphone app: Potential tool for athletes' recovery self-management? A survey on technology usage and sleep behaviour. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 52, 253-261. <https://doi.org/10.1007/s12662-022-00812-3>.
- Jakowski, S., & Stork, M. (2022). Effects of sleep self-monitoring via app on subjective sleep markers in student athletes. *Somnologie*, 26, 244-251. <https://doi.org/10.1007/s11818-022-00395-z>.
- Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep*, 14, 540-545.
- Kölling, S., Duffield, R., Erlacher, D., Venter, R., & Halson, S. L. (2019). Sleep-related issues for recovery and performance in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14, 144-148. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0746>.
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M., & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport. REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Sportverlag Strauß.

Nédélec, M., Aloulou, A., Duforez, F., Meyer, T., & Dupont, G. (2018). The variability of sleep among elite athletes. *Sports Medicine - Open*, 4, 34. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0151-2>.

Simpson, N. S., Gibbs, E. L., & Matheson, G. O. (2017). Optimizing sleep to maximize performance: Implications and recommendations for elite athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27, 266-274.

Singareddy, R., Vgontzas, A. N., Fernandez-Mendoza, J., Liao, D., Calhoun, S., Shaffer, M. L., & Bixler, E. O. (2012). Risk factors for incident chronic insomnia: A general population prospective study. *Sleep Medicine*, 13, 346-353. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2011.10.033>.

Strube, T. B., In-Albon, T., & Weiß, H.-G. (2016). Machen Smartphones Jugendliche und junge Erwachsene schlaflos? Eine Untersuchung zur Smartphonenuutzung in der Bettumgebung bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen und ihre Auswirkungen auf Schlafhygiene, subjektive Schlafqualität und Tagesschläfrigkeit. *Somnologie*, 20(1), 61-66. <https://doi.org/10.1007/s11818-016-0044-x>.

# Sequenzentscheidungen im Beachvolleyball: Ein integrativer Ansatz psychologischer Forschung und Spielbeobachtung

AZ 071007/21-23

*Sandra Ittlinger<sup>1</sup> (Projektmitarbeit), Markus Raab<sup>1</sup> (Projektleiter) und Steffen Lang<sup>2</sup> (Projektmitarbeit), Daniel Link<sup>2</sup> (Projektleiter)*

<sup>1</sup>Abteilung Leistungspsychologie, Psychologisches Institut, Deutsche Sporthochschule Köln

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, School of Medicine and Health, Technische Universität München

## 1 Einleitung

Ein häufig untersuchtes Phänomen in verschiedenen Sportarten ist die Hot Hand, d.h., dass Spielerinnen und Spieler einen Zustand erleben, in dem sie außergewöhnliche Erfolge erzielen. Das Hot-Hand-Phänomen beschreibt, dass Athletinnen und Athleten eine höhere Wahrscheinlichkeit haben, zu punkten, wenn sie gerade vorher zwei oder dreimal gepunktet haben im Vergleich zu einer Situation, in der sie zwei oder dreimal nicht gepunktet haben (Bar-Eli et al., 2006; Gilovich et al., 1985; Raab et al.,

2012). Wie mit dem Hot Hand-Phänomen und sequenziellen Leistungen in der Sportart Beachvolleyball umgegangen wird, war eine Kernfrage des aktuellen Projekts und wurde anhand der Aufschlagsentscheidung gemessen. Diese wurde im Rahmen des Projekts von Experten experimenteller Forschung zu Sequenzentscheidungen (DSHS) und Experten der datenbasierten Analyse in Sportspielen (TUM) untersucht und integrativ mithilfe von Experimenten und der Wettkampfdiagnostik überprüft. Dafür wurden insgesamt fünf Studien durchgeführt (Tab. 1).

**Tabelle 1: Übersicht der Studien im aktuellen Projekt.**

<b>Studie 1</b>	Systematische Datenanalyse von 1300 Beachvolleyballspielen zu Sequenzstrukturen und Hot Hand
<b>Studie 2</b>	Systematische Datenanalyse von 67 Beachvolleyballspielen bei den Olympischen Spielen in Tokio zu Sequenzstrukturen und Hot Hand
<b>Studie 3</b>	Interviewstudie mit deutschen Nationaltrainerinnen und Nationaltrainern zu Aufschlagstrategien und Hot Hand
<b>Studie 4</b>	Videoexperiment mit deutschen Kaderathletinnen und Kaderathleten zu Sequenzstrukturen
<b>Studie 5</b>	Videoexperiment mit deutschen Kaderathletinnen und Kaderathleten zu Hot Hand

## 2 Methode

Die Methoden der Studien umfassen Wettkampfdatenanalysen, Videoexperimente mit Nationalspielerinnen und Nationalspielern und Interviews mit Nationaltrainerinnen und Nationaltrainern. In der Studie zur Datenanalyse von Beachvolleyballspielen wurden Sequenzstrukturen und Hot Hand untersucht. Eine weitere Studie analysierte die Sequenzstrukturen und Hot Hand bei den Olympischen Spielen in Tokio. Zudem wurde eine Interviewstudie mit deutschen Nationaltrainerinnen und Nationaltrainer zu Aufschlagstrategien und Hot Hand durchgeführt. Des Weiteren wurden Videoexperimente mit deutschen Kaderathlet:innen zu Sequenzstrukturen und Hot Hand durchgeführt. Die Versuchspersonen für die verschiedenen Studien waren Mitglieder des deutschen Beachvolleyball-Nationalkaders.

## 3 Ergebnisse

In Studie 1 konnte sowohl der Hot-Hand- als auch der Cold-Hand-Effekt nachgewiesen werden. Die Wettkampfdaten zeigen, dass die Trefferquoten nach Sequenzen von Fehlern niedriger waren als die Trefferquoten über alle Side-outs hinweg, was einer Cold Hand entspricht. Diese Studie wurde von Link & Raab 2022 veröffentlicht. Aufbauend auf den Untersuchungen in Studie 1 wurde für Studie 2 dieselbe Auswertungsmethodik auf Spiele der Frauen- und Männer-Teams bei den Olympischen Spielen 2021 in Tokio angewendet. Es konnte gezeigt werden, dass Basisraten variieren und dass Spieler:innen diese verwenden, um Verteilungsentscheidungen zu treffen, da Selektionsraten (Aufschlag auf einen Spieler) zunehmen, wenn Basisratendifferenzen zwischen Spielerinnen und Spieler steigen. Es zeigte sich ein Schwellenwert von etwa 0,25 als Basisratendifferenz von Spielerinnen und Spieler, bei dessen Erreichen Spielerinnen und Spieler mit der niedrigeren Basisrate gewählt werden. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass mit zunehmender Basisratendifferenz innerhalb einer Mannschaft bei der Aufschlagentscheidung seltener die stärkeren Spielerinnen und Spieler ausgewählt wurden.

In Studie 3 gaben vier von sechs Nationalspielerinnen und Nationalspielern an, dass sie an das Konzept der Hot Hand glauben. Sie alle betonten, dass sie ihren Athletinnen und Athleten beibringen, die schwächeren Spielerinnen und Spieler schnell zu identifizieren, indem sie aktuelle und frühere Leistungsdaten vergleichen und ihre Strategie entsprechend anpassen sollen, um die Gewinnchancen zu erhöhen. Dazu gehört auch, dass sie die schwächeren Spielerinnen und Spieler mit einer 4:1- oder 3:1-Ballverteilung anspielen sollen, um stete Informationen zu sammeln.

In Studie 4 erkannten die untersuchten Athletinnen und Athleten im Durchschnitt Basisraten mit einer Genauigkeit von bis zu 0,25 Unterschied, was in den Experimenten ein bzw. zwei Bällen entsprach. Wie in Abbildung 1 dargestellt, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Athletinnen und Athleten sensibel auf die Unterschiede in den Basisraten reagieren, die in den ersten Sätzen der sechs simulierten Spiele gezeigt wurden. Weiterhin konnte gefunden werden, dass Athletinnen und Athleten die Basisrateninformationen aus einem Satz für ihre zukünftigen Verteilungsstrategien nutzten. Athletinnen und Athleten sind allerdings nicht sensibel für Basisratenveränderungen zwischen den untersuchten Sätzen. Bei Schätzungen für den jeweils zweiten, simulierten Satz, in denen die Basisraten sich stark vom ersten gezeigten Satz unterschieden, wichen die Schätzungen erheblich von der vorgegebenen Side-out-Quote ab (siehe Abbildung 1). Dies ist vermutlich auf eine „Informationsmitnahme“ aus dem ersten Satz zurückzuführen.

In Studie 5 (Abb. 2) wurden die Basisratenschätzungen von pseudozufälligen (NHH) und von Hot Hand-Sequenzstrukturen (HH) untersucht. Hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen NHH und HH bei den Basisratenschätzungen festgestellt werden für die Bedingung, dass die zu schätzenden Basisraten gleich hoch waren (s. A in Abb. 2). Für die Bedingung, dass die Basisratendifferenz bei +0,125 (s. B in Abb. 2, HH>NHH) lag, konnte der Unterschied nachgewiesen werden, umgekehrt jedoch nicht mehr (s. C in Abb. 2).

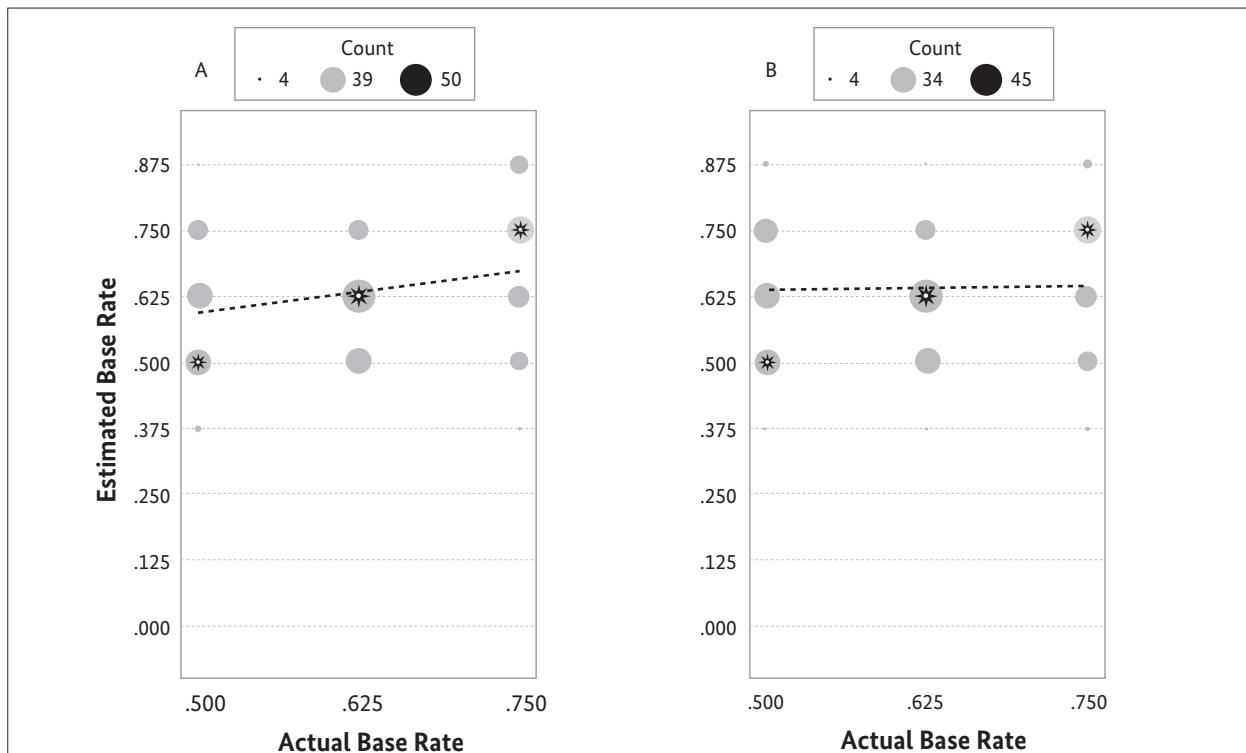


Abb. 1: Basisratenschätzungen von Satz 1 und 2: Die angegebenen Basisratenhöhen waren 0,5, 0,625 und 0,75 für Satz 1 (links) und Satz 2 (rechts). Die Größe des Kreises gibt an, wie oft diese Basisrate geschätzt wurde; die Legende bildet das Minimum, den Median und den Maximum-Wert ab. Die markierten Kreise zeigen die korrekte Basisrate auf der Grundlage der gezeigten Videos an. Die Regressionslinie wird im Hintergrund dargestellt.

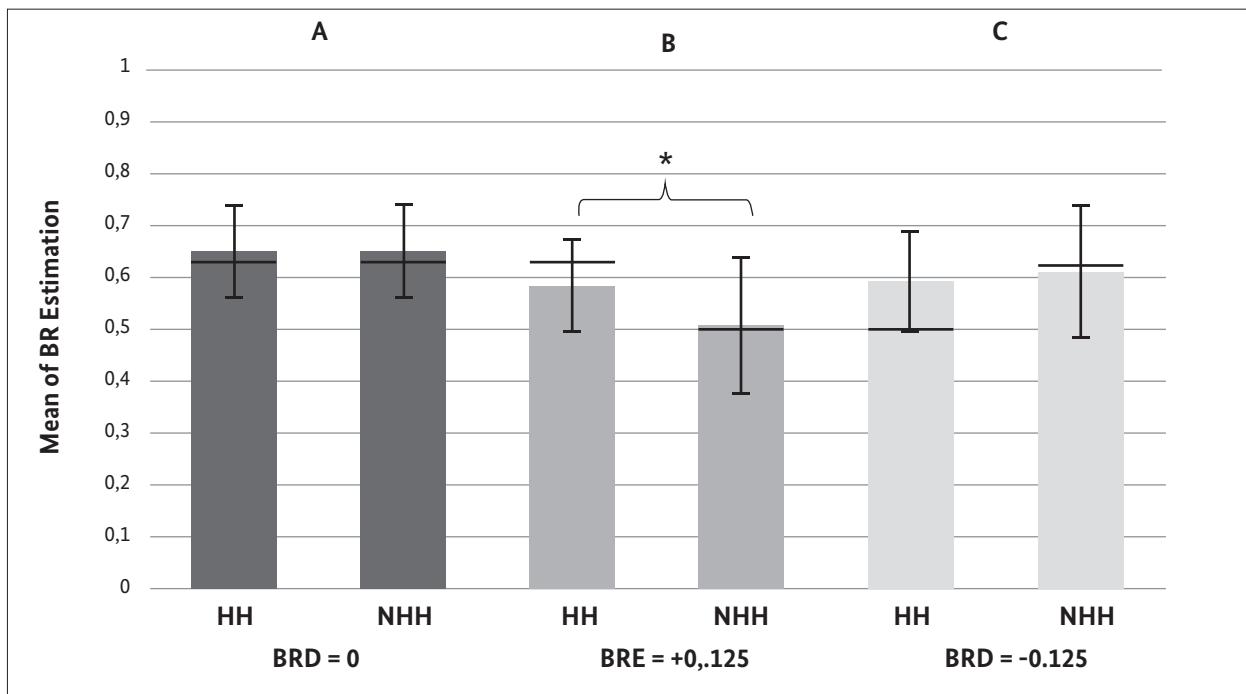


Abb. 2: Basisratenschätzungen nach Hot-Hand- (HH) und Nicht-Hot-Hand-Sequenzstrukturen (NHH) Sequenzstrukturen: A zeigt die Unterschiede in den Schätzungen, wenn beide Spieler die gleiche Basisrate von 0,625 hatten, aber einer eine Hot-Hand-Sequenzstruktur hat. B und C zeigen den Unterschied in den Schätzungen, wenn ein Spieler eine Basisrate von 0,5 und der andere Spieler 0,625 hat, B mit der Hot-Hand-Sequenz bei der höheren Basisrate und C umgekehrt. Die schwarzen horizontalen Markierungen zeigen die realen Basisratenhöhen an.

Bemerkenswert ist jedoch, dass die Schätzung für Spielerinnen und Spieler mit der schwächeren Basisrate von 0,5 im ersten Fall ohne Hot Hand-Struktur (Balken B, NHH) durch die Probandinnen und Probanden mit geringem Fehler im Durchschnitt auf 0,51 geschätzt wurde, wenn jedoch dieselbe Basisrate mit einer Hot Hand-Struktur präsentiert wurde (Balken C, HH), wurde die Basisrate dieser Spielerinnen und Spieler mit 0,59 stark überschätzt. Dies deutet darauf hin, dass eine Hot Hand-Struktur bei schwächeren Spielerinnen und Spielern dazu führt, dass die reale Basisrate nicht mehr adäquat wahrgenommen werden kann und überschätzt wird.

## 4 Fazit

Wir haben die „Sequential Choice“-Theorie auf der Grundlage des Glaubens an die Hot Hand und das Hot Hand-Verhalten bei Nationaltrainerinnen und Nationaltrainer und -athletinnen und -athleten mit einem Mixed-Methods-Ansatz in fünf Studien getestet. Zusammenfassend lässt sich aus den Ergebnissen der Studien ableiten, dass Entscheidungen im Beachvolleyball als abhängig wahrgenommen werden und dass das Verhalten in realen Wettkämpfen sowie in Laborexperimenten durch sequenzielle Effekte bei der Entscheidungsfindung beeinflusst wird. Dies bestätigt zum Teil die adaptive Funktion von sequenziellen Entscheidungen und liefert empirische Belege für eine Erweiterung der sequenziellen Entscheidungstheorie. Im Rahmen der Transfermaßnahmen des Projektes wurden verschiedene Sitzungen und Gespräche mit relevanten Akteuren des Deutschen Volleyball Verbandes organisiert, um eine effiziente Übertragung von Wissen und Erfahrungen zu gewährleisten.

## 5 Literatur

- Bar-Eli, M., Avugos, S., & Raab, M. (2006). Twenty years of hot hand research. *The hot hand phenomenon: Review and critique*. *Psychology, Sport & Exercise*, 7, 525–553. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.03.001>.
- Gilovich, T., Vallone, R., & Tversky, A. (1985). The Hot-Hand in basketball: On the misperception of random sequences. *Cognitive Psychology*, 17(3), 295–314. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(85\)90010-6](https://doi.org/10.1016/0010-0285(85)90010-6).
- Link, D., & Raab, M. (2022). Experts use base rates in real-world sequential decisions. *Psychonomic bulletin & review*, 29(2), 660–667. <https://doi.org/10.3758/s13423-021-02024-6>.
- Raab, M., Gula, B., & Gigerenzer, G. (2012). The Hot Hand Exists in Volleyball and Is Used for Allocation Decisions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(1), 81–94. <https://doi.org/10.1037/a0025951>.

# Collaboratio: Gesundheit versus sportlicher Erfolg

## Von der Forschung in die Ausbildung: Eine Untersuchung zur Zusammenarbeit von Trainern, Trainerinnen und Sportphysiotherapeuten, Sportphysiotherapeutinnen im Spitzensport<sup>1</sup>

AZ 071101/21-23

*Moritz Breucker<sup>2</sup>, Annika Steinmann<sup>2</sup>, David Jaitner<sup>3</sup>, Anna Klees<sup>2</sup>, Milena Pippert<sup>2</sup> und  
Swen Körner<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Deutsche Sporthochschule Köln

<sup>3</sup> TU Braunschweig

Trainer, Trainerinnen (TR) und Sportphysiotherapeuten, Sportphysiotherapeutinnen (SPT) ordnen im Team regelmäßig gesundheitliche Risiken sportlichen Höchstleistungen unter. Immer wieder aufs Neue muss der Interessenskonflikt zwischen dem System des Hochleistungssports und dem Medizinsystem gelöst werden. Besonders Entscheidungen bezüglich der Einsatzfähigkeit von verletzten oder ange schlagnen Athleten und Athletinnen (A) provozieren Konfliktpotenzial. Für eine optimale Zusammenarbeit sollten TR und SPT die Handlungslogiken der jeweils anderen Berufsgruppe respektieren und verinnerlichen. Um langfristig international wettbewerbsfähig zu bleiben, sollte im deutschen Spitzensport die Professionalisierung der Sportphysiotherapie vorangetrieben werden. Im Idealfall werden die jeweiligen fachlichen Expertisen von SPT und TR im Spitzensport im Einklang auf den sportlichen Erfolg ausgerichtet.

Im Förderzeitraum (2021-2023) wurde die Zusammenarbeit von TR und SPT im deutschen Spitzensport theoriegeleitet empirisch untersucht, indem wechselseitige Funktions-, Rollen- und Handlungserwartungen von TR und SPT erhoben und gegenübergestellt wurden. Die Ergebnisse der Untersuchung können als

Basis für die beteiligten Projektpartner dienen, um Prozesse und Strukturen in der Zusammenarbeit beider Akteure zu optimieren. Für den Transfer in die spitzensportliche Aus-, Fort- und Weiterbildung von TR und SPT wurden dafür praxisrelevante Materialien entwickelt.

### Soziale Systeme mit unterschiedlicher Handlungslogik im Spitzensport

In der Zusammenarbeit zwischen SPT und TR orientieren wir uns an drei wesentlichen Reibungspunkten mit Konfliktpotenzial:

1. Systemdifferenzen: Systemtheoretisch agieren TR und SPT in gesellschaftlichen Teilsystemen mit je unterschiedlicher Handlungslogik. TR handeln besonders im Spitzensport auf Basis des Sieg/Niederlage Codes (Bette, 1999; Cachay, 1995). Sie orientieren sich am Erreichen sportlicher Höchstleistungen und Erfolgen und haben großen Einfluss auf die Arbeit des Unterstützungssystems. SPT hingegen lassen sich dem Medizinsystem zuordnen. Sie sindweisungsgebundene Mitglieder, die entlang der krank/gesund

<sup>1</sup> Dieser Artikel ist vorab erschienen in IMPULSE, 2023 (1), 42-47.

Unterscheidung agieren (Luhmann, 1983, 1990; Pelikan, 2007).

2. Systemzugehörigkeit: Aus ihrer Zugehörigkeit zum Medizinsystem entstehen für SPT Dilemmata in der Arbeit im Spitzensport. Sie stehen mit ihrer Profession zwischen beiden Gesellschaftsbereichen, dem Spitzensportsystem und dem Medizinsystem (Collier, 2017; Dunn et al., 2007; Greenfield & West, 2012; Nixon, 1992; Polksy, 1998; Safai, 2003). SPT sind ärztlich weisungsgebunden, d.h., sie dürfen nur auf ärztliche Verordnung berufs- oder erwerbsmäßig tätig werden (Hütter-Becker & Dölken, 2004). Berufsethisch und arbeitsrechtlich kommt es zu Interessenskonflikten zwischen den leistungssportlichen Interessen der Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen und der medizinischen Profession (Collier, 2017; Dunn et al., 2007; Greenfield & West, 2012; Nixon, 1992; Polksy, 1998; Safai, 2003). In ihrer Arbeit müssen sie sich in konkreten Situationen zwischen medizinischer und spitzensportlicher Handlungslogik entscheiden (Simon, 2010). Dabei ist die Ausrichtung der TR entscheidend. Je stärker sie das Unterstützungssystem de auf sportliche Höchstleistung und Erfolg ausrichten, desto herausfordernder werden für SPT berufsethische, systemische und arbeitsrechtliche Konflikte (Anderson & Jackson, 2013; Collins et al., 1999; Reid et al., 2004).
3. Hierarchie: TR als Führungskräfte und hauptverantwortliche Akteure des athletischen Unterstützungssystems haben teilweise einseitige und wenig differenzierte Rollenerwartungen an SPT. Sie sehen auch das Handeln der SPT vor dem Ziel maximaler athletischer Leistungsfähigkeit und treffen dahingehend Entscheidungen, die das gesamte Unterstützungssystem zu tragen hat. Es entstehen dadurch Konfliktsituationen und Optimierungs- bzw. wechselseitige Sensibilisierungsbedarfe (Mayer & Thiel, 2011; Nixon, 1994; Steinmann et al., 2019; Waddington, 2006).

## Methodik und Datenauswertung

### Experteninterviews

Es wurden n=45 leitfadengestützte Experteninterviews (Gläser & Laudel, 2010; Hopf & Schmidt, 1993) mit n=19 TR und n=26 SPT geführt, die zum Interviewzeitpunkt mindestens ein Jahr lang im Senioren-/Seniorinnenbereich im deutschen Spitzensport tätig waren. Der Interviewleitfaden wurde mit Blick auf das Forschungsziel und der theoretischen Ausrichtung konzipiert und einem Pre-Test (n=2) unterzogen. Die Interviewdauer lag zwischen 24:18 und 78:37 Minuten, im Durchschnitt bei 47:37 Minuten (SD 11:36 Minuten). Das Ziel theoretischer Sättigung (Glaser & Strauss, 1998) wurde mit den geführten Interviews erreicht, die Durchführung weiterer Interviews versprach keine neuen Erkenntnisgewinne. Nach erfolgter deduktiver und induktiver Kategorienbildung und Kodierung des Interviewmaterials wurden die Ergebnisse systematisch aufbereitet (Kuckartz & Rädiker, 2020; 2022).

### Delphi-Workshop

Nach Niederberger & Renn (2018; 2019) wurden im Gruppen-Delphi-Verfahren die Ergebnisse der Inhaltsanalyse mit den teilnehmenden TR (n=5) und SPT (n=3) partizipativ validiert, indem über moderierte Diskussionen Konsens oder Konsens über Dissens angestrebt wurde.

## Ergebnisse aus Experteninterviews und dem Delphi-Workshop mit TR und SPT aus dem deutschen Spitzensport

### Verständnis der beruflichen Handlungsfelder

Grundsätzlich sind sich die befragten TR und SPT über die berufliche Aufgabenteilung einig.

TR sind für Sportartspezifisches und Trainingswissenschaftliches verantwortlich. Ihr Verantwortungsbereich beinhaltet Trainings- und Wettkampfplanung, -durchführung sowie Belastungssteuerung. Außerdem sind sie als Führungskraft des gesamten Betreuungsstabs anerkannt. TR treffen organisatorische Entscheidungen für das gesamte Team und stehen auch öffentlich in der Verantwortung. SPT agieren als Unterstützende im Betreuungsstab. Sie arbeiten als Dienstleistende der A und ordnen sich deren Zielen unter. Selbst wenn A gegen medizinischen Rat handeln, erhalten sie von der physiotherapeutischen Abteilung häufig Unterstützung. Auch berufsunspezifische Aufgaben werden von TR und SPT ausgeführt. Organisatorische Aufgaben, wie Trainingslagerplanung und Materialbeschaffung (überwiegend TR), oder vielseitige unterstützende Aufgaben, wie Aufbereitung der Wettkampfverpflegung oder Fahrdienste (überwiegend SPT), werden nur selten zum Problem, in der Regel ordnen sich alle dem sportlichen Erfolg unter.

Konflikte in der Zusammenarbeit zwischen TR und SPT können dann entstehen, wenn eine Person den eigenen Handlungsbereich verlässt und im jeweils anderen tätig wird.

## Systemkonflikt

Der Systemkonflikt zwischen dem Spitzensportsystem („Letztendlich ganz oben drüber steht der Erfolg bei Olympischen Spielen“ (IP12-T, Z.33)) und dem Medizinsystem (Gesundheit geht „IMMER“ vor (IP8-PT, Z.323)) offenbart sich besonders bei Return-to-Sport Entscheidungen. Bei verletzten oder angeschlagenen A gilt es zu entscheiden, in welchem Umfang und zu welchem Zeitpunkt sie wieder in das sportartspezifische Training einsteigen. In Wettkampfsituatlonen müssen diese Entscheidungen in wenigen Augenblicken getroffen werden, während in der Rehabilitationsphase mehr Zeit für objektive Analysekriterien, wie bildgebende Verfahren oder leistungsphysiologische Tests, zur Verfügung steht. Return-to-Sport Entscheidungen weisen die größte Überschneidung der beiden Aufgabengebiete auf und werden in der Regel

im Team getroffen. Ärzte und Ärztinnen (sofern verfügbar) und SPT geben ihre medizinische Einschätzung ab. Gemeinsam mit TR und volljährigen A wird dann eine Entscheidung herbeigeführt. Diese Situationen bieten Konfliktpotenzial zwischen den Systemen. Es stellt sich in jedem Einzelfall die Frage, ob die Wichtigkeit eines Einsatzes (im Training oder im Wettkampf) kurz- und/oder langfristige gesundheitliche Risiken rechtfertigt. In der Zusammenarbeit muss zudem geklärt werden, wer solche Entscheidungen trifft und zu verantworten hat.

## Kommunikation

Alle Befragten begrüßen eine offene Kommunikationskultur. Es werden alle möglichen Kommunikationswege (persönlich, telefonisch, per Mail oder Messenger) genutzt, mit klarer Präferenz zum persönlichen Gespräch. Für TR ist in der Regel der Austausch mit SPT ausreichend vorhanden. Wenn überhaupt, plädieren SPT für häufigere, regelmäßige Rücksprachen, insbesondere für Rückmeldungen zur Zusammenarbeit.

## Hierarchie

Beide Akteursgruppen berichten von einer fachlichen Zusammenarbeit auf Augenhöhe. Im medizinischen Bereich sind die SPT in der Verantwortung, im sportartspezifischen Leistungsbereich die TR, sodass sich für die jeweiligen Bereiche fachlich bezogene Hierarchien ergeben. Im Hinblick auf das gesamte Betreuungsteam sind TR als Führungskräfte angesehen, so fällt es in der Regel auch in ihren Zuständigkeitsbereich, PT einzustellen oder zu entlassen. Im Zweifel, bei Uneinigkeit im Team, gibt die TR-Meinung den Ausschlag. Dies gilt allerdings nicht für medizinische Grundsatzentscheidungen (z. B. spielfähig oder nicht).

## Strukturelle Gegebenheiten

Die Befragten sind sich einig, dass die formalen Arbeitsbedingungen der SPT im deutschen Spitzensport verbesserungswürdig sind („amateur-

haft und schlecht“ (IP18-T, Z.560)). Einige sehen sogar dauerhaft die internationale Konkurrenzfähigkeit gefährdet. Während TR in der Regel hauptberuflich angestellt sind, arbeiten SPT auf Honorarbasis. Die Honorare zwischen 70€ und 150€ am Tag kommen einer ehrenamtlichen Tätigkeit nahe. Darüber hinaus müssen sich SPT normalerweise für die Arbeit im Spitzensport von Arbeitgebern und Arbeitgeberinnen freistellen lassen oder als Selbständige in ihrer eigenen Praxis wegen Ausfalls finanzielle Einbußen hinnehmen. Das heißt, die physiotherapeutische Betreuung findet sozusagen in der Freizeit der SPT statt. Dies hat zur Folge, dass nicht dauerhaft und bei jedem sportlichen Training/ Wettkampf SPT zur Verfügung stehen (einzelfallabhängig) und die Fluktuation der SPT hoch ist.

## **Beziehung von SPT und TR zu betreuten A**

SPT und TR haben je besondere Beziehungen zu den betreuten A. Die gesamte Gruppe verbringt sehr viel Zeit miteinander und erlebt emotionale und intensive Phasen gemeinsam. TR tendieren zu einer etwas distanzierteren Beziehung zu A als SPT, weil sie unter anderem die Autorität für Personalentscheidungen (z. B. Nominierung) wahren müssen. Trotzdem berichten TR und SPT von väterlichen Beziehungen und sehr engen, vertrauensvollen Verhältnissen zwischen TR und A. SPT pflegen in der Regel eine enge persönliche Beziehung mit A, teilweise sogar auf freundschaftlicher Ebene. A neigen in einer körpernahen, physiotherapeutischen Behandlung dazu, auch private Belange und Befindlichkeiten zu äußern, die sie TR gegenüber nicht erzählen. Beispielsweise wird berichtet, dass A über Schmerzen oder körperlich-mentale Erschöpfung teilweise nur mit SPT sprechen aus Angst vor einer Nicht-Nominierung. SPT erhalten tiefe Einblicke in den Gemütszustand der A, intra- und interpersonelle Konflikte mit TR können folgen. SPT müssen entscheiden, welche Informationen, die sie im Vertrauen erhalten haben, an den TR-Stab weitergegeben werden (müssen). Diese engen Beziehungen sind von TR und Athleten/Athletinnen gewünscht, denn sie sollen die Stimmung im Team beleben (SPT als „Gute-

Laune-Bär“). SPT sollen A einen Anlaufpunkt für ihre Sorgen und Nöte sein („PT als Kummerkasten“). TR achten jedoch darauf, dass dadurch keine Abhängigkeitsverhältnisse oder Untergruppen entstehen.

## **Optimierungsansätze**

Das Verständnis moderner Sportphysiotherapie entwickelt sich unter TR und SPT in die gleiche Richtung: SPT sollen als Bewegungsexperten das TR-Team unterstützen. Sowohl SPT, als auch einige TR halten es für sinnvoll, SPT für Trainingsbeobachtungen einzusetzen, damit sie ein besseres sportartspezifisches Bewegungsverständnis erlangen. Einige TR binden SPT bereits in die Belastungssteuerung ein. Auch präventive Kräftigungs- oder Stabilisationsübungen werden durch SPT angeleitet. Ein Trainer unterstreicht die Wichtigkeit, sportphysiotherapeutische Arbeit ins Training zu integrieren: „Das ist fahrlässig [SPT nicht einzubinden], da lässt man sehr viel Expertise links liegen, die man als Trainer nicht hat.“ (IP26-T, Z.688-689). Eine enge Zusammenarbeit anstatt eines Konkurrenzdenkens zwischen Gesundheits- und Leistungsbereich sollte angestrebt werden.

Die Befragten schlagen vor, dass beide Akteursgruppen besser im jeweils anderen Fachbereich geschult werden sollten. TR sollten z. B. in Aus- und Fortbildungen ein tieferes Verständnis der Sportphysiotherapie und zugrunde liegender physiologischer Prozesse erlangen, um bspw. die Dauer von Wundheilungsphasen zu berücksichtigen. Genauso sollten SPT ihr Verständnis für die Trainingswissenschaft erweitern, um A optimal auf die Belastungen vorzubereiten.

Vor allem SPT stellen die Wichtigkeit regelmäßiger und lückenloser Kommunikation mit TR heraus, idealerweise während der regulären (bezahlten) Arbeitszeit.

# Handlungsempfehlungen und Fallarbeit

## Kommunikationskultur

Für die Zusammenarbeit auf Spitzenniveau ist u. E. eine regelmäßige Kommunikation unabdingbar. Es ist daher geraten, gemeinsam eine Kommunikationsstrategie zu entwickeln und zu etablieren.

Von einem Interviewpartner greifen wir für den Umgang von SPT mit persönlichen Informationen einen Vorschlag auf: Zu Beginn einer Zusammenarbeit sollte geklärt werden, welche Informationen ungefragt im Team weitergegeben werden können. In seinem Fall dürfen grundsätzlich alle Informationen innerhalb der Gruppe (TR, SPT, A) weitergegeben werden. Nur bei explizitem Hinweis, eine Information vertraulich zu behandeln, wird diese nicht weitergegeben. Dies erleichtert das Dilemma, selbst zu entscheiden, welche Informationen zur Weitergabe bestimmt sind.

## Strukturelle Gegebenheiten

Im internationalen Vergleich scheint es geboten, die Anstellungsverhältnisse von SPT zu professionalisieren (Steinmann et al., 2019). Physiotherapeutische Arbeit sollte im Spitzensport nicht auf ehrenamtlicher Basis ausgeführt werden. Feste Anstellungsverhältnisse würden zu größerer Kontinuität und extensiver Verfügbarkeit von SPT führen, was wiederum zur Folge hätte, dass die A körperlich und persönlich besser betreut wären.

Wenn möglich, sollten Umgebungen eingerichtet werden, in denen SPT örtlich nahe an Trainings- bzw. Wettkampfstätten arbeiten und somit bei Bedarf schnell zur Verfügung stehen.

## Merkliste für Verletzungsszenario

Im Falle einer Verletzung während eines Wettkampfs oder Trainings kann es sinnvoll sein, im

Vorfeld eine klare Strategie für das Vorgehen im Verletzungsfall zu entwickeln. Das Team könnte zu Beginn einer Zusammenarbeit festlegen, welche Punkte im Notfall durchgegangen werden, um über die Einsatzfähigkeit von A zu entscheiden. Dadurch kann zwar keine unmittelbare medizinische Entscheidung getroffen werden, für die bildgebendes Material notwendig ist. Es könnte aber bei der Objektivierung der Sachlage helfen, damit Entscheidungen möglichst belastbarer gemacht werden und die Entscheidungsfindung einen routinierten Prozess durchläuft.

## Transferleistung

Für die Aus-, Fort- und Weiterbildung von SPT und TR wurden vom Projektteam methodisch-didaktisch aufbereitete Fallbeispiele entwickelt, die den Kooperationspartnern für die jeweilige Zertifizierung (Weiterbildungsmaster Sportphysiotherapie, DSHS Köln und Trainerakademie des DOSB) als Unterrichtsmaterial zur Verfügung gestellt werden. Anhand von fiktiven, aber realistischen Szenarios, die aus den Interviewergebnissen abgeleitet wurden, können Teilnehmende damit diskursiv auf die potenziell konfliktäre Zusammenarbeit im Spitzensport vorbereitet werden, indem sie über Reflektion im Abgleich mit den systemischen Möglichkeiten eigene Lösungen entwickeln.

## Fazit

Im Spitzensport treffen unweigerlich zwei Welten aufeinander. „Spitzensport ist kein Gesundheitssport.“ Diese Systemdifferenz wird mit ausgesprochener Selbstverständlichkeit von allen Teilnehmenden am System Spitzensport wahrgenommen, insbesondere TR und SPT, sind sich der speziellen Handlungslogik im Spitzensport bewusst. Dem sportlichen Erfolg wird vieles untergeordnet, nicht zuletzt die Akzeptanz gesundheitlicher Einbußen der A. „Jede Verletzung ist ein Nachteil für den Athleten, weil er Trainingszeit verliert“ (IP43-PT, Z. 470-471). Unter anderem diese Aussage eines Interviewpartners ist bezeichnend für die Leistungsorientierung im Spitzensport und unterstreicht die

Problematik der Systemzugehörigkeit von SPT. Verletzungen sind in erster Linie problematisch, weil Trainingszeit verloren geht und nicht, weil ein Mensch gesundheitliche Einschränkungen zu verkraften hat. Dennoch relativieren die Interviewten und geben zu verstehen, dass nur gesunde A langfristig zu Höchstleistungen fähig sind. Optimierte Zusammenarbeit zwischen TR und SPT auf Augenhöhe, insbesondere ohne fachübergreifende Hierarchien, ist im Sinne aller Beteiligten: TR, SPT und A.

## Literatur

- Anderson, L. & Jackson, S. (2013). Competing loyalties in sports medicine: Threats to medical professionalism in elite, commercial sport. *International Review for the Sociology of Sport*, 48(2), 238-256. <https://doi.org/10.1177/1012690211435031>.
- Bette, K.-H. (1999). Systemtheorie und Sport. Suhrkamp.
- Cachay, K. (1995). Gesellschaft – Sport – Trainer. Systemtheoretische Überlegungen zu Perspektiven der Trainerrolle. *Leistungssport*, 25(6), 23-26.
- Collier, R. (2017). Competing interests. *CMAJ*, 189(4), E179-E181. <https://doi.org/10.1503/cmaj.1095377>.
- Collins, D., Moore, P., Mitchell, D. & Alpress, F. (1999). Role conflict and confidentiality in multidisciplinary athlete support programmes. *British Journal of Sports Medicine*, 33(3), 208. <https://doi.org/10.1136/bjsm.33.3.208>.
- Dunn, W. R., George, M. S., Churchill, L. & Spindler, K. P. (2007). Ethics in Sports Medicine. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(5), 840-844. <https://doi.org/10.1177/0363546506295177>.
- Glaser, B. G. & Strauss, A. L. (1998). Grounded Theory. Strategien qualitativer Forschung. Huber.
- Gläser, J. & Laudel, G. (2010). Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-91538-8>.
- Greenfield, B. H. & West, C. R. (2012). Ethical Issues in Sports Medicine. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 4(6), 475-479. <https://doi.org/10.1177/1941738112459327>.
- Hopf, C. & Schmidt, C. (1993). Zum Verhältnis von innerfamilialen sozialen Erfahrungen, Persönlichkeitsentwicklung und politischen Orientierungen: Dokumentation und Erörterung des methodischen Vorgehens in einer Studie zu diesem Thema. C. Hopf & C. Schmidt, Hrsg.; Hildesheim. <https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/45614>.
- Hütter-Becker, A. & Dölken, M. (2004). Beruf, Recht, wissenschaftliches Arbeiten. Georg Thieme Verlag.
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2020). Fokussierte Interviewanalyse mit MAXQDA, Schritt für Schritt. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-31468-2>.
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung (5. Ed.). Beltz Juventa.
- Luhmann, N. (1983). Medizin und Gesellschaftstheorie. Medizin, Mensch, Gesellschaft, 8, 168-175.
- Luhmann, N. (1990). Der medizinische Code. In N. Luhmann (Hrsg.), Soziologische Aufklärung. Konstruktivistische Perspektiven (S. 183-195). Westdeutscher Verlag.
- Mayer, J. & Thiel, A. (2011). Verletzungen im Leistungssport aus soziologischer Perspektive. *Sportwissenschaft*, 41(2), 124-136. <https://doi.org/10.1007/s12662-011-0193-9>.

- Niederberger, M. & Renn, O. (2018). Das Gruppenpendelphi-Verfahren, Vom Konzept bis zur Anwendung. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-18755-2>.
- Niederberger, M. & Renn, O. (2019). Delphi-Verfahren in den Sozial- und Gesundheitswissenschaften, Konzept, Varianten und Anwendungsbeispiele. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21657-3>.
- Nixon, H. L. (1992). A Social Network Analysis of Influences On Athletes To Play With Pain and Injuries. *Journal of Sport & Social Issues*, 16(2), 127-135. <https://doi.org/10.1177/019372359201600208>.
- Nixon, H. L. (1994). Coaches' Views of Risk, Pain, and Injury in Sport, with Special Reference to Gender Differences. *Sociology of Sport Journal*, 11(1), 79-87. <https://doi.org/10.1123/ssj.11.1.79>.
- Pelikan, J. M. (2007). Zur Rekonstruktion und Rehabilitation eines absonderlichen Funktionssystems – Medizin und Krankenbehandlung bei Niklas Luhmann und in der Folgerezeption. *Soziale Systeme*, 13(1-2), 290-303. <https://doi.org/10.1515/sosys-2007-1-226>.
- Polksy, S. (1998). Winning medicine: professional sports team doctors' conflict of interest. *Journal of Contemporary Health Law and Policy*, 14, 503-529.
- Reid, C., Stewart, E. & Thorne, G. (2004). Multidisciplinary Sport Science Teams in Elite Sport: Comprehensive Servicing or Conflict and Confusion? *The Sport Psychologist*, 18(2), 204-217. <https://doi.org/10.1123/tsp.18.2.204>.
- Safai, P. (2003). Healing the Body in the „Culture of Risk“: Examining the Negotiation of Treatment between Sport Medicine Clinicians and Injured Athletes in Canadian Intercollegiate Sport. *Sociology of Sport Journal*, 20(2), 127-146. <https://doi.org/10.1123/ssj.20.2.127>.
- Simon, F. B. (2010). Einführung in die Systemtheorie des Konflikts (1. Ed.). Carl-Auer-Systeme Verlag.
- Steinmann, A., Jaitner, D. & Himmelseher, N. (2019). „One aspect of the coaching business.“ Function and role of sports physiotherapists from the perspective of coaches in German elite athletics. *Sports Coaching Review*, 9(3), 1-20. <https://doi.org/10.1080/21640629.2019.1657680>.
- Waddington, I. (2006). Ethical problems in the medical management of sports injuries: a case study of English professional football. In S. Loland, B. Skirstad & I. Waddington (Eds.), *Pain and Injury in Sport: Social and Ethical Analysis* (pp. 182-199). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203002995-22>.

# Digital-analoges Schulungskonzept im Eishockey – Praxistransfer

AZ 071605/22-23

*Dr. Felix Ehrlenspiel (Projektleitung), Zusammenarbeit: Dr. Tom-Nicolas Kossak, Annika Hof zum Berge, Shannon Straube, Karl Schwarzenbrunner*

Angesiedelt bei: TU München, Lehrstuhl für Sportpsychologie  
Spitzenverband: Deutscher Eishockey-Bund e.V.

## 1 Problem

Ziel des Projekts war es, ein systematisches und kontinuierliches Betreuungs- und Ausbildungsangebot zum Erwerb psychologischer Kompetenzen für die Nationalspielerinnen und -spieler des DEB aufzubauen und eine entsprechende Kultur im Eishockeybund zu verankern. Der DEB setzt dabei insbesondere auf die Digitalisierung im Sport. Auf Basis des durchgeföhrten Service-Forschungsprojekts (BISp Förderkennzeichen ZMI4-072003/21-22) sollten die Maßnahmen nun im Alltag der Spielerinnen und Spieler Anwendung finden.

Im Service-Forschungsprojekt wurden in den Jahren 2022 und 2023 für die Sportlerinnen und Sportler Online-Schulungen erarbeitet, die durch Schulungsunterlagen (im Folgenden mentales Playbook (Kossak et al., 2022) oder Playbook) ergänzt und unterstützt werden. Entsprechende Übungen sollten auch durch digitale Medien unterstützt werden. Aus der Mischung von Inputs durch Experten und eigenverantwortlichem Selbst-Monitoring und Selbst-Coaching u. a. mithilfe des Playbooks und den Online-Materialien soll eine Kultur der Eigenverantwortlichkeit für das Thema der Sportpsychologie entstehen. Der DEB erhofft sich von diesem Ansatz ein ressourcensparendes Vorgehen in der Betreuung, das darauf abzielt den Nationalspielerinnen und -spielern ein umfangreicheres und kontinuierliches Ausbildungs- und Betreuungsangebot machen zu können. Darüber hinaus sollen Vor-Ort-Betreuungen bei den Teammaßnahmen den persönli-

chen Kontakt zwischen den Sportpsychologinnen und -psychologen und den Spielerinnen und Spielern bzw. dem Betreuerteam stärken. Der Hauptfokus der Vor-Ort-Betreuung liegt auf Inhalten zum Teambuilding.

Das Transferprojekt (ZMI4-071605/22-23) dient als Bindeglied zwischen dem bereits durchgeföhrten Service-Forschungsprojekt (ZMI4-072003/21-22), welches die Erarbeitung der Inhalte im Fokus hatte, und der festen Implementierung der Maßnahmen im sportpsychologischen Verbandskonzept des DEB.

Nachdem die Inhalte bereits erarbeitet wurden und ein mentales Playbook entwickelt wurde, sollte nun die Implementierung in die Praxis erfolgen. Entsprechend sollten die durchgeföhrten Online-Schulungen zeigen, wie das Format von den Sportlerinnen und Sportler angenommen wird. Auf Basis der Rückmeldung der Sportlerinnen und Sportler soll das Programm kontinuierlich angepasst und verbessert werden.

Da das entwickelte Programm der Grundstein für die zukünftige Betreuung der Nationalspielerinnen und -spieler des DEB darstellt, ist der Einsatz der Haushaltsmittel zukünftig darauf ausgerichtet, dieses Betreuungsangebot kontinuierlich gewährleisten zu können. Dazu ist die Aufstockung des Finanzeinsatzes im Bereich der Sportpsychologie notwendig. Da dies zum Zeitpunkt der Antragstellung noch nicht der Fall war und im ersten Jahr ein besonderer Aufwand zur Implementierung des Programms in die Praxis voneinander zu sein schien, war der DEB auf

die Mittel aus dem Transferprojekt angewiesen. Auf diese Weise sollte die Implementierung des Programms in die Praxis ermöglicht werden.

Auf Basis des Feedbacks der Athletinnen und Athleten bzgl. der Inhalte und Formate sollen den Teilmannschaften zukünftig auch weiter Workshop-Angebote gemacht werden. Wichtig ist die kontinuierliche Weiterentwicklung des Programms auf der einen Seite und die Beibehaltung des erarbeiteten Stamms an Inhalten auf der anderen Seite. So soll gewährleistet werden, dass die Ausbildung im mentalen Bereich, unabhängig von der/dem betreuenden Sportpsychologin oder Sportpsychologen, die gleichen Inhalte behandelt und sich dennoch stets verbessert.

Ist dieses Programm einmal erarbeitet, kann es schnell von anderen Verbänden übernommen und an die entsprechende Sportart angepasst werden. Sobald eine digitale Infrastruktur im entsprechenden Verband aufgebaut ist und die Folien sowie das erarbeitete Playbook (s. Service-Forschungsprojekt) angepasst wurden, kann mit einem Schulungsangebot begonnen werden.

Ziel des Praxistransfers war es, ein ressourcenparendes Vorgehen in der Betreuung zu entwickeln und in die Praxis zu übertragen, das darauf abzielt den Nationalspielerinnen und -spielern ein umfangreicheres und kontinuierliches Ausbildungs- und Betreuungsangebot machen zu können.

## 2 Methode

Nachdem die Inhalte sowohl für das physische Playbook, das den Spielerinnen und Spielern ausgehändigt werden sollte, als auch für die Online-Schulungen ausgearbeitet wurde, sollten nach Abschluss der Planungs- und Entwicklungsphase erste Online-Schulungen durchgeführt werden. Die Teilnahme an den Bausteinen war mannschaftsübergreifend geplant und freiwillig. Die Evaluation der Online-Schulungen bestand aus einer Zufriedenheitsbefragung der Spielerinnen und Spieler. Nach jeder Einheit erfolgte eine Befragung zur Zufriedenheit mit

der Schulung und der digitalen Umsetzungsform. Die Zufriedenheitsbefragung erfolgte mithilfe einer fünfstufigen Liker-Skala (1 = sehr unzufrieden bis 5 = sehr zufrieden), die die Spielerinnen und Spieler nach den einzelnen Einheiten zugesendet bekamen. Parallel dazu sollte für Teambuildingmaßnahmen auch die Vor-Ort-Betreuung fortgeführt werden. Eine Zufriedenheitsbefragung erfolgte hier nicht.

## 3 Ergebnisse

### Online-Schulungen

Im Projektzeitraum wurden den Nationalspielerinnen und -spielern neun digitale Workshops angeboten. Die Teilnahme an den Workshops war recht unterschiedlich. An den anschließenden Befragungen nahmen insgesamt 83 Sportlerinnen und Sportler teil. Der Altersdurchschnitt bei den Befragten liegt bei 16,34 Jahren ( $SD = 2,61$ ). 60% der Befragten waren weiblichen und 40% männlichen Geschlechts. Die Zufriedenheit mit den Workshops lag bei 4,51 ( $SD = 0,55$ ).

### Vor-Ort-Betreuung: Männlich

U20: Die Nationalmannschaft wurde im Juli 2023 an zwei Tagen begleitet. Dabei wurde ein Teamworkshop zum Thema Teamresilienz durchgeführt, es wurden zwei Spiele beobachtet und individuelle Gespräche konnten geführt werden.

A-Team: In drei von vier Phasen konnte das Team in der WM-Vorbereitung begleitet werden. Es wurde an den Themen Teamresilienz und Zielsetzung gearbeitet. Auch eine zeitweise Begleitung bei der WM war Teil der Betreuung.

## 4 Diskussion

### Online-Schulungen

Insgesamt wurde das Online-Angebot sehr gut angenommen. Die größte Herausforderung besteht darin, einen Termin zu finden, zu dem alle Spielerinnen und Spieler gleichermaßen

Zeit haben. Insbesondere unter der Saison findet am späten Nachmittag und frühen Abend meist Training statt. Vormittags ist eine Großzahl der Spielerinnen und Spieler noch in der Schule.

Der Altersdurchschnitt der Teilnehmenden ist insgesamt sehr niedrig. Gerade die jüngeren Spielerinnen nehmen das digitale Angebot aktuell wahr. Dennoch nahmen auch immer wieder Nationalspielerinnen des A-Teams an den Veranstaltungen teil. Nationalspieler des A-Teams haben an den Treffen bisher nicht teilgenommen. Mit 60% weiblicher Teilnehmenden an der Umfrage – dies spiegelt auch in etwa die Teilnahme an den Schulungsangeboten generell wider – nahmen das Angebot etwas mehr Athletinnen wahr.

Dass insbesondere die jüngeren Spielerinnen und Spieler an den Maßnahmen teilnehmen, ist für uns eine Möglichkeit zur Kulturentwicklung. Das mentale Training soll bei den jüngeren SpielerInnen als fester Bestandteil des Leistungssports anerkannt werden. In vielen Vereinen spielt das Thema aktuell noch eine eher untergeordnete Rolle und so kommen die Spielerinnen und Spieler gerade in den jungen Jahrgangsstufen noch selten mit diesem Aspekt in Kontakt. Möglicherweise haben gerade die jüngeren Spielerinnen und Spieler eine Neugier, diesen Bereich kennenzulernen.

Insgesamt ist unser Ziel, die Spielerinnen und Spieler über die Zeit beim DEB von der U16 bis zur U20 in den individuellen mentalen Skills auszubilden. Da die älteren Spielerinnen und Spieler möglicherweise bereits an mehreren Workshops bei zentralen Maßnahmen teilgenommen haben, nehmen sie nun nicht mehr so stark an den Online-Schulungen teil.

Auf die Teilnahme der Spieler der A-Nationalmannschaft im Herrenbereich wurde nicht abgezielt. Diese Spieler haben viele Workshops und oft auch schon individuelles Mentalcoaching in Anspruch genommen. Eine Grundlagenausbildung für diese Spieler scheint daher wenig zielführend. Dennoch waren die Spieler immer zu den Workshops eingeladen und sicherlich könnten auch diese Spieler von dem

Angebot profitieren. Möglicherweise bestand durch den prominenten Status der Spieler auch eine Hemmnis, an den Terminen teilzunehmen. Ein separates Angebot für diesen Spielerkreis kann künftig angedacht werden.

Die Zufriedenheit mit den Inhalten wurde von den Teilnehmenden an den Workshops als sehr hoch angegeben. Die Spielerinnen und Spieler nehmen diese Angebote sehr dankend an. Die Fortführung des Projekts über die nächsten Jahre wird zeigen, ob die Maßnahme mental stärkere Spielerinnen und Spieler formt, die mehr mentale Techniken erlernen als die Spielerinnen und Spieler bisher. Ziele des gesamten Projekts sind es, dass finanzielle Ressourcen geschont werden, eine kontinuierliche Auseinandersetzung mit dem Thema gewährleistet ist und die jungen Spielerinnen und Spieler die betreuenden Sportpsychologinnen und -psychologen besser kennenlernen. So kann an den zentralen Maßnahmen deutlich schneller auf einem vertrauten Niveau gearbeitet werden. In Zukunft soll auch die Verzahnung mit den Vereinen verstärkt dazu führen, dass die Angebote in den Clubs verbessert werden. Dadurch erhoffen wir uns eine bessere Ausbildung der Nationalspielerinnen und -spieler im mentalen Bereich.

## Vor-Ort-Betreuung

Durch das digitale Angebot zur Stärkung individueller mentaler Kompetenzen wurde eine große Ressource für die Vor-Ort-Betreuung ermöglicht. Insbesondere für die „Performance-Mannschaften“ (A-Team & U20) soll so Kapazität frei sein, um längere Betreuungsmaßnahmen auf Lehrgängen und bei sportlichen Großereignissen zu ermöglichen. Durch das Transferprojekt sowie die Haushaltssmittel des DEB konnten sowohl die Online-Schulungen als auch die Vor-Ort-Betreuung finanziert werden. Insbesondere die Vorbereitung der A-Nationalmannschaft im Herrenbereich konnte so deutlich intensiver als in der Vergangenheit betreut werden.

Die sportpsychologische Betreuung der A-Nationalmannschaft in diesem Jahr wurde von allen beteiligten Personen als sehr positiv bewertet. Die Spieler haben das Angebot wie geplant als

Teambuildingmaßnahem sehr intensiv wahrgenommen und der Teamzusammenhalt bei der WM wurde von allen als sehr positiv und wichtiger Bestandteil des sportlichen Erfolgs mit der Silbermedaille bei der WM hervorgehoben.

Auch die Betreuung der U20 bei einem Zentrallehrgang im Juli wurde als sehr positiv bewertet. Die Möglichkeit, einmal für zwei Tage bei dieser Mannschaft zu sein, einen Workshop durchzuführen und die Spielvor- wie -nachbereitung mitzuerleben, führte zu vielen individuellen Gesprächen.

## Generelle Diskussion

Der erarbeitete Ansatz ist sehr vielversprechend. Durch die Bündelung der Ressourcen bei den Online-Schulungen konnten die finanziellen Ressourcen deutlich besser bei den Vor-Ort-Betreuungen eingesetzt werden. Dies ermöglicht sowohl im digitalen Raum wie Vor-Ort deutlich mehr Kontaktmöglichkeiten. Diese stellen eine wichtige Grundlage dar, um die Hürden abzubauen, auf den/die Sportpsychologin oder Sportpsychologen zuzugehen. Daraus ergaben sich auch eine Vielzahl an Einzelgesprächen vor Ort.

Die Fortführung dieses Projekts ist in Zukunft nur möglich, wenn weitere finanzielle Ressourcen in dem Bereich freigegeben werden. Der Ansatz ist zwar durch den gezielten Einsatz der finanziellen Mittel sehr ressourcenschonend, dennoch ist eine Aufstockung der Mittel für ein nachhaltiges Betreuungskonzept notwendig.

Inhaltlich sehen wir bei den Themen nur geringen Anpassungsbedarf. Eine Herausforderung wird sein, regelmäßige Online-Termine anzubieten, die von einer Großzahl der Spielerinnen und Spieler wahrgenommen werden können. Bestimmte Themen sollten künftig weiter untergliedert werden und für verschiedene Altersstufen separate Angebote geschaffen werden.

Auch andere Sportarten könnten von einem solchen Ansatz profitieren. Insbesondere Teamsportarten können von einem solchen Konzept

profitieren, bei denen die Vermittlung individueller Inhalte viele Ressourcen einnimmt.

## 5 Literatur

Kossak, T.-N., Hof zum Berge, A., Straube, S., & Schwarzenbrunner, K. (2022). Der Weg – Mein Weg. Playbook zur Mentalen Stärke im Eishockey. Unveröffentlicht.

Kossak, T.-N., Hof zum Berge, A., Straube, S., Schwarzenbrunner, K. & Ehrlespiel, F. (2023, 18. Mai). Digital-analoges-Schulungskonzept im Eishockey [Poster]. 55. Asp Jahrestagung. Human Performance – Assessment, Intervention & Analysen, Stuttgart, Germany.

# Sportanlagen und Sporttechnologie



# Umweltgerechter Kunststoffrasen durch verringerten Kunststoffaustausch und -verbrauch (UKuRa)

AZ 071402/21-23

*Martin Thieme-Hack (Projektleitung), Maximilian Karle, Paul Pöhler*

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

## 1 Problemstellung

Die aktuelle Diskussion um den Austrag von Mikroplastik aus Sportfreianlagen mit Kunststoffrasen erfordert vor dem Hintergrund der europäischen Kunststoffstrategie (European Commission 2018) neue Lösungen der Verwendung von Stoffen, sowohl für die gefüllte Polschicht als auch der Stoffe für die Fasern. In Zukunft soll die Verwendung von Kunststoff-Füllstoff auf Sportplätzen nicht mehr möglich sein, da ein Inverkehrbringen von primärem Mikroplastik, also Partikel < 5 mm, wozu synthetisches Füllmaterial zählt, untersagt werden soll (Europäische Kommission 2023), sofern das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union kein Veto einlegen. Danach ist es nach einer Übergangsfrist von acht Jahren nicht mehr zulässig, die polymeren Füllmaterialien für Kunststoffrasensysteme in Verkehr zu bringen. Bei der Planung von Sportfreianlagen mit Kunststoffrasensystemen stellt sich daher die Frage, welche Stoffe, insbesondere welche Füllstoffe verwendet werden können. Bestandsanlagen haben die Option, ihren Vorrat an synthetischen Füllstoffen aufzubrauchen, und können auch nach der Übergangsfrist noch in Betrieb bleiben. Alternativen sind bereits vorhanden, bisher ist jedoch wenig bekannt, welchen Einfluss alternative Füllstoffe oder Systeme mit einem Verzicht auf Füllstoffe auf das Spielverhalten der Nutzer haben (ECHA o. J.).

Von der European Chemicals Agency (ECHA) bisher noch nicht im Fokus, aber gleichwohl ein Problem für die Umwelt, ist sekundäres Mikroplastik aus Faserverschleiß, da dieses wie die Füllstoffe über die Abführung des Regenwassers direkt in Gewässer geleitet werden, über Versi-

ckerung dem Grundwasser zugeführt werden oder auf anderem Wege in die Umwelt geraten, z. B. durch die Nutzerinnen und Nutzer, in die Luft, ins Wasser oder in den Boden. Insbesondere ist bisher unbekannt, mit welchen Mengen hier gerechnet werden muss. Die Bestimmung der Mengen ist Grundlage für Möglichkeiten und Grenzen von Rückhaltesystemen und der Abwasserbehandlung.

Auch ist nicht untersucht, ob Faserqualitäten Einfluss auf die Mengen des Austrags haben.

## 2 Methodik

Der aktuelle Forschungsstand wurde durch eine Literaturrecherche dargestellt. Fragestellungen, bei denen keine oder unzureichend Ergebnisse verfügbar sind, wurden selbst bearbeitet.

Für die Beurteilung der Spieleigenschaften wurde eine Umfrage von Spielerinnen und Spielern zu den unterschiedlichen Kunststoffrasensystemen durchgeführt. Hier wurden Spieleigenschaften subjektiv beurteilt und statistisch ausgewertet, um beurteilen zu können, wie die Nutzerinnen und Nutzer die unterschiedlichen Kunststoffrasensysteme wahrnehmen und inwieweit Unterschiede in der Bespielbarkeit festgestellt werden.

Der Austrag von sekundärem Mikroplastik durch Faserverschleiß wurde durch eine eigens entwickelte Methode auf Kunststoffrasensystemen untersucht. Hierbei wurde der Verschleiß von Kunststoffrasenfasern bei unterschiedlichen Systemaufbauten, bei unterschiedlichem Alter und in unterschiedlichen Nutzungszonen untersucht.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Literaturrecherche Mikroplastikaustrag Kunststoffrasensysteme

Ein Austragsweg, der untersucht wird, ist der Austrag in anliegende Flächen wie Wege und Rasenflächen. Weiher et al. (2017) führten hierzu Untersuchungen auf Plattenflächen mit einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> durch. Rasenflächen wurden mit einer Breite von 0,5 m und Tiefe von 5 cm beprobt. Die ermittelte Austragsmenge ergab 260 bis 300 kg pro Jahr. Lindberg (2018 in Lassen et al. 2020) gibt eine Schätzung von 250 kg pro Jahr an. Eine Forschungskampagne aus Norwegen führte eine Untersuchung von 592 Spielen auf 343 Feldern mit insgesamt 12.591 Spielerinnen und Spielern durch (Norges Forskningsråd et al. 2017). Die Studie kommt auf ein Ergebnis von 40 kg pro Spielfeld und Jahr.

Ebenfalls gibt es einen Füllstoffverlust durch Schneeräumung, welcher in der Studie von Løkkegaard et al. (2019) untersucht wird. Hier gibt Wallberg (2016 in Løkkegaard et al. 2019) eine Menge zwischen 20 bis 30 Liter Füllstoff an, der durch Schneeräumung entfernt wird, teilweise aber auch wieder in das System zurückgeführt wird. Dies würde 11 % des gesamten Füllstoffverlustes ausmachen, unter der Berücksichtigung das 1/3 zurückgeführt und 2/3 entsorgt werden. Løkkegaard et. al. (2019) nehmen einen Füllstoffverlust von 0 bis 11 % pro Jahr an.

Bø et al. (2020) geben eine jährliche Nachfüllmenge vom synthetischen Füllstoff von 3,4 bis 6,4 Tonnen an, stellen diese Menge aber als unsicher dar. Die Mengen für den Füllstoffsaustrag wurden durch die angegebenen Mengen beim Einbau und der am Ende der Lebenszeit angegebenen Mengen von einem Recyclingwerk bei der Entsorgung des Systems ermittelt. Die Menge beim Einbau wird von der Menge bei der Entsorgung subtrahiert und ergibt die Austragsmenge nach Bø et al. (2020).

Die Studien zu Füllstoffsausträgen sind teilweise kritisch zu betrachten. Viele Zahlen beruhen auf Schätzungen, wie dies beispielsweise

bei Hann et al. (2018) der Fall ist. So verweisen Hann et al. (2018) auf den stark schwankenden Austragsfaktor der Schneeräumung, der stark nach Region und Klimabedingungen variiert. Auch die Betrachtung der unterschiedlichen Instandhaltungsmaßnahmen, welche von Fleming et al. (2020) beschrieben werden, sind ein maßgeblicher Faktor, der in den Forschungen nur teilweise berücksichtigt wird, aber die Austragsmenge stark beeinflussen kann.

Durch bewusstere Nutzung, aber auch Anpassung der Instandhaltungsmaßnahmen sollen die Austragswege von Mikroplastik in die Umwelt verhindert bzw. auf ein Minimum reduziert werden. Durch Verdichtung des Füllstoffes, der bei Quarzsand, synthetischen Füllstoffen und organischen Füllstoffen durch die Nutzung und Instandhaltung eintritt, ist eine optische Reduzierung der Füllhöhe zu erkennen. Durch Auflockerung des Füllstoffes kann diese Verdichtung aufgehoben werden und somit eine Nachfüllung von Füllstoff reduziert werden. Bei einer Verdichtung von 0,1 bis 1 mm ist ein Nachfüllen von 2,5 bis 5 t für einen gesamten Platz erforderlich, dieser kann durch eine Auflockerung des Füllstoffes eingespart werden (FLL 2022).

#### 3.2 Spieleigenschaften von Kunststoffrasensystemen

Bei der Bewertung der Standfestigkeit sind Zusammenhänge mit der Art des Füllstoffs erkennbar. Hier werden natürliche Füllstoffe und synthetische Füllstoffe am besten bewertet.

Beim Ballrollverhalten liegt ein schwach signifikanter Unterschied zwischen synthetischem Füllstoff-Sand ( $p=0,026$ ) und Sand-Kork ( $p=0,035$ ) vor. Mineralisch verfüllte Kunststoffrasensysteme sind am schlechtesten bewertet worden (mean= 1,83).

Beim Ballsprungverhalten (Ballreflexion) lässt sich nur ein tendenzieller Unterschied zwischen den Systemen feststellen. Der natürlich verfüllte Kunststoffrasen wird gut bis eher gut bewertet ( $M=1,57$ ). Bei mineralisch verfüllten Systemen wird das Ballsprungverhalten eher schlechter wahrgenommen ( $M=2,1$ ).

Die Platzhärte wird ähnlich wie das Ballsprungverhalten bewertet. Die mit natürlichen Stoffen verfüllten Systeme schneiden am besten ab ( $M=1,6$ ). Ebenfalls wird das ungefüllte/teilverfüllte System gut bewertet, was die Eigenschaften der Platzhärte betrifft. Die ungefüllten und synthetisch gefüllten Systeme werden annähernd gleich bewertet. Insgesamt wird deutlich, dass die Nutzenden eine Füllung des Platzes nicht benötigen, um die Platzhärte gut zu bewerten. Ebenfalls verdeutlicht die Umfrage, dass die Nutzenden ungefüllte Plätze den mineralischen Plätzen in Bezug auf die Platzhärte vorziehen. Es ist anzunehmen, dass die Platzhärte mit zunehmendem Platzalter schlechter bewertet wird (ÖISS o. J.). Mangelnde Instandhaltung und die Nutzungsintensität könnte die Platzhärte ebenfalls beeinflussen.

Nutzerinnen und Nutzer nehmen auf ungefüllten bzw. teilgefüllten Kunststoffrasensystemen die schutzfunktionellen Eigenschaften am besten wahr. Am schlechtesten werden die mineralisch verfüllten Systeme wahrgenommen. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass als Ersatz zu synthetischen Füllstoffen die natürlichen Füllstoffe oder ungefüllten bzw. teilgefüllte Systeme bevorzugt werden.

### 3.3 Austrag von sekundärem Mikroplastik

Der Vergleich der sandgefüllten Kunststoffrasenplätze und den synthetisch verfüllten Kunststoffrasenplätzen zeigt, dass der Masseverlust der Fasern im Durchschnitt zwischen einem und acht Prozent in den Lebensjahren null bis zehn liegt. Ab dem zehnten Lebensjahr steigt der Masseverlust leicht an. Bei der Betrachtung des Masseverlustes pro Jahr ist in den ersten drei Lebensjahren zwischen einem und drei Prozent festgestellt worden. In den Lebensjahren drei bis zehn flacht dieser Verlust wieder deutlich ab, um dann ab dem zehnten Lebensjahr deutlicher anzusteigen. Der Maximalwert liegt bei einem Platz mit einem Verlust von 2,5 % pro Jahr.

Um eine mögliche Verbindung zwischen Füllstoff und Faserverschleiß zu ermitteln, wurden

die Systeme gegenübergestellt. Der erwartete Unterschied beim Verschleiß zwischen synthetischer Füllstoff-Sand-Füllung und einer reinen Sandfüllung ist zwar optisch sichtbar, konnte aber statistisch nicht nachgewiesen werden. Die beiden Füllstoffe können in den 95%-Konfidenzintervallen nicht als signifikant unterschiedlich angesehen werden. Aufgrund der hohen Streuung der Messergebnisse und der variablen Annahmen ist die folgende Hochrechnung nur eine grobe Schätzung und ist mit Vorsicht zu bewerten. Ein hochgefüllter Kunststoffrasen würde nach der Berechnung zwischen 10 kg und 90 kg Mikroplastik pro Jahr pro Platz nur durch Faserverlust und Abrieb ohne Berücksichtigung des Füllstoffverlustes verlieren.

## 4 Diskussion

Unbefriedigend ist insgesamt die Situation beim Recycling. Offenbar ist insbesondere beim Recycling von Kunststoffrasen das Bewusstsein wenig ausgeprägt, was am Ende mit den Stoffen passiert. Die Industrie bietet zwar in der Theorie viele Verfahren an, aber durch den geringen Rohstoffpreis beim Rohöl und die schlechtere Qualität von Recycling-Kunststoffen gibt es kaum Märkte für diese Stoffe. Die Frage, wie das beim Kunststoffrasen geändert werden kann, muss offen bleiben. Nicht untersucht werden konnten Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen oder abbaubare Kunststoffe. Theoretisch soll es diese auf dem Markt geben, erkennbar oder in nennenswerten Stückzahlen waren diese im Rahmen dieses Projektes allerdings nicht feststellbar.

Ebenfalls unbeachtet sind die Fragen rund um den Carbon Footprint der Kunststoffrasensysteme. Akteure im Markt haben die Berechnung von  $\text{CO}_{2e}$  zwar begonnen, welche Unterschiede und welche Optimierungsmöglichkeiten es geben könnte, ist hier auch offen geblieben. Auch wenn erkannt wurde, dass Kunststoffe eine Vielzahl von unerwünschten, nicht umweltgerechten Stoffen enthalten können, konnten keine Vorschläge für einen vollständigen Prüfkatalog mit wissenschaftlich fundierten Grenzwerten erarbeitet werden. Die sehr wünschenswerte

Deklarationspflicht ist zwar erkannt worden, es steht aber zu befürchten, dass dieses bei den Herstellern nicht durchsetzbar ist, auch weil es für die Industrie jegliche Entwicklungsarbeit hemmen würde.

## 5 Literatur

European Chemicals Agency (ECHA) (Hg.) (o. J.): Mikroplastik. Online verfügbar unter <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/microplastics>, zuletzt geprüft am 29.11.2023.

Weijer, Annet; Knol, Jochem; Hofstra, Ulbert (2017): Verspreiding van infill en indicatieve massabalans. Hg. v. Branchevereniging Sport en Cultuurtechniek (BSNC).

European Commission (Hg.) (2018): A European Strategy for Plastics in a Circular Economy, Communication from the commission of the european parliament, the council, the European economic and social committee of the regions vom 16.01.2018 (52018DC002).

Europäische Kommission (Hg.) (2023): Verordnung (EU) zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich synthetischer Polymermikropartikel vom 25.09.2023 (L238/67).

Lassen, Carsten; Ihlemann, Christina; Skyggebjerg, Jan Gravers; Christensen, Frans; Johansen, Marius; Malmgren-Hansen, Bjørn et al. (2020): Kunstgræsbaner. Alternativer til gummigranulat som infill og erfaringer med banepleje. Miljøprojekt nr. 2124. Hg. v. Dänisches Amt für Umweltschutz. Online verfügbar unter <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2020/02/978-87-7038 164-2.pdf>, zuletzt geprüft am 04.12.2023.

Norges Forskningsråd; Miljølare.no; Norsk Institutt for Luftforskning; Akvaplan-Niva; SINTEF; Havforskningsinstituttet (2017): Sjekk kunstgressbanen. Forskningskampanjen 2017. Rapport fra undersøkelser om svinn av gummigranulat fra kunstgressbaner, gjennomført av over 12 000 elever og spillere høsten 2017. Online verfügbar unter <https://www.miljolare.no/aktiviteter/kunstgress/rapport>, zuletzt geprüft am 11.10.2023.

Løkkegaard, Hanne; Malmgren-Hansen, Bjørn; Nilsson, Nils H. (2019): Mass balance of Rubber granulate lost from artificial turf fields, focusing on discharge to the aquatic environment. Danish Technological Institute.

Wallberg, Petra; Keiter, Susanne; Andersen, Tove Juhl; Nordenadler, Marianne (2016): Däckmaterial i konstgräsplaner. Rapport. Hg. v. Sweco environment ab. Online verfügbar unter [https://www.sdab.se/media/1120/daeckmaterial\\_i\\_konstgraesplaner.pdf](https://www.sdab.se/media/1120/daeckmaterial_i_konstgraesplaner.pdf), zuletzt geprüft am 11.10.2023.

Bø, S. M.; Bohne, Rolf André; Aas, Bjorn; Hansen, Linda Marie (2020): Material flow analysis For Norway's artificial turfs. Conference Paper (IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 588). Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/346082070\\_Material\\_flow\\_analysis\\_for\\_Norway%27s\\_artificial\\_turfs\\_Material\\_flow\\_analysis\\_for\\_Norway%27s\\_artificial\\_turfs](https://www.researchgate.net/publication/346082070_Material_flow_analysis_for_Norway%27s_artificial_turfs_Material_flow_analysis_for_Norway%27s_artificial_turfs), zuletzt geprüft am 08.08.2023.

Hann, Simon; Sherrington, Chris; Jamieson, Olly; Hickman, Molly; Kershaw, Peter; Bapasola, Ayesha; Cole, George (2018): Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products. Final Report. Eunomia; ICF. London/Bristol. Online verfügbar unter [https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2018-04/microplastics\\_final\\_report\\_v5\\_full.pdf](https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2018-04/microplastics_final_report_v5_full.pdf), zuletzt geprüft am 08.08.2023.

Fleming, Paul Richard; Watts, Charlie; Forrester, Stephanie (2020): A new model of third generation artificial turf degradation, maintenance interventions and benefits. Special Issue Article. In: Journal of Sports Engineering and Technology 237, S. 1–15. Online verfügbar unter <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1754337120961602>, zuletzt geprüft am 23.10.2023.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) (Hg.) (2022): Fachbericht Kunststoffsportböden. Nachhaltige Kunststoffbelagsauswahl für Sportfreianlagen. 1. Ausgabe. Bonn.

Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau (ÖISS) (Hg.) (o. J.): Forschungsergebnisse. Online verfügbar unter <https://www.oeiss.org/oeiss/de/service/forschung/forschungsergebnisse/>, zuletzt geprüft am 17.10.2023.

# Prüfung des Reaktionsverhaltens von Tretschichten bei Belastung

AZ 071403/22-24

*Olaf Hemker (Projektleitung), Alexandra Rauch, Sigrid Bertelmann und Julia Bartke*

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

## 1 Problem

Der Pferdesport findet überwiegend auf Sandböden mit und ohne Zuschlagstoffen in Reithallen und auf Reitplätzen statt (Egenvall et al., 2021). Diese Reitböden haben jedoch unterschiedliche Eigenschaften. Neben der Materialzusammensetzung spielen auch der Wassergehalt, die Dichte und der allgemeine Aufbau des Platzes eine Rolle für die Tretschichtegenschaften, ebenso wie der Pflegezustand, das Alter, die Pferdesportdisziplin und die Nutzungs frequenz (Hayati et al., 2020; van der Heijden, 2018). Allgemein besteht Einigkeit darüber, dass die funktionellen Eigenschaften eines Sportbodens einen entscheidenden Beitrag zur sportlichen Leistung, wie auch zur Verletzungsgefahr und -vermeidung, leisten (Hayati et al., 2020; Hemker et al., 2022). So ist die Erfassung der Eigenschaften des Reitbodens von großer Bedeutung für eine individuelle und optimale Gestaltung des Trainings.

Obwohl Sandböden in verschiedenen Sportdisziplinen zum Einsatz kommen, fehlt ausreichendes Wissen über deren sportfunktionelle Eigenschaften (Hayati et al., 2020). Normen und Reglementarien für Reitböden finden sich zwar sowohl auf nationaler Ebene, in Form der Reitplatzempfehlungen: Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Reitplätzen (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2014), als auch auf internationaler Ebene, beispielsweise im Equine Surfaces White Paper der Fédération Équestre Internationale (FEI) (Hobbs et al., 2014) oder in amerikanischen Normen (ASTM International, 2024). Spezielle Formulierungen von Anforderungen an die sportfunktionellen Eigenschaften

sind aktuell jedoch noch sehr vage. Insgesamt fehlen einheitliche Begriffe, Messgeräte und Messwerte, um die Anforderungen an Reitböden aus sportlicher Sicht zu definieren (Hemker et al., 2022). Mag diese Problematik im ersten Eindruck eher nachrangig erscheinen, so wird auf den zweiten Blick deutlich, wie komplex und vielschichtig die aussagekräftige Beprobung und Untersuchung von Böden sowie die spätere Einordnung der Messergebnisse ist.

Es gibt jedoch bereits verschiedene Versuche, die Reitbodeneigenschaften im Feld und im Labor zu bestimmen. Einige Prüfverfahren versuchen die Bewegung des Pferdes zu imitieren und/oder arbeiten mit künstlichen Hufen. Während manche sehr unhandliche Konstruktionen bilden, welche nur mit Hilfsmitteln wie Pkw oder Traktor bewegt und eingesetzt werden können, gibt es bei den handlicheren Geräten Unsicherheiten bzgl. der Qualität der Messergebnisse (Hemker et al., 2022). Auch ist es möglich einen Untergrund indirekt zu beproben, indem Bewegungsanalysen mit Kraftmessplatten, Kraftmesshufschuhen, Beschleunigungssensoren oder Videoanalysen durchgeführt werden (Hemker et al., 2022). Dies ist ebenfalls mit erheblichem Aufwand verbunden.

Aus dieser Problematik entsteht der Wunsch nach möglichst einfach anwendbaren Messverfahren, um die funktionellen Eigenschaften von Tretschichten beschreiben und bewerten zu können. Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, unterschiedliche Prüfgeräte aus beispielsweise dem Straßenbau oder der Sportplatzprüfung auf ihren Einsatz auf Reitböden (mit der Tretschicht als oberste Schicht) hin zu untersuchen. Im Vordergrund steht hier neben der

Validierung über Messergebnisse unter Labor- und Feldbedingungen auch die Handhabung der Geräte in der Praxis. Besonderes Augenmerk soll auf dem modifizierten dynamischen Plattendruckgerät liegen, da dieses seit Jahren von Gutachterinnen und Gutachtern in der Praxis eingesetzt wird.

## 2 Methode

Nach anfänglicher Recherche wurden folgenden Prüfgeräte für die anschließenden Versuche ausgewählt:

- › Minirammsonde
- › Ausstechzylinder
- › Feuchtesonden
- › Flügelsonde
- › Mittelgroßer Scherkranz
- › Modifiziertes dynamisches Plattendruckgerät
- › Clegg-Hammer
- › Vienna Surface Tester (VST)
- › HIC-Gerät
- › Prüfkegel
- › weiterentwickelter künstlicher Sportler
- › Drehwiderstandsmessgerät

In der Versuchshalle der Hochschule Osnabrück wurde eine Versuchsfläche mit einem Drei-Schicht-Reitplatzaufbau nach den Reitplatzempfehlungen aufgebaut. Die Tretschicht besteht aus Sand ohne Zuschlagstoffen. Auf der Versuchsfläche wurden in der Tretschicht vier verschiedene Wassergehaltsbereiche (erdfeucht, nass, sehr nass, geflutet) mit zwei verschiedenen Dichtezuständen (locker, dicht) kombiniert. In jedem Zustand wurden sechs bis acht Versuche mit jedem Prüfgerät durchgeführt.

Alle Prüfgeräte, welche sich in der Versuchshalle als geeignet erwiesen, wurden anschließend in Feldversuchen auf insgesamt 13 unterschiedlichen Reitplätzen und -hallen eingesetzt. Es wur-

den acht Reitplätze, drei Reithallen, ein Roundpen und eine Führanlage untersucht. Darunter waren sechs Tretschichten aus Sand mit Vlies als Zuschlagstoff, vier Tretschichten aus reinem Sand, eine Tretschicht aus Sand mit Holz als Zuschlagstoff und jeweils eine Tretschicht nur aus Holzhäckseln und nur aus Teppichhäckseln.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Versuche in der Versuchshalle

Die Ergebnisse aus Ausstechzylinder und Sondierung mit der Minisonde zeigen, dass es gelungen ist, die Fläche in mehreren eindeutig voneinander unterscheidbaren Zuständen (Wassergehalt und Dichte) herzustellen. Es ist außerdem gelungen, einen einzelnen Zustand mehrmals möglichst ähnlich wiederherzustellen.

Bei den Wassergehaltsmessungen mittels Feuchtesonden lassen sich die Zustände nass und erdfeucht bei beiden eingesetzten Sonden eindeutig differenzieren. Die Beobachtungen aus den Vorversuchen bestätigen sich in den Hallenversuchen.

Sowohl mit der Flügelsonde als auch mit dem mittleren Scherkranz lassen sich die Zustände nicht klar voneinander abgrenzen. Auch bei Messungen im Plattenabdruck des modifizierten dynamischen Plattendruckversuchs ist dies nicht möglich. Daher werden diese Geräte für die Feldversuche ausgeschlossen.

Für den modifizierten dynamischen Plattenabdruck und den Clegg-Hammer zeigt sich ein sehr ähnliches Bild. Die Dichtezezustände sind eindeutig zu unterscheiden, während der Wassergehalt hier keinen nennenswerten Einfluss auf die Messergebnisse hat.

Während der Messungen mit dem Prüfkegel traten technische Probleme auf, weshalb hier weitere Messreihen im Feld durchgeführt werden sollen.

Der VST ermittelt eine Vielzahl an Werten. Auch hier lassen sich die Dichtezezustände deutlich diffe-

renzieren, während die Wassergehalte kaum Einfluss zu nehmen scheinen. Bei Auswertung der Energierückgewinnung fällt auf, dass im lockeren Zustand die Messwerte unterhalb des Messbereichs des Gerätes liegen. Die Auswertung der minimalen und maximalen Abdruckdurchmesser ergibt, dass sich auch hier der dichte und der lockere Zustand eindeutig unterscheiden.

Der erweiterte künstliche Sportler erfüllt aufgrund seiner Form, Größe und Handhabung nicht die vorab definierten Anforderungen. Zudem zeigte sich in den Testläufen in der Versuchshalle, dass das Gerät aufgrund seiner Konstruktion nicht für die Untersuchung von (Reit-) Sanden geeignet ist.

Das Drehwiderstandsmessgerät erwies sich als unhandlich und aufwendig im Transport. Zudem konnten weder in lockerem noch in dichtem Zustand Messwerte innerhalb des Messbereichs der Anzeige erzielt werden. Die Werte lagen deutlich unterhalb des Beginns der Skala.

### 3.2 Versuche im Feld

Die Sondierungen mit der Minisonde lassen sich auf der überwiegenden Anzahl der Tretschichten gut durchführen. Wie in den Messergebnissen zu sehen, können Zuschlagstoffe wie Vlies oder Holz jedoch zu höheren Schlagzahlen führen.

Die Dichtebestimmung im Feld erweist sich als äußerst schwieriges Unterfangen. Aufgrund der sehr häufig auftretenden Sperrsichtbildung und der Verwendung von Zuschlagstoffen ist der Einsatz von Aussteckzylindern nicht geeignet. Auch die Verwendung eines Densitometers wird durch die Zuschlagstoffe behindert.

Die zwei eingesetzten Feuchtesonden geben zwar die Relation der einzelnen Tretschichten zueinander vergleichbar wieder, doch liegen die Ergebnisse der Geräte in deutlich unterschiedlichen Wertebereichen.

Die Ergebnisse des modifizierten dynamischen Plattendruckversuchs entsprechen den Erwartungen. So zeigen sich Tretschichten aus reinem

Sand als am wenigsten elastisch, gefolgt von Tretschichten aus Sand mit Vlies und Sand mit Holz. Tretschichten aus Teppichhäcksel erreichen die höchste Elastizität. Der erste Stoß scheint aufgrund vielfältiger Umwelteinflüsse nicht repräsentativ. Das Verhältnis aus zweitem zu drittem Stoß gibt ein Maß für die plastische Verformbarkeit eines Bodens, während die folgenden Stöße ein Maß für die elastische Verformbarkeit eines Bodens darstellen. Eine standardmäßige Erfassung von neun Stößen ist aktuell jedoch in der Software nicht vorgesehen.

Ein offenbar systematischer Fehler durch den Tausch eines defekten Kabels macht eine weitere Auswertung der Clegg-Hammer-Ergebnisse unmöglich.

Die Ergebnisse des VST entsprechen ebenfalls den Erwartungen und gleichen zudem denen des modifizierten dynamischen Plattendruckversuchs. So werden anhand der Ergebnisse reine Sande eher als hart und plastisch verformbar eingestuft, während Sand mit Vlies-Zusatzstoffen im weicherem und elastischeren Wertebereich liegt.

Das HIC-Gerät überzeugt durch seine Handhabung sowie den genormten Aufbau. Neben der ausgegebenen Aufprallbeschleunigung könnten auch weitere Werte wie die Energierückgewinnung und der Kraftabbau errechnet werden. Hierzu wäre jedoch eine tiefergehende Anpassung der Software nötig.

Der Prüfkegel zeigt sich in den Feldversuchen ausgesprochen unhandlich. Zudem ist die Konstruktion noch nicht ausreichend an die nicht immer optimalen Bedingungen angepasst. So werden z.B. durch fehlende lotrechte Ausrichtung oder Umkippen des Gerätes die Messungen verfälscht.

## 4 Diskussion

Auf Basis der durchgeführten Versuchsreihen wird das modifizierte dynamische Plattendruckgerät zur Untersuchung der funktionellen Eigenschaften eines Reitbodens empfohlen.

Hiermit ist es mit angemessenem Aufwand möglich, Aussagen über die Härte, den Kraftabbau und die Elastizität an mehreren Stellen eines Platzes zu tätigen. Durch die serienmäßige Produktion ist die Verfügbarkeit auf dem Markt gegeben. Lediglich bei der Software wäre eine Adaption wünschenswert.

Ebenso wie der modifizierte dynamische Plattendruckversuch liefert der VST valide Ergebnisse. Hinsichtlich der Handhabung und der Auswertungsmöglichkeiten wird dieses Gerät sogar noch bevorzugt. Allerdings ist der VST bisher nicht standardmäßig auf dem Markt erhältlich und somit nicht frei verfügbar.

Die Feuchtesonden überzeugen in der In-situ-Anwendung, eignen sich jedoch bestenfalls für die Ermittlung von Feuchtigkeitsveränderungen, gemessen immer mit der gleichen Sonde. Für vergleichbare Feuchtigkeitswerte ist bisher die Wassergehaltsbestimmung mittels Ofentrocknung unerlässlich, diese bietet aber keine in-situ-Ergebnisse. Als Schnellverfahren vor Ort sind beispielsweise Mikrowellengeräte geeignet.

Der Clegg-Hammer erwies sich im Handling als sehr angenehm, es sind viele Versuche in kurzer Zeit möglich. Aufgrund der aufgetretenen technischen Probleme können die Messwerte jedoch nicht beurteilt werden. Hier werden ebenfalls weitere Untersuchungen empfohlen.

Ungelöst ist die Problematik der Dichtebestimmung. Aufgrund der überwiegend beobachteten Sperrsichtbildung sollte die Aussagekraft eines Dichtewertes hinsichtlich der funktionalen Eigenschaften der Tretschicht kritisch hinterfragt werden. Da anzunehmen ist, dass die (Aus-)Bildung der Sperrsicht die funktionalen Eigenschaften des Reitbodens erheblich beeinflusst, wird gezielte Forschung in diesem Bereich ausdrücklich empfohlen.

Die Scherfestigkeit einer Tretschicht kann bislang nicht zuverlässig ermittelt werden.

Der Prüfkegel könnte aufgrund seiner Kegelform wichtige Bodeneigenschaften ermitteln. Für die Einsatztauglichkeit im Feld muss die

Konstruktion jedoch grundlegend überarbeitet werden.

## 5 Auswertung vorhandener Daten mit dem modifizierten dynamischen Plattendruckversuch

Für die Auswertung wurden Datensätze gesichtet, welche von verschiedenen Prüflaboren in den letzten Jahren aufgenommen und im Rahmen des Forschungsvorhabens an die Hochschule Osnabrück übermittelt wurden.

Eine Interpretation der vorhandenen Daten ist nicht möglich. Durch fehlende Zusatzinformationen und womöglich unterschiedliche Handhabung in der Versuchsdurchführung ist eine Beurteilung der Bodenverhältnisse allein aufgrund der Datenlage nicht realisierbar. Durch den Versuch, die Daten trotzdem zu interpretieren und einzuordnen, könnten falsche Schlüsse gezogen werden. Mögliche Effekte sind nicht zwangsläufig repräsentativ für die Grundgesamtheit und würden als allgemeingültig fehlinterpretiert. Zudem gilt es, kritisch zu hinterfragen, ob die zur Verfügung stehenden Datensätze eine geeignete Stichprobe darstellen (Einbock, 2018). Es ist anzunehmen, dass v.a. neu eingebaute Tretschichten und solche mit unzureichenden sportfunktionellen Eigenschaften enthalten sind. Somit steht die Stichprobe möglicherweise nicht repräsentativ für die Gesamtheit an Reitplätzen.

In Gesprächen mit den Prüflaboren und dem Forschungsbeirat zeigte sich, dass bisher keine einheitliche Durchführung und Dokumentation der Messungen mit dem modifizierten dynamischen Plattendruckgerät etabliert wurde. Auch wurden Zusatzinformationen nicht systematisch erfasst, sondern eher zufällig nach Fragestellung erhoben. Hier empfiehlt sich die Ausarbeitung eines einheitlichen Protokolls, um die Vergleichbarkeit zukünftiger Daten zwischen den einzelnen Anwendenden zu gewährleisten.

## 6 Literatur

- ASTM International. (2024, Mai 3). Search results for: „equine surfaces“. ASTM International. <https://www.astm.org/catalogsearch/result/?q=equine+surfaces>.
- Egenvall, A., Roepstorff, L., Peterson, M., Lundholm, M., & Hernlund, E. (2021). The Descriptions and Attitudes of Riders and Arena Owners to 656 Equestrian Sport Surfaces in Sweden. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 798910. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.798910>.
- Einbock, S. (2018). Statistik für Ingenieure (mit Excel): Datenauswertung schnell verstehen & anwenden. Books on Demand.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.). (2014). Reitplatzempfehlungen: Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Reitplätzen (2. Ausg.). Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- Hayati, H., Eager, D., Peham, C., & Qi, Y. (2020). Dynamic Behaviour of High Performance of Sand Surfaces Used in the Sports Industry. *Vibration*, 3(4), 410–424. <https://doi.org/10.3390/vibration3040026>.
- Hemker, O., Vornholt, C., & Bertelmann, S. (2022). Sondierung zu Zuschlagstoffen in Reitböden. Bundesinstitut für Sportwissenschaften.
- Hobbs, S., Northrop, A., Mahaffey, C., Martin, J., Clayton, H., Murray, R., Roepstorff, L., & Peterson, M. (2014). Equine Surfaces White Paper.
- van der Heijden, R. (2018). Engineered Equestrian Riding Surfaces, Master's Theses and Capstones, University of New Hampshire. <https://scholars.unh.edu/thesis/1196>.

# Entwicklung automatischer Bildanalyseverfahren auf Basis künstlicher Intelligenz zur Bestimmung von kinematischen Parametern zur Analyse der sportlichen Technik im Kanu-Rennsport und Kanu-Slalom (KinematikKanu)

AZ 071503/21-23

*Daniel Matthes, Patrick Frenzel und Mirco Fuchs (Projektleitung)*

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Laboratory for Biosignal Processing, Professur Computer Vision und Maschinelles Lernen

## 1 Problemstellung

Die präzise Ausführung der Fahrtechnik ist im Kanu-Rennsport eine Grundvoraussetzung für das Erreichen von Spitzeneleistungen und wird daher im Training des Leistungssportbereichs regelmäßig anhand von Videoaufzeichnungen analysiert. Ziel ist es, individuelle Abweichungen vom Leitbild (Kahl 2005) und damit Leistungsreserven aufzudecken. Hierzu müssen die in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Parameter anhand eines Bildes bestimmt werden. Dieses etablierte Verfahren wird heute zwar bereits computergestützt durchgeführt (Englert und Lehmann 2007), der Gesamtprozess als solcher ist jedoch sehr zeitaufwendig und erfordert ein hohes Maß an Interaktion und Expertise. Er erfordert die Auswahl eines geeigneten Paddelschlagzyklus aus der Videosequenz, die Bestimmung von fünf Schüsselzeitpunkten innerhalb des ausgewählten Zyklus und schließlich die Annotation von bis zu vierzig Winkeln bzw. Distanzen in den entsprechenden Bildern. Die Bewertung der Fahrtechnik erfolgt somit ausschließlich anhand weniger ausgewählter Momente und wird aufgrund der Komplexität nur im Hochleistungssport eingesetzt.

Das primäre Ziel des hier vorgestellten Projektes „KinematikKanu“ war es, die Analyse der Fahrtechnik im Kanu-Rennsport durch die Entwicklung von Verfahren auf der Basis aktueller Methoden der künstlichen Intelligenz zu auto-

matisieren und die Ergebnisse in eine Anwendungssoftware zu überführen. Neben einer deutlichen Beschleunigung des Analyseprozesses und einer Minimierung des Anteils manueller Interaktionen sollten hierbei auch Grundlagen für neue Analysemöglichkeiten, bspw. zur Bewertung des gesamten Bewegungsverlaufs in einer Videoaufnahme, geschaffen werden. Im Rahmen der Entwicklung waren zahlreiche anwendungsspezifische Herausforderungen (u.a. charakteristische Körperhaltungen, dynamische Aufnahmebedingungen im Freiwasser) zu berücksichtigen. Darüber hinaus sollte die Übertragbarkeit der Analysemethodik auf den Bereich Kanu-Slalom sowie den Nachwuchsbereich des Kanu-Rennsports evaluiert werden.

## 2 Methode

Die Fahrtechnik im Kanu-Rennsport wird anhand von Videoaufnahmen bewertet, die im Rahmen von Messbootfahrten aufgezeichnet werden. Daraus resultieren Bildsequenzen mit einer 90°-Perspektive zur Fahrtrichtung. Diese Bilder sind die Grundlage für die Bestimmung der Technikparameter, die im Einzelnen den Abbildungen 1 und 2 entnommen werden können.

Um diese Parameter mit Algorithmen automatisch zu ermitteln, müssen zunächst einige Basisgrößen im zu analysierenden Einzelbild

bestimmt werden. Dazu gehören die Wasserlinie, das Paddel bzw. eine Linie, die das Paddel repräsentiert, und Markerpunkte am Skelett.

**Bestimmung der Basisgrößen in einem Einzelbild:** Zur Bestimmung der Wasserlinie (Unterkante des Bootes) und der Paddellinie wurde das Segmentierungsverfahren Mask R-CNN (He et al. 2017) weiterentwickelt. Aus den dabei resultierenden Masken können Wasserlinie (von Braun et al. 2020) und Paddellinie mit hoher Genauigkeit abgeleitet werden. Für die Detektion von Markerpunkten am Körper wurde ein Algorithmus zur Erkennung zweidimensionaler menschlicher Posen verwendet (Cao et al. 2017) und mit anwendungsspezifischen Daten feinjustiert. Allerdings resultieren aus diesem Verfahren nicht alle für die Technikparameterbestimmung notwendigen Gelenkpunkte. Die robuste Lokalisierung der Handpositionen am Paddel erfolgt mit einem iterativen Verfahren, das auf Basis einer Hauterkennung arbeitet und dabei die Poseninformation sowie die Paddelposition als Zusatzwissen nutzt. Anhand der automatisch bestimmten Basisgrößen ist die Berechnung der Technikparameter grundsätzlich in jedem Einzelbild möglich.

**Minimierung von Störeinflüssen:** Die skizzierte algorithmische Lösung, die auf Einzelbildanalysen basiert, unterliegt verschiedenen Störeinflüssen (z.B. Verdeckung der Hand hinter dem Körper), die letztlich zum Ausfall einzelner Technikparameter in einigen Bildern der Videosequenz führen können. Zur Minimierung derartiger Artefakte wurden Filter und prädiktive Verfahren entwickelt und implementiert, welche die verfügbaren zeitlichen Informationen in den Prozess der Technikparameterbestimmung integrieren. Auf diese Weise kann eine robuste kontinuierliche Bestimmung der Parameter nahezu über die gesamte Dauer der Videosequenz und damit eines Trainingslaufs erfolgen (vgl. Abb. 4).

**Ermitteln von Analysezeitpunkten:** Das Technikleitbild fokussiert auf die Analyse ganz bestimmter Zeitpunkte entsprechend des Paddelphasenmodells (Kahl 2005). Um diese Zeitpunkte automatisch zu bestimmen und damit den Zeitaufwand für die Analyse weiter zu reduzieren, wurde

ebenfalls eine algorithmische Lösung umgesetzt. Hierbei wird die Position des Paddels relativ zur Wasseroberfläche unter Zuhilfenahme der Handpositionen analysiert. Dabei werden Längenverhältnisse ermittelt und durch Kombination mit der Lage der Wasserlinie die gewünschten Zeitpunkte bestimmt (vgl. Abb. 4).

**Evaluierung durch Studien mit Experten:** Zur Beurteilung der Genauigkeit einer automatischen Technikanalyse ist es zunächst notwendig, den Unsicherheitsbereich in Bezug auf einzelne Parameter zu quantifizieren, den man erwarten kann, wenn unterschiedliche Expertinnen und Experten dieselben Daten bewerten. Bereits im Vorfeld des Projektes wurde eine Studie durchgeführt, um die Varianz bei der Bestimmung der Wasserlinie zu ermitteln (von Braun et al. 2020). Im Rahmen des Projektes wurden derartige Untersuchungen im Bezug auf die Varianz der Technikparameter durchgeführt und mithilfe statistischer Analysemethoden sowohl der Unsicherheitsbereich bestimmt als auch eine Bewertung der automatisch ermittelten Parameter vorgenommen.

**Evaluierung für Kanu-Slalom und Kanu-Rennsport-Nachwuchs:** Die im Bereich der Kanu-Rennsport-Leistungsklasse praktizierten Messbootfahrten sind mit einer Komplexität verbunden, die weder im Kanu-Slalom noch in den bundeseinheitlichen Landeskadertests im Kanu-Rennsport-Nachwuchs umsetzbar sind. Im Rahmen des Projektes wurde daher evaluiert, inwieweit geschwenkte Videoaufnahmen vom Ufer aus für eine Technikanalyse nutzbar sind. Hierzu wurden 13 Datensätze aufgezeichnet, die jeweils aus zwei zusammengehörenden Videoaufnahmen bestehen, von denen eine vom Motorboot und die andere vom Ufer aus aufgenommen wurde. Die Daten wurden unterschiedlichen Analysen unterzogen, um die Übertragbarkeit auf die genannten Bereiche zu prüfen.

### 3 Ergebnisse

**Software inkl. automatischer Algorithmen zur Bestimmung der Technikparameter:** Die entwickelten Algorithmen wurden in eine Soft-

ware integriert und stehen in Form einer grafischen Benutzeroberfläche zur Verfügung (vgl. Abb. 3 und 4). Als Eingangsdaten werden Videoaufnahmen in verschiedenen Formaten unterstützt. Direkt nach dem Laden eines Videos bestimmt die Software automatisch Markerpunkte, Paddelphasen und Winkel in jedem Einzelbild. Ausreißer und Lücken in den Daten werden durch eine Artefaktkorrektur unterdrückt bzw. bereinigt. Im Anschluss an eine manuelle Kalibrierung erfolgt die automatische Berechnung der Abstandsparameter.

Die Software bietet dem Anwendenden verschiedene Möglichkeiten zur Beurteilung, Modifikation und Weiterverarbeitung der Analyseergebnisse. In der Einzelbildansicht (Abb. 3) werden vorrangig die Ergebnisse eines ausgewählten Zeitpunktes in tabellarischer Form (Bereich 5) und mithilfe eines Netzdiagramms (Bereich 7) dargestellt. Im Fall eines automatisch erkannten oder manuell definierten Schlüsselzeitpunktes (Bereich 6) erfolgt in diesem Netzdiagramm auch ein Vergleich mit dem Leitbild. Die Videosteuerung (Bereich 2) ermöglicht die Navigation in der Videosequenz und hierbei u.a. ein gezieltes Ansteuern der verschiedenen Schlüsselzeitpunkte. Die in einem Einzelbild automatisch ermittelten Basisgrößen können bei Bedarf feinjustiert werden (vgl. Schaltflächen im Bereich 1). In der Zeitverlaufsansicht (Abb. 4) wird der ausgewählte Technikparameter (Bereich 4) für jeden Zeitpunkt der gesamten Aufnahme dargestellt. Das entsprechende Diagramm (Bereich 3) zeigt neben den Rohdaten und bereinigten Daten auch alle erkannten Schlüsselzeitpunkte der Paddelphasen. Zur Weiterverarbeitung der Daten werden verschiedene Exportfunktionen bereitgestellt. Damit lassen sich sowohl die in der bisherigen Analysepraxis erstellte Auswertungen reproduzieren als auch neue Bewertungsverfahren entwickeln.

Evaluierung durch Studien mit Expertinnen und Experten: Die Evaluierung erfolgte anhand von 320 Einzelbildern (95 Canadier, 225 Kajak). Sieben Expertinnen und Experten hatten die Aufgabe, die mit den entwickelten Algorithmen zu diesen Bildern automatisch bestimmten Parameter zu überprüfen und bei Bedarf zu korrigieren. Viel-

fältige statistische Analysen ermöglichen dabei die Bestimmung der Interrater-Variabilität und damit eine wichtige Bewertungsgrundlage. Ein ausgewähltes Studienergebnis ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Grafiken zeigen separat für die Disziplinen Canadier und Kajak jeweils, in wie viel Prozent der Studiendaten die Expertinnen und Experten mit den durch die Software ermittelten Technikparametern bis auf eine zulässige Toleranz übereinstimmen. Für diese Toleranz wurde ein sehr enger (gelb hervorgehoben) und ein etwas weiter gefasster Bereich (blau) gewählt, wobei Ersterer mit Zieltoleranzen des Leitbildes korrespondiert. Für die meisten Parameter wurde eine hohe Übereinstimmungsrate von mehr als 90% im Toleranzbereich von  $\pm 5^\circ$  (bei Winkel) bzw.  $\pm 5$  cm (bei Distanzen) im Vergleich zum Expertenmittel erreicht. Weiterführenden Analysen haben gezeigt, dass die Expertinnen und Experten eine um ca. 3% schlechtere Übereinstimmungsrate mit diesem Toleranzbereich erzielen. Beim durch die Software bestimmten Standbeinwinkel in der Disziplin Canadier liegt die Übereinstimmungsrate nur bei 64 %. Insbesondere für diesen Parameter zeigen die Studienergebnisse aber auch eine besonders große Interrater-Variabilität, welche weit über die Zieltoleranz des Leitbildes hinausgeht. Insgesamt unterstreichen unsere Ergebnisse, dass die entwickelte Software „KinematiKanu“ bei der Bestimmung kinematischer Parameter mit Expertinnen und Experten vergleichbare Ergebnissen erzielt.

Evaluierung für Kanu-Slalom und Kanu-Rennsport-Nachwuchs: Die durchgeföhrten Untersuchungen haben gezeigt, dass sich weder die Aufnahmen selbst noch die kinematischen Parameter der Schwenkaufnahmen und der Motorbootaufnahmen mit der für die Technikparameteranalyse erforderlichen Genauigkeit ineinander überführen lassen. Es ist jedoch möglich, geschwenkte Aufnahmen in einem gewissen Bereich ohne jegliche Transformation zur validen Bestimmung der kinematischen Parameter zu verwenden, wenn ausschließlich der Paddelzyklus im Moment des Passierens der Kamera am Ufer verwendet wird. Die Untersuchungen führen zum Schluss, dass die entwickelte automatische Technikanalyse auch auf

den Nachwuchsbereich im Kanu-Rennsport übertragbar ist.

## 4 Diskussion

Mit diesem Projekt wurde gezeigt, dass eine automatische Technikanalyse im Bereich Kanu-Rennsport unter Verwendung von modernen Bildverarbeitungsalgorithmen möglich ist. Die bisher erzielten Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit vergleichbaren Analysen durch Expertinnen und Experten. Dementsprechend bietet die Integration dieser Algorithmen in die dem Deutschen Kanu-Verband zugänglich gemachte Anwendersoftware „KinematikKanu“ nun einen völlig neuen, weitgehend automatischen Analyseprozess, in dem die entsprechend des Leitbilds zu den Schlüsselzeitpunkten definierten Technikparameter viel schneller und einfacher bestimmt werden können. Dieser Lösungsansatz ermöglicht künftig eine Skalierung der manuell ausgesprochen aufwendigen Technikanalyse über den Anwendungsbereich des Spitzensports hinaus. Durch weitere Optimierungsschritte und entsprechende Feinjustierungen einzelner Komponenten lässt sich die Genauigkeit der Software zukünftig weiter erhöhen.

Während der oben skizzierte Analyseprozess aus der Perspektive von Anwenderinnen und Anwendern bereits einen sehr großen Mehrwert bietet, geht die Funktionalität der Software sogar weit über diese Möglichkeiten hinaus. Erstens ist es Trainingswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern sowie Trainerinnen und Trainern nun möglich, nicht nur eine einzelne, sondern ohne nennenswerten Aufwand alle Paddelphasen in einem Video mit der Software schnell und einfach zu analysieren. Und zweitens können nun erstmals auch Parameter im dynamischen Verlauf der Phasen ermittelt werden. Damit wird eine Datengrundlage geschaffen, mit der aus trainingswissenschaftlicher Perspektive zukünftig völlig neue Technikparameter erschlossen werden können, um die Leistungsreserven von Athletinnen und Athleten bestmöglich aufzudecken.

Insgesamt bieten die im Projektzeitraum erreichten Ergebnisse eine praxistaugliche Lösung für Trainerinnen und Trainer, Athletinnen und Athleten und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, um kinematische Parameter im Kanu-Rennsport in einer völlig neuen Weise effizient und schnell zu ermitteln. Eine angestrebte Überführung der Lösung entlang der Bedarfe im Nachwuchsbereich soll dazu führen, dass junge Athletinnen und Athleten künftig bereits frühzeitig von den Vorteilen eines digitalen Assistenzsystems zur Technikparameterbestimmung profitieren und so ihre Fähigkeiten optimal entwickeln können.

## 5 Literatur

- Cao, Z., Simon, T., Wei, S.-E., & Sheikh, Y. (2017). Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. CoRR, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 1302–1310.
- Englert, M., & Lehmann, G. (2007). Wissenschaftlicher Einsatz der Software Utilius® easyInspect zur Analyse der individuellen Fahrtechnik im Kanurennspor. Leistungssport, 37(5), 20–22.
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. In 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) (S. 2980–2988). <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.322>.
- Kahl, J. (2005). DKV-Rahmentrainingskonzeption Kanurennspor und Kanuslalom. (1. Auflage). Duisburg: Deutscher Kanu-Verband Wirtschafts- und Verlags GmbH.
- von Braun, M.-S., Frenzel, P., Kading, C., & Fuchs, M. (2020). Utilizing Mask R-CNN for Waterline Detection in Canoe Sprint Video Analysis. In 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), S. 3826–3835. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/CVPRW50498.2020.00446>.

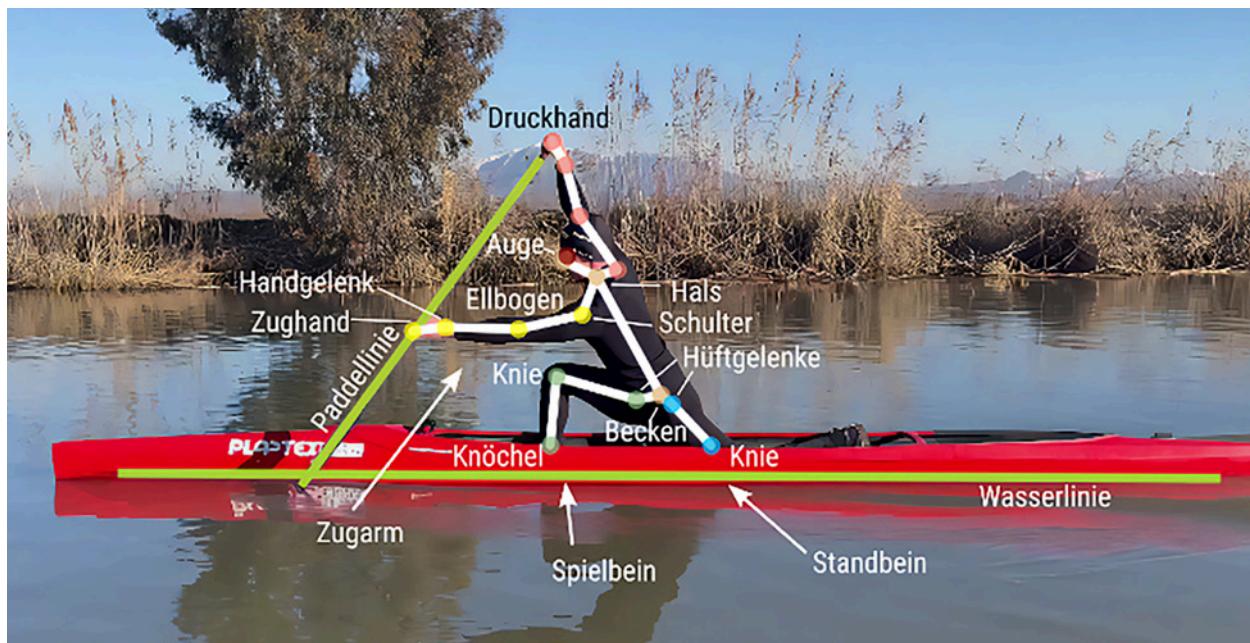


Abb. 1: Basisgrößen zur Berechnung der kinematischen Parameter für die Disziplin Canadier. Die Parameter sind wie folgt definiert:  
(1) Paddelwinkel: Winkel zwischen Paddel- und Wasserlinie, (2) Oberkörperwinkel: Winkel zwischen Rücken und Wasserlinie, (3) Zugarmwinkel: Winkel zwischen Handgelenk, Ellbogen und Schulter, (4) Spielbeinwinkel: Winkel zwischen Knöchel, Knie und Hüftgelenk, (5) Standbeinwinkel: Winkel zwischen Standbein und Wasserlinie, (6) Druckhand vor Auge: horizontaler Abstand von Auge zu Hand, (7) Druckhand über Auge: vertikaler Abstand von Auge zu Hand, (8) Zughandhöhe: vertikaler Abstand von Hand zu Wasserlinie.



Abb. 2: Basisgrößen zur Berechnung der kinematischen Parameter für die Disziplin Kajak. Die Parameter sind wie folgt definiert:  
(1) Paddelwinkel: Winkel zwischen Paddel- und Wasserlinie, (2) Oberkörperwinkel: Winkel zwischen Rücken und Wasserlinie, (3) Zugarmwinkel: Winkel zwischen Handgelenk, Ellbogen und Schulter, (4) Führhand vor Auge: horizontaler Abstand von Auge zu Hand, (5) Führhand über Auge: vertikaler Abstand von Auge zu Hand, (6) Zughandhöhe: vertikaler Abstand von Hand zu Wasserlinie.

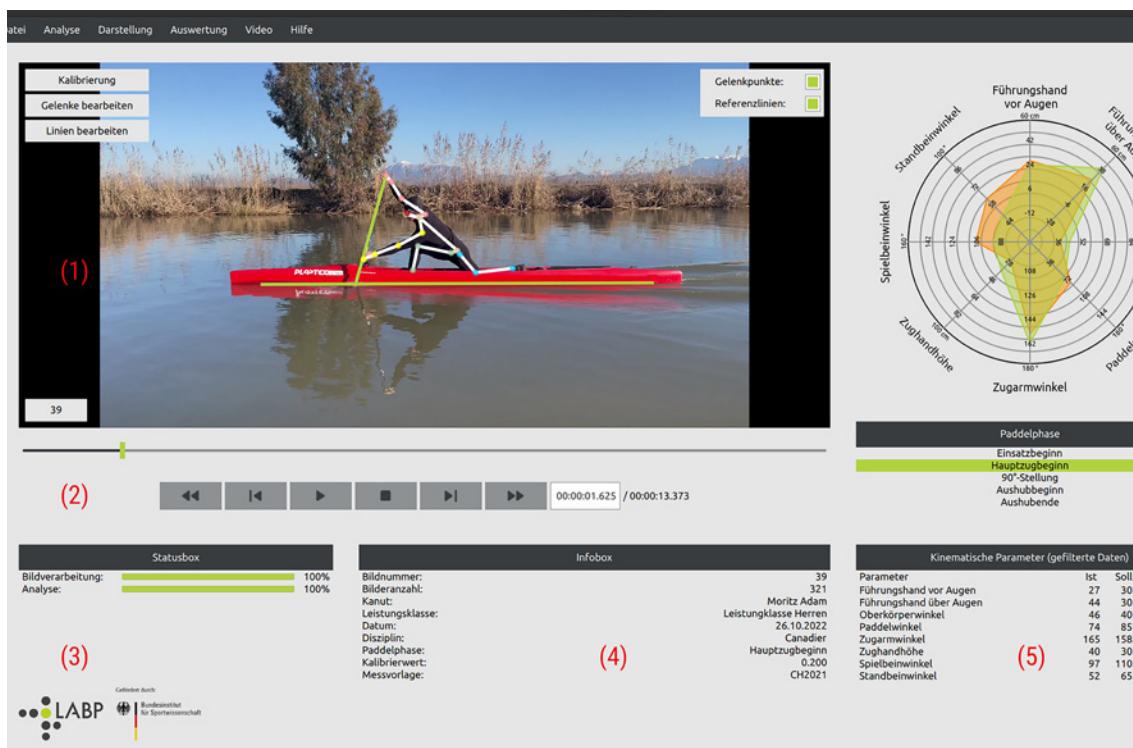


Abb. 3: Die Software „KinematiKanu“ bietet unterschiedliche Modi, hier gezeigt ist die Einzelbildansicht: (1) Videobild mit Schaltflächen zur manuellen Bearbeitung, (2) Videosteuerung, (3) Status der automatischen Videoverarbeitung, (4) Metadaten, (5) Soll- und Ist -Werte der kinematischen Parameter, (6) Paddelphase, (7) Netzdiagramm zur Visualisierung der Übereinstimmung zwischen Soll- und Ist-Werten.

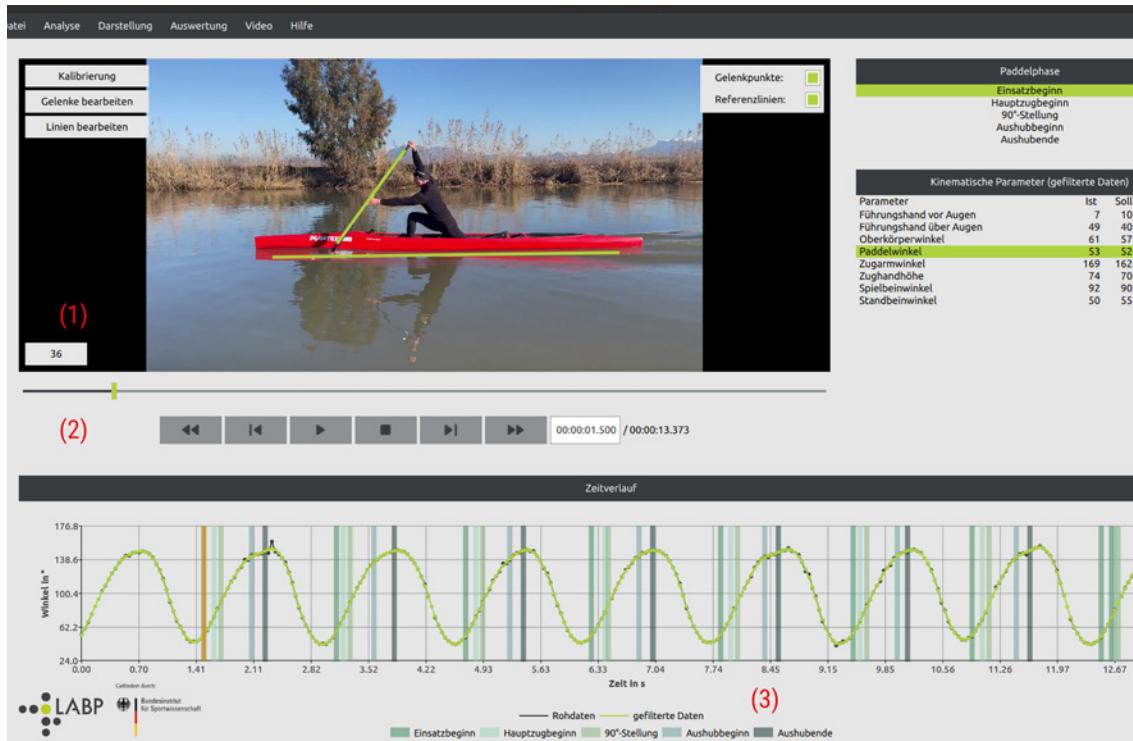


Abb. 4: Die Zeitverlaufansicht der Software „KinematiKanu“ zeigt folgende Parameter: (1) Videobild mit Schaltflächen zur manuellen Bearbeitung, (2) Videosteuerung, (3) Visualisierung des zeitlichen Verlaufs eines ausgewählten kinematischen Parameters sowie der ermittelten Paddelphasen, (4) Soll- und Ist-Werte der kinematischen Parameter, (5) Paddelphase.

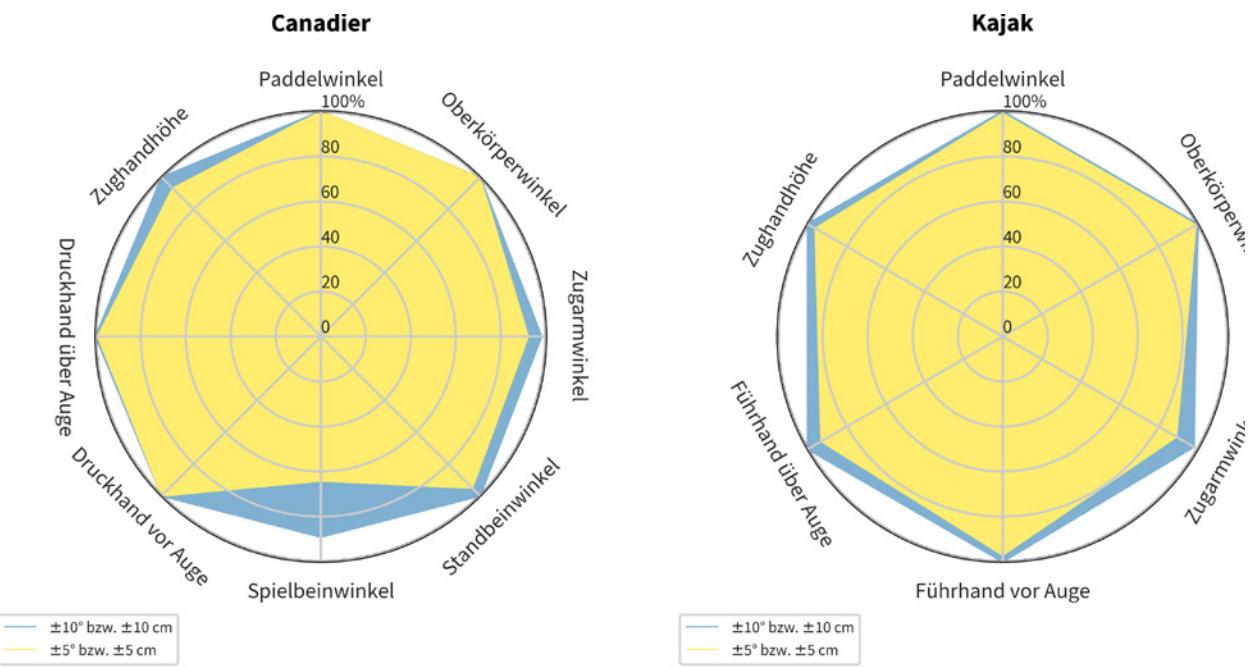


Abb. 5: Übereinstimmung der automatisch bestimmten kinematischen Parameter mit den Experten für Canadier (links) und Kajak (rechts). Die farbigen Polygone zeigen jeweils den prozentualen Anteil der Studiendaten für jeden Technikparameter, für den die ermittelten Parameter innerhalb eines engen (gelb) und weiter gefassten (blau) Toleranzbereichs liegt. Die Studie wurde mit 95 Bildern der Disziplin Canadier und 225 Bildern der Disziplin Kajak von 7 Experten durchgeführt.

# Echtzeitfeedbacksystem für Speerwerfen und Kugelstoßen

AZ 071503/22-24

*Kerstin Witte (Projektleitung), Jürgen Edelmann-Nusser (Projektleitung) und Stefan Tiedemann  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*

## 1 Problem

Die Wurf- und Stoßdisziplinen Speerwerfen und Kugelstoßen erfordern die Koordination verschiedener Teilbewegungen. Die Art und Weise, wie die Werfer und Stoßer den Impuls erzeugen und auf das Wurfgerät übertragen (Heger und Wank, 2021), spielt eine entscheidende Rolle bei der Optimierung der Leistung. Die Speerwurfttechnik zeichnet sich durch einen kurzen Anlauf in Verbindung mit dem Abwurf aus. Das Ziel der Bewegungsausführung ist die Erzeugung einer maximalen Speer-Abwurf-Geschwindigkeit in Verbindung mit einem optimalen Abwurfwinkel (Wank, 2021). Die Analyse biomechanischer Parameter wie die des Anlaufs, des Stemschritts und der verschiedenen Teilbewegungen des Oberkörpers kann Trainerinnen und Trainern sowie Sportwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern helfen, die Technik objektiv zu diagnostizieren und zu verbessern.

Auch das Kugelstoßen ist durch eine Abfolge komplexer Teilbewegungen gekennzeichnet, die zur Gesamtleistung beitragen (Błazkiewicz, Łysoń, Chmielewski und Wit, 2016). Die Kugelstoßtechnik zielt auf die Erzeugung einer maximalen Kugel-Abwurf-Geschwindigkeit in Verbindung mit einem optimalen Abwurfwinkel (Linthorne, 2001) innerhalb eines vorgegebenen Raums (Ring) ab. Wie beim Speerwerfen kann auch beim Kugelstoßen durch die Analyse biomechanischer Parameter mittels optischer Systeme und Inertialsensoren die Technik diagnostiziert und optimiert werden.

Speerwerfen und Kugelstoßen stellen komplexe Ganzkörperbewegungen dar, für deren Diagnostik und Fehleranalyse die alleinige Erfas-

sung der Abstoß- bzw. Abwurfparameter und eine zweidimensionale Videoaufnahme nicht ausreichend sind (Čoh et al., 2008).

Für eine maximale Abstoß/Abwurf-Geschwindigkeit ist ein optimaler Beschleunigungsverlauf der Kugel bzw. des Speers notwendig. Hier sollte die Technikdiagnostik einsetzen. Doch diese erfolgt in der Regel videobasiert. Dies hat die Nachteile, dass einerseits mehrere zeitlich synchronisierte Kameras notwendig sind und andererseits die Datenanalyse eine gewisse Zeit benötigt, sodass nach dem Stoß bzw. nach dem Wurf kein sofortiges Feedback möglich ist.

Die allgemeine technologische Unterstützung des Techniktrainings, beispielsweise durch Apps, hat bereits bei vielen Sportarten Einzug gehalten und wird mit Blick auf die wachsende internationale Leistungsdichte immer wichtiger. Durch den Einsatz optischer Systeme und Inertialsensoren können kleine, leicht handhabbare Systeme realisiert werden, die im täglichen Training eingesetzt werden können und den Sportlerinnen und Sportlern und Trainerinnen und Trainer unmittelbar nach der Bewegungsausführung leistungsrelevante Parameter zurückmelden.

Ziel des Projekts war die Entwicklung jeweils eines Echtzeitfeedbacksystems für das Speerwerfen und das Kugelstoßen. Jedes System soll die Möglichkeit bieten, das tägliche Training zu unterstützen und einer Vielzahl von Athletinnen und Athleten sowie Trainerinnen und Trainern zur Verfügung stehen. Basierend auf einer Literaturrecherche, BISp-Projekten (Kooperationspartner im Innovationsprojekt des DLV zum Speerwurf, „Wissenschaftliche Unterstützung

des Techniktrainings von deutschen Para-Athleten im Kugelstoß mittels einer sensorbasierten Kugel für Echtzeitfeedback“, BISp-Projekt ZIMI4-072006/21-22) und Diskussionen mit Trainerinnen und Trainern und Athletinnen und Athleten wurde untersucht, welche biomechanischen Parameter für die beiden Disziplinen leistungsrelevant sind. Anschließend galt und gilt es, diese Parameter mit einem sensorbasierten Echtzeitfeedbacksystem zu erfassen und zu berechnen sowie sie den Trainerinnen und Trainern und Athletinnen und Athleten praxisnah zurückzumelden. Die Messungen sollen von den Athletinnen und Athleten und Trainerinnen und Trainern im täglichen Training selbstständig durchgeführt werden können, ohne dass das Training wesentlich beeinträchtigt wird. Durch das Echtzeitfeedback soll die Trainingsteuerung in beiden Disziplinen optimiert werden.

## 2 Methode

Im Verlauf des Projektes hat sich ergeben, dass das zu entwickelnde System aus maximal vier bis fünf Inertialsensoren (6 DoF, Drehratenmessbereich von  $\pm 4000^{\circ}/\text{s}$  und Beschleunigungsmessbereich von  $\pm 30\text{g}$ , Abtastrate: 67 Hz, Fa. Enode, iOS-Applikation, synchronisiert mit Video, Sensorabmessungen 41mm x 12mm x 27 mm, Masse 17 g.) bestehen sollte, die am Körper der Athletinnen und Athleten angebracht werden. Dies gilt sowohl für den Speerwurf als auch für das Kugelstoßen. Die Verwendung von mehr als fünf Sensoren wäre für eine regelmäßige und eigenständige Nutzung im Training zu aufwendig. Je nach Positionierung der Sensoren kann eine Vielzahl von leistungsrelevanten Parametern erfasst werden.

Weiterhin ist es möglich, zusätzlich die spezielle Sensorstoßkugel aus dem Projekt „Herstellung von sensorgestützten Kugelstoßkugeln für das Techniktraining“ (ZMI4-071606/23) zu verwenden.

Von einer Integration der Sensoren in ein Textil wurde abgesehen, da dies die Bewegungsfreiheit der Athletinnen und Athleten zu stark ein-

schränken würde und für jeden Athleten und für jede Athletin individuell passende Textilien hätten hergestellt werden müssen. Stattdessen wurden Straps verwendet, sodass eine Anpassung an individuelle Körperbaumerkmale möglich war. Außerdem sind sie frei konfigurierbar und ermöglichen eine individuelle Anpassung an die Bedürfnisse der Athletinnen und Athleten.

Durch die Straps standen folgende Anbringungsmöglichkeiten zur Verfügung:

- › Brustgurt für die Befestigung des Sensors am Sternum
- › Gürtel für die Befestigung des Sensors nahe des Pelvis
- › Handgelenksbandage für die Befestigung am Handgelenk
- › Bandagen in unterschiedlichen Abmessungen für Extremitäten wie Unter- und Oberarm sowie Unter- und Oberschenkel

Um Sensoren an den Schuhen anzubringen, wurden schuhspezifische Lösungen genutzt: Z. B. verfügen viele Werferschuhe über Klettverschlüsse, untern denen Sensoren direkt fixiert werden können (siehe Abb. 1).



Abb. 1

## 3 Ergebnisse

Im Folgenden wird eine Auswahl von Sensoranordnungen für die jeweilige Sportart vorgestellt, welche als relevant angesehen werden können.

### 3.1 Speerspezifisch

Ein Sensor am Handgelenk bzw. am distalen Ende des Unterarms:

- › ermöglicht eine Zählfunktion, um die Anzahl der Würfe und Intensität zu erfassen
- › Technikanalyse über den Verlauf der Beschleunigung, wobei der Vorteil darin liegt, dass mehr Details enthalten sind als bei einem Geschwindigkeitsverlauf

Zwei Sensoren an den beiden Füßen:

- › automatisierte Bestimmung von Schrittparametern (Stützzeiten, Schrittlängen)
- › Bestimmung der Anlaufgeschwindigkeit
- › Identifizierung der Phasen des Anlaufes
- › Berechnung der Zeit von Impuls- und Stemmschritt

Vier Sensoren an Fuß, Pelvis, Oberarm und Unterarm:

- › Darstellung der zeitlichen Koordination der Teilbewegungen: Der Stemmschritt leitet den Beginn der Hauptbeschleunigungsphase ein, daraufhin sollte die Auflösung der Oberkörperverwringung beginnen. Anschließend erfolgt die Übertragung des Impulses über den Oberarm auf den Unterarm. Dabei ist für den Trainer bzw. die Trainerin die zeitliche Abfolge relevant, da z. B. nach dem Setzen des letzten Schritts ein kurzer Zeitraum zu beobachten sein sollte, in dem die Spannung im Oberkörper aufgebaut wird.

### 3.2 Kugelspezifisch

Ein Sensor am Handgelenk bzw. am distalen Ende des Unterarms:

- › Detektieren des Releases
- › Bestimmung der Beschleunigung in Bewegungsrichtung
- › ermöglicht eine Zählfunktion, um die Anzahl der Würfe und Intensität zu erfassen

Zwei Sensoren am Sternum und Pelvis:

- › Analyse der Auflösung der Oberkörperverwringung, welche auch als X-Faktor bezeichnet werden kann
- › Einordnung der zeitlichen Abfolge des Beginns der Hauptbeschleunigung und des Beginns der Auflösung des X-Faktors
- › Der Sensor am Pelvis kann ebenfalls genutzt werden, um Schritte zu detektieren, wobei ein minimaler zeitlicher Versatz durch Übertragung der Beschleunigung durch den Körper zu beachten ist.

Vier Sensoren an den Füßen, Oberarm und Unterarm:

- › zeitliche Koordination der Teilbewegungen
- › Charakterisierung des Beineinsatzes
- › Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Schulter als Indiz für Oberkörpergeschwindigkeit
- › Bestimmung des Lösens der Kugel vom Hals.

Weiterhin ist es möglich, die spezielle Sensorstoßkugel aus dem Projekt „Herstellung von sensorgestützten Kugelstoßkugeln für das Techniktraining“ (ZMI4-071606/23) zu verwenden und in die Technikdiagnostik zu integrieren.

### **3.3 Erstellung einer videobasierten Applikation für Trainerinnen und Trainer und Athletinnen und Athleten mit gleichzeitiger Rückmeldung der individuellen leistungsrelevanten Parameter**

Die iOS-Applikation erlaubt die Kopplung von bis zu fünf Sensoren mit synchroner Videoaufzeichnung. Mit dieser App ist es möglich, definierte Sensorkonstellationen für die gewünschte Sportart und die interessierten Parameter einzustellen sowie ein Video zeitsynchron aufzunehmen und dann unmittelbar nach dem Wurf oder Stoß die Parameter mit dem Video als Feedback darzustellen. Weiterhin können bestimmte Kennwerte automatisch ausgegeben werden, bspw. für den Speerwurf die Zeitdifferenz zwischen Impulsschritt und Stemmschritt.

## **4 Diskussion**

Im Unterschied zu den noch vorherrschenden Videoanalysen bietet dieses Sensorsystem eine dreidimensionale Technikanalyse, ein Sofort-Feedback und eine einfache Handhabbarkeit im Training durch die Athletinnen und Athleten und Trainerinnen und Trainer ohne zusätzliches Personal.

Die App erlaubt eine individualisierte Weiterentwicklung, d.h., sie kann durch eigene Algorithmen den Wünschen des Trainers bzw. der Trainerin angepasst werden. Perspektivisch ist es auch möglich, die App in anderen Disziplinen einzusetzen. Hierfür müssen dann allerdings eigene Programme bzw. Algorithmen erstellt und in die App implementiert werden, um eine automatisierte Technikanalyse zu realisieren.

## **5 Literatur**

Błazkiewicz, M., Łysoń, B., Chmielewski, A., & Wit, A. (2016). Transfer of mechanical energy during the shot put. *Journal of Human Kinetics*, 52(1), 139–146. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0001>.

Chow, J.W. et al. (2000). Kinematic analysis of shot-putting performed by wheelchair athletes of different medical classes. *Journal of Sports Sciences*, 18:5, 321-330, <https://doi.org/10.1080/026404100402386>.

Čoh, M., Štuhec, S., Smajlović, N., & Supej, M. (2008). Comparative 3-D analysis of the rotational shot-put technique. *Biomechanical Diagnostic Methods in Athletic Training*, 27–34.

Heger, H., & Wank, V. (2021). Biomechanische Grundlagen des Werfens. *Sportphysio*, 9(01), 8-16.

Linthorne, N. P. (2001). Optimum release angle in the shot put. *Journal of Sports Sciences*, 19(5), 359–372. <https://doi.org/10.1080/02640410152006135>.

Wank, V. (2021). Würfe. *Biomechanik der Sportarten: Grundlagen der Sportmechanik und Messtechnik-Fokus Leichtathletik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 241-338. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60525-7>.

Die der Arbeit zugrundliegenden Projekte wurden vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft gefördert (ZMI4-071503/22-24).

# Open-Source-Freistellung der Internetplattform REGmon (Kurztitel: REGmon)

AZ 071603/22

*Prof. Dr. Mark Pfeiffer (Projektleitung), Theorie und Praxis der Sportarten  
Christian Strotkötter (Projektmitarbeit), Theorie und Praxis der Sportarten  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Sportwissenschaft*

## 1 Vorbemerkung und Projektziel

Das Transferprojekt REGmon ist aus dem WVL-Projekt „Regeneration im Spitzensport“ (REGman) hervorgegangen. Im Verlauf von REGman hat sich abgezeichnet, dass sowohl für die trainingsbegleitende Datenerhebung im leistungssportlichen Handlungsfeld und die Kommunikation mit der Sportpraxis als auch für das Datenmanagement im Verbundprojekt eine interaktive Online-Plattform mit der Option zum Athletenmonitoring substanzielle Vorteile bietet. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass aufseiten der Sportpraxis (Sportfachverbände, Trainingsgruppen) ein zunehmender Bedarf an IT-Lösungen zur prozessbegleitenden, digitalen Erfassung und Analyse individueller Daten zur Optimierung des Trainings (u. a. Trainings- und Leistungsdaten, Beanspruchungsdaten usw.) besteht. Dies begründet sich zum einen im technologischen Fortschritt in fast allen Lebensbereichen (Digitalisierung) und zum anderen in sportpolitischen Forderungen (u. a. Leistungssportreform des DOSB) nach einem prozessbegleitenden Trainings- und Wettkampfmanagement. Ein ähnlicher Bedarf seitens des organisierten Sports wurde auch im Projekt „Konzeption einer IT-Rahmenarchitektur zur Bereitstellung einer IT-Datenmanagement-Plattform für den öffentlich geförderten Leistungssport in Deutschland“ identifiziert.

Um den Anforderungen der Sportpraxis, aber genauso denen der Forschung (u. a. bei der

Datenerhebung) gerecht werden zu können, wurde im Rahmen von REGman die Web-Applikation REGmon (Akronym für: „Regenerationsmanagement durch Athletenmonitoring“) entwickelt. Mit REGmon steht ein offenes, flexibles, modular aufgebautes und interaktives Softwaretool sowohl für die Datenerhebung und -organisation als auch das individuelle Athletenmonitoring (inkl. Trainings- und Wettkampfdatendokumentation) zur Verfügung. Die Dateneingabe, -ausgabe und -analyse kann an sportartspezifische Besonderheiten (Trainings- und Leistungsstruktur) genauso wie an anderweitige Erfordernisse zeitnah angepasst werden. Mit Auslaufen von REGman im Jahr 2021 konnte REGmon nicht mehr zur Unterstützung des Leistungssports bei der täglichen Arbeit angeboten werden. Gleichermaßen galt für den Einsatz in der Forschung oder der Wissenschaft. Ferner hatte die Beendigung der Forschungsförderung zur Folge, dass REGmon nicht mehr weiterentwickelt und gepflegt werden konnte.

Ziel des Transferprojekts war es daher, die nachhaltige Nutzbarkeit von REGmon durch die Sportpraxis und die Wissenschaft langfristig durch eine Open-Source-Freistellung zu sichern (Nachhaltigkeitssicherung). Mit der dokumentierten Open-Source-Anwendung mit weitgehend automatisierter Installationsroutine soll ein dynamisches und zukunfts-fähiges System (Tool) bereitgestellt werden, welches aufgrund der offenen Struktur eine fortlaufende Anpassung und Weiterentwicklung ermöglicht.

## 2 Umsetzung der Projekt-aufgaben

Die notwendigen IT-Arbeiten wurden vom bisherigen Softwarepartner und IT-Spezialisten unter sportwissenschaftlicher Beratung durch Projektmitarbeiter durchgeführt.

Die Web-Applikation REGmon wurde der Öffentlichkeit in einem gängigen Format (überwiegend PHP- und JavaScript-Code) und unter einer offenen Lizenz (MIT-Lizenz) auf einer Webplattform (GitHub-Repository) zur Verfügung gestellt. Das rechtliche Binnenverhältnis zwischen den Antragstellern und dem IT-Dienstleister wurde im Hinblick auf die Urheber- und Nutzungsrechte an dem Quellcode schriftlich und im gegenseitigen Einvernehmen festgehalten. Ferner übernimmt das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) mit der Veröffentlichung von REGmon über die Förderung hinausgehend keine Verpflichtungen, insbesondere keine Haftung für die Open-Source-Software.

Um der weiteren Entwicklung von REGmon eine geeignete Plattform zu bieten, wurde eine Organisation „REGmon-project“ auf der Plattform GitHub erstellt (<https://github.com/REGmon-project/>). Interessierte können dieser Organisation mit einem GitHub-Benutzerkonto beitreten und dadurch alle Entwicklungen direkt verfolgen. Falls gewünscht, ist weiterhin im Sinne des Open-Source-Gedanken eine Weiterentwicklung des Projekts möglich. Der Quellcode von REGmon ist über ein öffentliches GitHub-Repository „regmon“ zugänglich, welches der Organisation untergeordnet ist (<https://github.com/REGmon-project/regmon>). Außerdem wurde eine zentrale Landingpage für interessierte Personen eingerichtet (<https://regmon-project.org>) und ein Whitepaper veröffentlicht, das die wichtigsten Hintergründe und Informationen zu REGmon kompakt zusammenfasst (Strotkötter et al., 2023).

REGmon ist mit der MIT-Lizenz lizenziert. Die MIT-Lizenz ist eine gängige, permissive Open-Source-Lizenz, die unter anderem von Babel, .NET und Rails verwendet wird. Die MIT-Lizenz

schreibt eine Beibehaltung des Urheberrechts und der Lizenzhinweise vor. Außerdem können auf REGmon basierende, lizenzierte Werke, Änderungen und größere Werke unter anderen Bedingungen und ohne Veröffentlichung des Quellcodes verbreitet werden. Die vollständige Lizenz ist in der LICENSE-Datei in der höchsten Ebene des Repository verfügbar (<https://github.com/REGmon-project/regmon/blob/main/LICENSE>).

Den Startpunkt für interessierte Personen stellt die README-Datei dar, die sich ebenfalls auf höchster Ebene des Repository befindet (<https://github.com/REGmon-project/regmon/blob/main/README.md>). Darin werden neben einführenden Informationen zu REGmon grundlegende Hinweise für die Installation der Software gegeben. Weiterführende Informationen zum benötigten Set-up sowie detaillierte Schritte im Rahmen der Installation sind in der Dokumentation zu finden (<https://regmon-project.github.io>).

Um die praktische Nutzbarkeit von REGmon zu maximieren, wurde auf die freie Software „Docker“ zur Isolierung von Anwendungen mithilfe von Containervirtualisierung zurückgegriffen. REGmon kann somit durch Nutzung eines Containers auf jedem beliebigen System betrieben werden. In einem Container sind neben dem Software-Code selbst auch ein Apache-Web-Server sowie eine SQL-Datenbank initialisiert. Außerdem sind verschiedene Softwarepakete bereits implementiert (z.B. npm und composer). Das Repository enthält eine zentrale Docker-Konfigurationen, die zur initialen Einrichtung und Installation der Software genutzt und bei Bedarf angepasst werden kann. Neben dem REGmon-Quellcode ist dafür lediglich die Docker-Software notwendig, die je nach Bedarf in einer lokalen Umgebung oder auf einem Web-Server zu installieren ist. Wenn die Container initialisiert und aktiviert sind, kann REGmon über einen Browser geöffnet werden. Der notwendige Workflow wurde im Sinne eines Testlaufs von einer qualifizierten Person erfolgreich durchgeführt.

REGmon besteht im Kern aus einer Kombination von PHP- und JavaScript-Dateien und



Abb. 1: Exemplarische REGmon Front-end-Ansichten: [A] Dashboard mit Verknüpfungen für die Datenerfassung (orange, hellblau), Ergebnisdarstellung (dunkelblau und lila) und Einstellungen zur Datenfreigabe (türkis), [B] individuelle Kalenderansicht mit Formulareinträgen (orange, grün und hellblau) und Notizen (grau) sowie [C] grafische Visualisierung von wöchentlichem Trainingload (hellrot) und durchschnittlicher Schlafdauer (schwarze Linie) sowie täglicher Schlafqualität (rote/gelbe/grüne Punkte) und körperlicher Leistungsfähigkeit (grüne Linie, KEB).

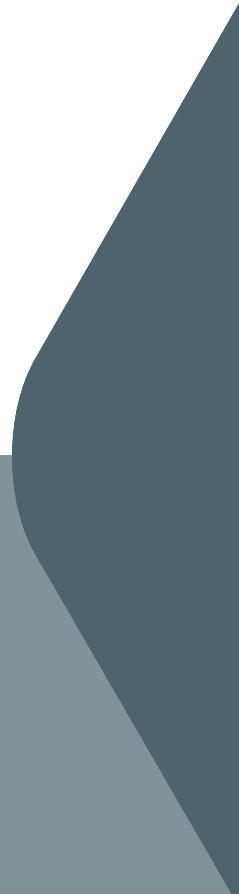
ist als Web-Applikation über einen beliebigen Browser (z.B. Chrome, Safari, Firefox etc.) verfügbar. Der Quellcode enthält branchenübliche Inline-Dokumentationen zur Orientierung für programmierkundige Personen. Die der Software zugrunde liegende SQL-Datenbank enthält bereits verschiedene Inhalte („sample data“), wie beispielsweise administrative Nutzerprofile, organisatorische Grundstrukturen (Standort & Gruppen) und konkrete Inhalte (Formular-kategorien, Formulare, Listen, Formulardaten, Auswertungsvorlagen etc.). In Abbildung 1 sind exemplarische Elemente der Benutzeroberfläche dargestellt.

### 3 Literaturverzeichnis

- Strotkötter, C., Bach, K., Bechtis, D., Radou-niklis, P. & Pfeiffer, M. (2023). REGmon: A web application for athlete monitoring in sport practice and research. <https://doi.org/10.51224/SRXIV.342>.



# Service- Forschungsprojekte



# Entwicklung eines Reflexionsleitfadens für das Coaching im paralympischen Tischtennis

AZ 071601/23

*Oliver Höner (Projektleitung)*

*Thorsten Leber (Projektmitarbeit)*

Arbeitsbereich Sportpsychologie und Methodenlehre

Institut für Sportwissenschaft

Eberhard Karls Universität Tübingen

## 1 Problem

Coaching ist ein „integrierter Bestandteil des Trainings und des Wettkampfs“ (Hotz, 2000, S. 5) und ist somit als wesentlicher Arbeitsbereich der Bemühungen zur Leistungsoptimierung im Spitzensport zu betrachten. Die Aufgabenstellung des hier beschriebenen Transferprojekts zum Coaching im paralympischen Tischtennis knüpft inhaltlich unmittelbar an das BISp-geförderte Serviceprojekt „Reflexives Coach-the-Coach im Para-Tischtennis“ (REFLECT22, Laufzeit 05/2022 bis 12/2022) an. Das vorangehende Projekt REFLECTT22 beschäftigte sich mit mediengestützten Coach-the-Coach-Maßnahmen. Für die Teilnehmenden wurde ein Angebot konzipiert, um ihr eigenes Kommunikations- und Interaktionsverhalten im Match- und Trainingsumfeld zu reflektieren und weiterzuentwickeln. Ziel war es, reflexive Prozesse mit einem personenzentrierten Coaching-Ansatz im Para-Tischtennis zu fördern. Die erzielten Ergebnisse und die damit verbundene Sensibilisierung der Teilnehmenden haben u.a. den Bedarf aufgezeigt, systematische Reflexion möglichst autonom, also experten- und technikunabhängig durchführen zu können.

Das zentrale Ziel des aktuellen Transferprojekts bestand in der Entwicklung eines Werkzeugs, welches diesem Praxisbedarf gerecht wird. Die im Rahmen dieses Projekts adressierte Zielgruppe von Tischtennis-Trainerinnen und -Trainern im paralympischen Spitzensport bewegt sich bzgl. ihrer Coaching-Kompetenzen – nicht zuletzt durch regelmäßige sportpsycho-

logische Interventionen in den vergangenen Jahren – auf einem fortgeschrittenen Niveau. Anknüpfend an die aus REFLECTT22 herauskristallisierten Schwerpunkte im Rahmen des Coachings sollte ein Reflexionsleitfaden entstehen, den die verantwortlichen Trainerinnen und Trainer nach Abschluss des Projekts selbstständig nutzen können. Eine erste Version sollte bei planmäßigem Projektverlauf bereits für die Para-Tischtennis-Europameisterschaft im September 2023 zur Verfügung stehen.

## 2 Methoden

### 2.1 Vorüberlegungen

Im Rahmen eines Weltranglistenturniers oder internationaler Meisterschaften stellt die Abstimmung eines Coachings auf individuelle Bedürfnisse von Spielerinnen und Spielern (z.B. in Abhängigkeit von Erfahrung, Konstitution, Leistungsniveau und Persönlichkeit) hohe Anforderungen an die Kompetenzen und Flexibilität der Trainerinnen und Trainer (Lau, 2020). Durch das vergleichsweise breite Spektrum an Athletinnen und Athleten im Behindertensport ist sogar davon auszugehen, dass im Vergleich zum Regelsport eine größere Bandbreite an Coaching-Varianten durch Trainerinnen und Trainer abgedeckt werden muss. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund dieser Anforderungen scheint eine aktive Auseinandersetzung mit der Gestaltung des Coachings indiziert, um dieses konsequent zu reflektieren und weiterzuentwickeln. Diese sollte sich insbesondere mit der

Frage beschäftigen, ob die dabei gewählten Mittel der Situation den beteiligten Personen (hier insbesondere Spielerinnen und Spieler) und der jeweiligen Zielstellung gerecht werden. Da die Angemessenheit von Interaktionen zwischen Trainerinnen und Trainern und Athletinnen und Athleten in Bezug auf erzielte Spielleistungen in der Praxis des Spitzensports aufgrund diverser Störvariablen bei gleichzeitig äußerst geringem Stichprobenumfang kaum aussagekräftig gemessen werden kann, scheint eine Betrachtung der Qualität des Coaching-Prozesses ein zentraler Ausgangspunkt für eine Selbstreflexion zu sein. Idealerweise erfolgt diese nicht nur durch subjektiv gefärbte Eindrücke und Erinnerungen, sondern auch mediengestützt durch unverzerrte Aufzeichnungen einer Situation.

Diverse Forschungsarbeiten der vergangenen Jahre konnten zur Eingrenzung der Konstrukte herangezogen werden, die im Rahmen einer Reflexion der Kommunikations- und Interaktionsform Coaching relevant erscheinen. Bezüglich der allgemeinen Kommunikation zwischen Trainerin und Trainer und Athletin und Athlet flossen u. a. Borggrefe und Cachay (2015) sowie Borggrefe et al. (2016a-d) ein. Weitere relevante situationsspezifische Faktoren und Konstrukte wurden im Fragebogen zur Erfassung der Effektivität des Coachings (FET; Kellmann et al., 2009) sowie im Pausenverhaltensfragebogen (PVF) von Kellmann und Weidig (2010) identifiziert. Weiterhin wurden Eigenschaften der Beziehung zwischen den beteiligten Personen anhand des sportspezifischen 3+1C-Modells (Jowett & Pocszwarcowski, 2007) einbezogen. Das letztgenannte Modell legt u. a. dar, wie Emotionen, Gedanken und Verhaltensweisen von Trainerinnen und Trainern und Athletinnen und Athleten in Wechselwirkung stehen und wurde bereits von der Tübinger Projektgruppe auf den deutschen Leistungssport übertragen (Wachsmuth et al., 2021).

## 2.2 Umsetzung

Ausgehend von den dargelegten Vorüberlegungen sollte ein Instrument entwickelt werden,

das neben den inhaltlichen Ansprüchen den gegebenen organisatorischen Rahmenbedingungen im Turnierumfeld gerecht wird, also insbesondere eine möglichst flexible, unkomplizierte und zeitökonomische Bearbeitung ermöglicht (u. a. sollte der zeitliche Umfang für die Reflexion eines Matches fünf Minuten nicht überschreiten). Daher wurde die Entwicklung eines teilstandardisierten Instruments angestrebt, das in kompakter Form die wesentlichen Coachingdimensionen und -qualitäten abbildet. Die Entwicklung beinhaltete nicht nur die Erstellung des Reflexionsleitfadens selbst, sondern auch die Schulung und Sensibilisierung der Trainerinnen und Trainer für die relevanten psychosozialen Konstrukte. Deshalb fand bis zur Fertigstellung der finalen Version ein regelmäßiger coachingbezogener Austausch zwischen dem Sportpsychologen und den Trainerinnen und Trainer statt.

Insgesamt waren sechs Trainerinnen und Trainer am Entwicklungsprozess des Leitfadens beteiligt. In der Startphase des Projekts wurde aus den im vorangegangenen Abschnitt angeführten theoretischen Überlegungen in Verbindung mit Feedback aus dem Austausch mit den beteiligten Trainerinnen und Trainern eine erste Version des Reflexionsleitfadens entwickelt. Wesentliches Ziel dieser Phase war es, den Umfang und die Anzahl der möglichen Dimensionen auf ein handhabbares Maß zu verdichten. Die erste Version wurde im Mai 2023 umfassend bei einem Weltranglistenturnier in Lasko (Slowenien) erprobt. Das Turnier und die Anwendung des Leitfadens wurden durchgängig sportpsychologisch begleitet und unterstützt. Die Begleitung diente nicht nur der Unterstützung der Anwendenden, sondern auch dem Erkenntnisgewinn für die Überarbeitung. Weitere Erprobungen durch einzelne Trainerinnen und Trainer fanden nach Absprache in nachfolgenden Weltranglistenturnieren statt. Die sich daraus ergebenden Feedbacks und Kritikpunkte wurden im Zeitraum Juli bis August 2023 für die Überarbeitung des Leitfadens genutzt. Die überarbeitete und im Rahmen des Projekts finale Version konnte bei den europäischen Kontinentalmeisterschaften (ITTF European Para Cham-

pionships 2023, Sheffield) durch fünf Trainerinnen und Trainer angewendet werden.

### 3 Ergebnisse

Im Entwicklungsprozess ließ sich neben der inhaltlichen Verdichtung relevanter Konstrukte erwartungsgemäß der Wunsch nach einer auch bezogen auf das Format möglichst kompakten Anwendungsform des Reflexionsleitfadens beobachten. Deshalb erfolgte eine Unterteilung des zu entwickelnden Instruments in zwei Komponenten. Als Basisdokument wurde der eigentliche Leitfaden formuliert, in dem die relevanten Themen benannt, kurz beschrieben und mit checklistenartigen Kriterien angeboten wurden. Die Inhalte sollten nicht als vollständig abzuarbeitende Listen, sondern als Angebot eines Themenspektrums verstanden werden, das weiterhin individuelles und spielerinnen- und spielerzentriertes Arbeiten ermöglicht. Das Basisdokument sollte zur Sensibilisierung und Reflexion im Rahmen einer eher mittelfristigen Vorbereitung auf ein Match oder auf ein Turnier dienen. Die zweite, deutlich komakter gehaltene Komponente des Instruments wurde im Rahmen des Projekts als Coaching-Card bezeichnet. Sie beinhaltete nur die Esszenen des Basisdokuments, konnte somit problemlos von Trainerinnen und Trainer mitgeführt werden und diente der Verwendung in der unmittelbaren Spielvorbereitung.

Aus den Vorgesprächen war bekannt, dass alle teilnehmenden Trainerinnen und Trainer einen spielerinnen- und spielerzentrierten Coachingansatz verfolgten. D.h., der innere Fokus lag vor allen Dingen bei Fragen wie: „Was braucht meine Spielerin/ mein Spieler?“ Es wurde angestrebt, diesen spielerinnen- und spielerzentrierten Fokus im Aufbau und in den Formulierungen der Coaching-Card zu berücksichtigen. Nachfolgende Aspekte wurden formuliert:

- › Spielen („Welchen Matchplan möchte ich anbieten?“): Taktische und teilweise auch technische Hinweise zum Spielverlauf.
- › Verbinden („Wie bauen wir eine gute Beziehung auf?“): Hinweise zur Art der Kom-

munikation, innerer Haltung, ausdrücklich auch rote Linien bzw. „Don’ts“.

- › Zeigen („Was soll meine Spielerin/ mein Spieler von mir sehen?“): Konkrete Abfrage dazu, wie sich eine Trainerin/ ein Trainer zeigen soll, wenn Spielerinnen und Spieler Blickkontakt zur Coaching-Ecke aufnehmen.
- › Codes („Welche Codes haben wir vereinbart?“): Sofern vorher vereinbart, wurden hier Schlüsselworte bzw. Codes zu den Bereichen Matchplan und Beziehung erfasst.

Für die Beziehungsebene (Verbinden) gab es außerdem eine optisch abgegrenzte Unterscheidung zwischen „Was braucht meine Spielerin/ mein Spieler?“ und „Was brauche ich?“. Die Rückseite der Coaching-Card war für die Nachbereitung von Matches vorgesehen. Die im Rahmen der Vorbereitung benannten Themen wurden noch einmal aufgeführt und bewusst einfach in den Kategorien „Besser machen“ (Schwachpunkte, Überarbeitungsbedarf) und „Weiter so“ (Stärken, zukünftig weiter nutzen) abgefragt. Die Coaching-Card hatte in der Prototypenversion ein faltbares Papierformat und war somit ohne nennenswerten Aufwand unmittelbar vor oder während einer Matchsituation transportier- und verfügbar.

### 4 Evaluation

Am Erstellungs- und Evaluationsprozess waren insgesamt sechs Trainerinnen und Trainer beteiligt. Die prozessbegleitende und abschließende Evaluation erfolgte vor allem auf qualitativer Ebene. Es gab für jede teilnehmende Person ein ausführliches Gespräch, welches durch zusätzliche und über längere Zeiträume verteilte Rückmeldungen aus Lehrgängen und Turnieren ergänzt wurde.

Alle Teilnehmenden gaben zu Protokoll, dass das entwickelte Instrument einen Mehrwert für sie darstellt. Dieser Mehrwert wurde vorwiegend über eine bewusstere bzw. systematischere Vorbereitung auf Matches begründet. Es zeigte sich, dass der Abschnitt für „Was brauche ich?“ in

vielen Fällen kaum genutzt wurde, was als weiteres Indiz für den schon thematisierten spielerinnen- und spielerzentriert Fokus gesehen werden kann. Ein unmittelbarer Zusammenhang der Nutzung zur subjektiv empfundenen Qualität des Coachings wurde nur in vereinzelten Matches explizit zurückgemeldet. Jedoch wurde von der Mehrheit der Teilnehmenden angegeben, dass der Leitfaden bzw. die Coaching-Card zu einem souveräneren Auftreten beigetragen habe. Aus Sicht der Trainerinnen und Trainer scheint sich der Mehrwert vor allen Dingen durch den Vorbereitungssaspekt ergeben zu haben, die Nachbereitung spielte in der Wahrnehmung eine untergeordnete Rolle.

Der Aufbau des Leitfadens, insbesondere der Coaching-Card, wurde von allen Teilnehmenden zu großen Teilen als zweckmäßig bzw. zielführend empfunden. Dennoch gab es Ideen und Wünsche bzgl. einer Anpassung bzw. Ergänzung von Themen sowie einer Veränderung von Formulierungen. Bei diesen Anregungen spielten nicht nur inhaltliche und methodische Aspekte eine Rolle, sondern auch sehr pragmatische Überlegungen für die Coaching-Situation unmittelbar vor und während eines Matches. Dazu zählten beispielsweise Überlegungen zum Material einer Coaching-Card bzw. der Sinnhaftigkeit einer digitalen Variante, die auf dem Smartphone genutzt werden kann. Bzgl. der Frage zur weiteren Anwendung ging die Tendenz der meisten Teilnehmenden in die Richtung, sich auch weiterhin eine Anwendung vorstellen zu können, jedoch vor allem für Matches, die außerhalb der üblichen Routine liegen. Dazu zählen beispielsweise Matches gegen neue oder besonders schwierige Spielerinnen und Spieler oder K.o.-Spiele bei wichtigen Turnieren.

## 5 Diskussion

Die durchgeführte Evaluation bestätigt, dass ein Reflexionsleitfaden bzw. eine Coaching-Card ein unterstützendes Werkzeug für eine systematische Reflexion der eigenen Coaching-Qualität sein und zur systematischen Matchvorbereitung genutzt werden kann. Der Mehrwert scheint nicht nur aus fachlicher Sicht, sondern auch aus

der subjektiven Sicht der Anwenderinnen und Anwendern gegeben zu sein. Dennoch ergeben sich auch einige Hinweise auf Verbesserungs- und Überarbeitungspotenziale. Diese betreffen, ausgehend von den Rückmeldungen der Teilnehmenden, zum einen den Aufbau und die konkreten Inhalte bzw. Formulierungen auf der Coaching-Card. Zum anderen müssten für eine nachhaltige Professionalisierung und Standardisierung dieses Tools auch technische Überlegungen bzgl. Material und Digitalisierung weiter vorangetrieben werden. Trotz des durch die Teilnehmenden benannten Mehrwerts scheinen für eine langfristige Anwendung bestimmte Rahmenbedingungen zur Sicherung von Motivation und Konsequenz bei der Anwendung sinnvoll. Möglicherweise ist es hilfreich, die Dauer der Anwendung auf bestimmte Saisonphasen oder Themen gezielt zu begrenzen, um die Anwendungsmotivation innerhalb dieser Phasen hochzuhalten und dennoch in gewissen Abständen neue Impulse setzen zu können.

Darüber hinaus ergab die Evaluation auch abseits des Reflexionsleitfadens im engeren Sinne Hinweise auf Ansatzpunkte in der weiteren Arbeit mit Trainerinnen und Trainern. So sollte bei einer Weiterentwicklung des Instruments geprüft werden, ob es sinnvoll und möglich ist, den Mehrwert der Nachbereitung eines Matches mehr ins Bewusstsein von Trainerinnen und Trainern zu bringen. Wie außerdem vorangehend bereits dargelegt wurde, liegt der Fokus von Trainerinnen und Trainern klar bei den zu betreuenden Personen, was aus leistungssportlicher Sicht auch unbedingt indiziert erscheint. Dennoch darf die Frage gestellt werden, warum Trainerinnen und Trainern dazu neigen, den eigenen Bedürfnissen wenig Beachtung zu schenken. Zum einen scheint dies im Sinne der Selbstfürsorge ein wichtiger Aspekt zu sein, zum anderen darf davon ausgegangen werden, dass die angemessene Berücksichtigung der Bedürfnisse von Trainerinnen und Trainern sich auch positiv auf deren Präsenz, Leistungsfähigkeit und letztlich auch auf die Zusammenarbeit mit betreuten Spielerinnen und Spieler auswirkt.

## 6 Literatur

Borggrefe, C. & Cachay, K. (2015). Kommunikative Anforderungen an Trainer im Spitzensport – Ein systemtheoretischer Analyserahmen. In C. Borggrefe & K. Cachay (Hrsg.), Kommunikation als Herausforderung. Eine theoretisch-empirische Studie zur Trainer-Athlet-Kommunikation im Spitzensport (S. 9-61). Schorndorf: Hofmann.

Borggrefe, C., Cachay, K., & Bahlke, S. (2016a). „Die Ansagen sind total falsch!“ Konflikte in der Trainer-Athlet-Kommunikation. Leistungssport, 46(3), 35-41.

Borggrefe, C., Cachay, K., & Bahlke, S. (2016b). „Ich möchte jetzt nicht diskutieren, Jungs!“ Zur Bedeutung von Partizipation in der Trainer-Athlet-Kommunikation. Leistungssport, 46(5), 41-47.

Borggrefe, C., Cachay, K., & Bahlke, S. (2016c). Macht und Vertrauen. Steuerungsstrategien von Trainern im Spitzensport. Leistungssport, 46(2), 41-47.

Borggrefe, C., Cachay, K., & Bahlke, S. (2016d). „Soweit alles klar jetzt?“ Zum Problem gelingender Verständigung in der Trainer-Athlet-Kommunikation. Leistungssport, 46(1), 45-50.

Hotz, A. (2000). Coaching – die hohe Schule in Training und Wettkampf. Leichtathletik, 1+2, 4-10.

Jowett, S. & Pocswardowski, A. (2007). Understanding the Coach-Athlete Relationship. In S. Jowett & D. Lavallee (Hrsg.), Social Psychology in Sport (S. 3-14). Champaign, IL: Human Kinetics, Inc.

Kellmann, M., Langenkamp, H., & Krug, M. (2009). Förderung beruflicher Handlungskompetenz von Trainern. BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2008/2009, S. 277-284. Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.

Kellmann, M. & Weidig, T. (2010). Pausenverhaltensfragebogen (PVF) – Manual. Abgerufen am 15.10.2022 unter [www.bisp.de](http://www.bisp.de).

Lau, A. (2020). Interaktion und Kommunikation im Sport. In J. Schüler, M. Wegner & H. Plessner (Hrsg.), Sportpsychologie. Anwendung und Grundlagen (S. 427- 444). Heidelberg u.a.: Springer.

Wachsmuth, S., Weise, M., Jowett, S., & Höner, O. (2021). Die Trainer-Athlet-Beziehung: Grundstein zum Erfolg? Leistungssport, 51(1), 4-11.

# Herstellung von sensorgestützten Kugelstoßkugeln für das Techniktraining von Para-Athletinnen und -Athleten

AZ 071606-23

*Kerstin Witte, Dan Bürger und Stefan Tiedemann*  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## 1 Problem

Der Kugelstoß stellt eine komplexe Ganzkörperbewegung dar, für deren Diagnostik und Fehleranalyse die alleinige Erfassung der Abstoßparameter und zweidimensionale Videoaufnahmen nicht ausreichend sind (Čoh et al., 2008). Für eine maximale Abstoßgeschwindigkeit ist ein optimaler Beschleunigungsverlauf der Kugel notwendig. Hier sollte die Technikdiagnostik einsetzen. Doch diese erfolgt in der Regel videobasiert. Dies hat die Nachteile, dass einerseits mehrere zeitlich synchrone Kameras notwendig sind und andererseits die Datenanalyse eine gewisse Zeit benötigt, sodass nach dem Stoß kein sofortiges Feedback möglich ist. Hinzu kommt, dass für die Para-Athletinnen und -Athleten eine Gesamtkörper-Technik-Diagnostik problematisch ist. In der Para-Leichtathletik wird je nach Art und Grad der Behinderung zwischen sitzenden und stehenden Athletinnen und Athleten unterschieden (Chow et al., 2000). Die Techniken sind hier aufgrund der individuellen Einschränkungen äußerst variabel, sodass es besonders für die sitzenden Athletinnen und Athleten kein ideales Technikleitbild gibt (Frossard et al., 2010). Daher kann bei Para-Athletinnen und Para-Athleten die Messung des Beschleunigungsverlaufs der Kugel für das Training aufschlussreich sein.

Eine Analyse der Beschleunigungs-Zeit-Verläufe während der Stoßbewegung sollte daher wichtige Erkenntnisse zur Stoßtechnik und deren Verbesserungsmöglichkeiten bieten.

Seit 2005 gibt es einige Publikationen zu sogenannten Sensorkugeln, von denen leider nicht bekannt ist, inwiefern sie in der Trainingspraxis Anwendung fanden. Weiterhin wird nicht berichtet, ob die Beschleunigung bzw. die Geschwindigkeit in Echtzeit dargestellt wird.

- Einbau von Dehnungsmesstreifen mit Wheatston-Brückenschaltung in die Kugel mit Umwandlung der elektrischen Signale in akustische Signale für das Feedback (Yang et al., 2005)
- Messung der Wurfkräfte mit dreiachsigem Kraftsensor in der Kugel zur Identifikation der Bewegungsphasen (Song et al., 2005)
- Entwicklung einer Kugel mit eingebetteten Beschleunigungssensoren (Gao et al., 2009, 2014)
- Entwicklung einer IMU-implementierten standardisierten Kugel für Frauen zur Aufzeichnung der Lagewinkel der Kugel (Wang et al., 2013)

Ziel dieses Projektes ist es, sensorgestützte Kugelstoßkugeln, die es Trainerinnen und Trainern sowie Athletinnen und Athleten ermöglichen, ein Feedback zur Technik unmittelbar nach dem Stoß zu geben, praktisch herzustellen.

## 2 Methode

Die in die Kugelstoßkugel integrierte Sensorik besteht aus einem 3D-gedrucktem Gehäuse und zwei Inertialsensoren der Firma Enode mit

definiertem Abstand zueinander. Jeder Sensor ermöglicht die Messung von sechs Freiheitsgraden und kann Beschleunigungen von bis zu 30 g sowie Rotationsraten von 4000 °/s aufzeichnen. Die Verwendung von zwei Sensoren ist notwendig, um die Beschleunigung des Kugelmittelpunktes zu berechnen und dabei Rotationsbeschleunigungen zu eliminieren. Die erfassten Messwerte werden weiterverarbeitet und anschließend mit einer Übertragungsrate von 62,5 Hz über Bluetooth 5.0 an die Applikation übermittelt. Die Platine ist mit einem Akku verbunden, der eine Nutzungsdauer von über zehn Stunden ermöglicht. Das Gehäuse ist mit einem M30-Feingewinde ausgestattet, wodurch es in eine Kugel eingeschraubt werden kann.

Die dazugehörige Applikation wurde ebenfalls von Enode in einem vorherigen Projekt entwickelt und ist für das Betriebssystem iOS verfügbar. Sie fungiert als Schnittstelle zwischen der Sensorik und Trainerinnen und Trainern bzw. Athletinnen und Athleten. Die Benutzeroberfläche ist als Master-Detail-Ansicht gestaltet, wobei in der Master-Liste die bereits aufgezeichneten Versuche mit den Hauptmetriken des Stoßes (Stoßweite, Abstoßgeschwindigkeit, Abstoßwinkel) angezeigt werden. Die Detailansicht zeigt die aktuelle Aufnahmefähigkeit oder weitere Informationen zu bereits aufgezeichneten Versuchen an. Im unteren Teil dieser Ansicht werden der Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsverlauf der Kugel dargestellt. Durch Antippen der Kurven können die entsprechenden Werte zu einem ausgewählten Zeitpunkt angezeigt werden. Sofern der Stoß parallel per Video aufgezeichnet wurde, wird dies synchron zu den Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsverläufen im oberen Teil der Benutzeroberfläche dargestellt. Zudem werden neben dem Video die Stoßweite, Abstoßgeschwindigkeit und der Abstoßwinkel angezeigt. Vor Beginn einer Messeinheit wird die Kugel mit dem iOS-Gerät verbunden und kalibriert, was weniger als eine Minute dauert. Die Applikation signalisiert anschließend vor jedem Stoß, dass die Kugel kurz in Ruhe gehalten werden muss. Sobald diese Ruhelage erreicht ist, kann gestoßen werden. Die Daten werden dann automatisch aufgezeichnet, aufbereitet und die Ergebnisse des Ver-

suchs unmittelbar nach der Landung der Kugel ausgegeben. Nach etwa zwei Sekunden ist die Kugel wieder einsetzbar. Somit kann die Kugel auch von einer einzelnen Person alleine genutzt werden.

In vorangegangenen Projekten wurden verschiedene Marken von Kugeln für die Integration von Sensoren verwendet, was zu verschiedenen Herausforderungen führte. Insbesondere traten Probleme auf, wenn einige Kugeln im Inneren lose Materialien aufwiesen. Dies erschwerte nicht nur die Bohrungen, sondern führte auch dazu, dass sich die Sensoren verkanteten und beschädigt wurden. Des Weiteren wurde festgestellt, dass selbst Kugeln derselben Marke erhebliche Unterschiede in der inneren Struktur aufweisen. Es kristallisierte sich heraus, dass die Kugeln der Marke „Nelco“ in dieser Hinsicht am konsistentesten waren und zumeist im Inneren aus einer festen Masse bestanden. Aufgrund dieser Erkenntnisse werden auch in diesem Projekt die Kugeln der Marke „Nelco“ verwendet.

In der Anfangsphase des Projekts wurden zwölf Kugelstoßkugeln mit variierenden Durchmessern (95 bis 129 mm), Massen (3 bis 7,26 kg) und Materialien (Eisen, Edelstahl, Messing) beschafft. Damit konnten die individuellen Präferenzen sowie die Wettkampfgewichte der Athletinnen und Athleten berücksichtigt werden. In der Zentralwerkstatt der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg (Fakultät für Maschinenbau) wurden anschließend in die Kugeln Löcher mit einer Tiefe von 7,5 cm und einem Durchmesser von 28 mm gebohrt. In diese Bohrungen wurden dann M30-Feingewinde eingeschnitten.

Parallel zur Bearbeitung der Kugeln wurden acht Sensoren der Firma Enode beschafft. Da nach dem Einlassen des Sensors nur begrenzter Platz vorhanden war, um zusätzliches Gewicht einzuführen, war eine optimale Anpassung des Gewichts der Kugeln nicht mehr möglich. Die Kugeln wurden abschließend mit einem Dremel markiert, um sie bei der Validierung unterscheiden zu können und die Messergebnisse zu protokollieren. Die Sensoren wurden ebenfalls beschriftet, um sie zu identifizieren.

Die berechneten Abstoßparameter der Sensoren wurden mit dem Motion-Capture-System Vicon validiert. Dazu wurden zwei Marker genau gegenüber voneinander an einer Kugel angebracht. Für jeden Sensor wurden mindestens zehn Stöße absolviert, die parallel von Vicon und der Sensorapplikation aufgezeichnet wurden. Aus den Motion-Capture-Daten wurden die jeweiligen Abstoßgeschwindigkeiten und -winkel berechnet und mit den vom Sensor aufgezeichneten Werten verglichen.

### 3 Ergebnisse

#### Kugelherstellung

Insgesamt wurden elf Kugeln produziert, die sich in Größe, Masse und Material unterscheiden. Alle sind mit einer mindestens 7,5 cm tiefen und 28 mm breiten Bohrung sowie mit einem M30-Feingewinde versehen, welches ein einfaches Einsetzen und Entfernen des Sensors ermöglicht. Es ist zu beachten, dass keine der hergestellten Kugeln das geforderte Wettkampfgewicht erreicht. Das Gewicht der Kugeln ist im Mittel  $5,36 \pm 3,06\%$  geringer als das Wettkampfgewicht. Diese Abweichung ist bei den Eisenkugeln ( $2,58 \pm 1,02\%$ ) tendenziell geringer als bei den Kugeln aus Edelstahl ( $6,94 \pm 2,90\%$ ) und Messing (7 %, nur eine Kugel).

#### Validierung bzgl. der Abstoßparameter

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Abstoßgeschwindigkeit und -winkel gemessen sowohl vom Vicon-System als auch den einzelnen Sensoren zeigten signifikante Unterschiede (Abstoßwinkel:  $z = 7.828$ ,  $p < .001$ , Abstoßgeschwindigkeit:  $z = 6.057$ ,  $p < .001$ ). Die Messwerte von Vicon und der Sensorik korrelieren stark miteinander für die Abstoßwinkel ( $\rho = .927$ ,  $p < .001$ ) und die Abstoßgeschwindigkeiten ( $\rho = .812$ ,  $p < .001$ ).

Die Differenz der Abstoßwinkel zwischen den unterschiedlichen Sensoren gemessen mit dem Vicon-System und den Sensorkugeln, unterschied sich nicht signifikant ( $\chi^2(6) = 8.808$ ,  $p = .185$ ). Hinsichtlich der Abstoßgeschwindig-

keiten hingegen zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $\chi^2(6) = 14.535$ ,  $p = .024$ ). Bonferroni-korrigierte Post-Hoc-Tests zeigten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Sensoren ( $p > .05$ ).

#### Zeitliche Verläufe von Beschleunigung und Geschwindigkeit

Eine andere Möglichkeit der Technikdiagnostik mittels Sensorkugel ohne die Verwendung der Abstoßparameter besteht darin, sich auf den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit bzw. der Beschleunigung der Kugel zu fokussieren. Diese qualitativen Kurvenverläufe können in Verbindung mit dem synchron aufgezeichneten Video der App Hinweise auf Technikfehler liefern. Die Beschleunigung wird hierbei direkt von den Sensoren gemessen, weshalb keine Abweichungen von der Realität zu erwarten sind.

#### Feedback von einem Athleten bzw. Trainer

Von einem Para-Athleten des OSP Magdeburg bzw. jetzigen Trainer erhielten wir als Feedback, dass die Sensorkugel im Rahmen des Trainings verwendet werden kann und sollte, um Technikdefizite zu identifizieren und den Leistungsfortschritt des Athleten bzw. der Athletin zu dokumentieren. Hier ist besonders der Beschleunigungsverlauf hilfreich, da dieser direkte Rückschlüsse auf etwaige Technikfehler ermöglicht.

### 4 Diskussion

Zunächst ist festzustellen, dass der Einsatz einer Sensorkugel ein großes Potenzial für die Leistungsdiagnostik und Technikanalyse im Kugelstoß der Para-Athletinnen und -Athleten bietet.

Im Rahmen des Projekts wurden elf praxis-taugliche Kugelstoßkugeln mit unterschiedlichen Durchmessern und Gewichten entwickelt, die für sieben Sensoren zur Verfügung stehen. Da die Sensoren einfach in die Kugeln eingeschraubt werden können, ermöglicht dies einen schnellen Wechsel zwischen den Kugeln. Somit

ist es während eines Trainings möglich, Stöße mit unterschiedlichen Gewichten (bspw. durch unterschiedliche Athletinnen und Athleten) durchzuführen und dennoch alle Versuche aufzuzeichnen. Die Kugeln sind etwas leichter als vom Wettkampfreglement vorgeschrieben, da es aufgrund von Platzmangel in der Kugel nicht möglich war, das fehlende Gewicht zu kompensieren. Athletinnen und Athleten bestätigten jedoch, dass eine Abweichung des Kugelgewichts vom Wettkampfgewicht im Techniktraining nicht störend ist, da ohnehin mit unterschiedlichen Gewichten trainiert wird.

Die Validierung der Abstoßparameter liefert keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Insbesondere bei den Abstoßwinkeln ist eine mittlere Abweichung von fast  $4^\circ$  nicht mehr aussagekräftig. Die mittlere Abweichung der Abstoßgeschwindigkeit ist zwar gering, allerdings treten hier mehr Ausreißer auf. Es ist jedoch anzunehmen, dass Athletinnen und Athleten im Leistungssport starke Abweichungen der Messwerte von der Realität selbst bemerken. Werden diese Werte eliminiert, steigen die ohnehin hohen Korrelationen weiter an. Damit liefern die Sensorkugeln keine exakten Werte für die Abstoßwinkel oder -geschwindigkeiten, können jedoch zumindest Tendenzen im Trainingsverlauf aufzeigen.

Für den Trainingsalltag sind möglicherweise die Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsverläufe der Kugel während des gesamten Stoßes entscheidender, um Technikfehler zu identifizieren. Die Messungen zeigten plausible Werte, die allerdings nicht mit einem optischen Motion-Capture-System validiert werden konnten. Die geringe mittlere Abweichung bei der Abstoßgeschwindigkeit lässt darauf schließen, dass auch ein Geschwindigkeitsverlauf einigermaßen valide abgebildet werden kann. Da dieser Verlauf durch die Integration der Beschleunigungswerte des Sensors über die Zeit, welche direkt gemessen werden, berechnet wird, ist für den Beschleunigungsverlauf eine höhere Genauigkeit zu erwarten.

Da die entwickelte App aus rechtlichen Gründen nicht im Appstore zur Verfügung gestellt wer-

den kann, wird den zukünftigen Userinnen und Usern die Möglichkeit gegeben, die Applikation direkt von der Firma Enode auf das iOS-Gerät gespielt zu bekommen.

## 5 Literatur

- Chow, J.W. et al. (2000). Kinematic analysis of shot-putting performed by wheelchair athletes of different medical classes. *Journal of Sports Sciences*, 18:5, 321-330, <https://doi.org/10.1080/026404100402386>.
- Čoh, M., Štuhec, S., Smajlović, N., & Supej, M. (2008). Comparative 3-D analysis of the rotational shot-put technique. *Biomechanical Diagnostic Methods in Athletic Training*, 27–34.
- Frossard, L., O’Riordan, A. & Goodman, S. (2010). Throwing frame and performance of elite male seated shot-putters. *Sports Technology*, 3(2), 88–101.
- Gao, Z. et al. (2009). Design and application of a multidimensional acceleration sensor for coaching of shot-put athletes. *Sensors and Actuators A: Physical Volume 149, Issue 2, 16 February 2009, Pages 213-220*. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2008.11.029>.
- Gao, Z. et al. (2014). Analysis, fabrication, and field test of an advanced embedded throwing electro mechanical sensing system. *Mech Sci Technol* 28, 93–105 (2014). <https://doi.org/10.1007/s12206-013-0944-7>.
- Song, G. et al. (2006). A novel three-axis force sensor for advanced training of shot-put athletes. *Sensors and Actuators A: Physical Volume 128, Issue 1, 31 March 2006, Pages 60-65*. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2006.01.016>.
- Wang, W. et al. (2013). Development and implementation of a novel digital shot sensor system. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.364.228>.

Yang, J. et al. (2005). Study on equipment for shot put sound signal feedback. 23 International Symposium on Biomechanics in Sports (2005). ojs.ub.uni-konstanz.de.

Die der Arbeit zugrundliegenden Projekte wurden vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft gefördert (ZMI4-071606/23).

# Sportartübergreifende Übertragbarkeit digitaler Technologien in der Sitzschalenfertigung

AZ 071607/22

*Dr. Maren Goll, Dr. Peter Spitenpfeil*

Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften

*Dipl. Ing. Volker Junior*

phoenix GmbH & Co. KG

Deutscher Behindertensportverband (DBS), Nordic Paraski Team Deutschland

## Einleitung/Problemstellung

Im vorausgegangenen Innovationsprojekt „Entwickeln einer digitalen Prozesskette für das Anfertigen von Monoski-Sitzschalen auf Basis von 3D-Scan und 3D-Druck“ wurde erfolgreich die Reproduktion einer Monoski-Schale mithilfe digitaler Methoden wie 3D-Scan und -Druck für die Sportart Ski alpin realisiert (ZMVI4-072103/18-19).

Basierend auf den Erfahrungen, die durch dieses Projekt gesammelt werden konnten, ergaben sich neue Ansätze in Bezug auf die Schalengestaltung, die im anschließenden Transferprojekt „Übertragbarkeit digitaler Technologien in die Monoski-Schalenfertigung zur individualisierten Schalengestaltung“ umgesetzt wurden (ZMVI4-071605/19).

Somit wurde in den abgeschlossenen Projekten

- › die erfolgreiche Reproduktion einer bestehenden Schale und
- › eine individualisierte Schalen-Neugestaltung

unter Verwendung digitaler Technologien von 3D-Scan und 3D-Druck realisiert.

Im Abschlussbericht des letzten Projektes wurde explizit die Übertragbarkeit auch auf andere paralympische/olympische Sportarten angesprochen, in denen die Anbindung der Aktiven an ihr Sportgerät durch eine Sitzschale geschieht.

Bei den sitzenden Athletinnen und Athleten des Para Nordic Skiteams besteht zum Beginn des neuen paralympischen Zyklus genau in diesem Bereich der Schalengestaltung und Anbindung an den Sitzschlitten Unterstützungsbedarf. Die gelungene interne Kommunikation zwischen Wissenschaftskoordinatorin und -koordinator/ Trainerin und Trainer/Universität initiierte das Transfervorhaben.

Genau wie in der alpinen Disziplin ist die Passform und die daraus resultierende direkte Kraftübertragung das wesentliche Kriterium einer Sitzschale für einen Sitzschlitten in der Sportart Paraski nordisch.

Abweichungen von einer passenden Schale sind für die Aktiven eine massive Störung des fein abgestimmten Bewegungs- und Kraftübertragungssystems.

Zusätzlich zur optimalen individuellen Passform muss die Schalenfertigung im Para-nordischen Sport das Thema Gewicht miteinbeziehen. Während ein höheres Gewicht der Ausrüstung bei den alpinen Disziplinen teilweise vorteilhaft sein kann, ist es bei den nordischen Disziplinen ein klarer Nachteil und muss in der Fertigung bzw. Auswahl des Werkstoffs Berücksichtigung finden.

## Theoretischer Hintergrund

In der paralympischen Sportart Langlauf bzw. Biathlon der sitzenden Aktiven kommt als Sportgerät ein sogenannter Sitzschlitten zur Anwendung.

Dieser besteht aus einer meist aus Metall, gefertigten Rahmenkonstruktion, die mit zwei Langlaufski verbunden ist. Auf dem Rahmen wird eine Sitzvorrichtung angebracht. Durch deren Gestaltung, abhängig von funktioneller Einsetzbarkeit der Hüft- und Rumpfmuskulatur, ergeben sich allein optisch bereits große Unterschiede.

Dieser individuellen Einsetzbarkeit von Muskulatur wird durch verschiedene Startklassen Rechnung getragen; das Internationale Paralympische Komitee (IPC) unterscheidet in LW 10, LW 10.5, LW 11, LW 11.5, LW 12, wobei die Klasse 10 den höchsten Grad an muskulärer Funktionseinschränkung des Rumpfes aufweist, die Klasse 12 hingegen über eine weitestgehend volle Funktion der Rumpfmuskulatur verfügt (IPC 2017, World Para Nordic Skiing Classification Rules and Regulations, S.62).

In diesen Unterschieden zwischen den Klassen, bzw. den individuellen Fähigkeiten zur Rekrutierung von Rumpfmuskulatur, liegt die besondere Herausforderung in Bezug auf die Sitzposition- und Schalengestaltung.

In einer sitzenden Position müssen Knie- und Hüftwinkel sowie Sitzflächenneigung berücksichtigt werden, in einer knienden Position der Hüftöffnungswinkel und die Neigung der Sitz- bzw. Unterstützungsfläche.

Einer Schale kommt hier die Funktion zu:

- › die Sitzposition optimal zu unterstützen und Halt zu geben, ohne dabei Bewegung einzuschränken
- › die durch den Oberkörper generierte Kraft möglichst ohne Verlust an das Sportgerät weiterzugeben und somit optimalen Vortrieb zu ermöglichen
- › in Lenkmanövern und Abfahrten optimal zu unterstützen
- › idealerweise in ihrer Gestaltung aerodynamische Überlegungen miteinzubeziehen
- › wünschenswerter Weise bei Stürzen Sicherheit zu bieten

- › unproblematisch in der Gestaltung für ein selbstständiges Ein- und Aussteigen der Aktiven zu sein

Diese Punkte unterstreichen die Bedeutung der optimalen Passform, welche durch Verwendung von digitalen Technologien des 3D-Scans der Körperform in der jeweiligen Sitzposition und dem abschließenden 3D-Filamentdruck realisiert werden können.

## Zielstellung

Die bisher erlangten Erkenntnisse in der digitalen Prozesskette zur Reproduktion und der Gestaltung von Sitzschalen für die Sportart Para Ski alpin werden in diesem Transferprojekt auf die Sportart Para nordisch übertragen. Durch Scan der individuellen Körperperformen, bzw. Scan der Abformungen der Paraski-nordisch Aktiven und Analyse und Post-Processing der auf diese Weise gewonnenen Daten, werden passende Sitzschalen direkt in 3D-Druck Verfahren hergestellt. Durch den Scan der Körperform der Aktiven und die Digitalisierung ihrer individuellen Formen wird die Weichteilverdrängung beim Sitzen in unterschiedlichen Zonen sichtbar, was der Definition von knöchernen Anlagepunkten sowie der Höhendefinition und Gestaltung der Unterstützungsflächen (Bauchgurt und Rücken-element) dient.

So entstehen individualisierte Schalen, die in vielen Punkten Mängel im Bereich der Performance und Passform beheben und den bisherigen Kompromiss im Verhältnis von Hartschale zu Schaumanteil adressieren.

Über die Digitalisierung und die Anfertigung in Druckverfahren lassen sich zudem die Kosten für leistungssportlich-orientierte Schalen reduzieren und helfen darüber hinaus, wiederholte Gänge zu Orthopädietechnikerinnen und -technikern zu vermeiden.

Die übergeordneten Ziele hierfür sind:

1. Körperperformerfassung

2. Kontaktflächenerfassung
3. Individualisierung
4. Druckwerkzeug-Erstellung, Druck und ggf. Carbonlaminierung

## Arbeitsprogramm und Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete

### Ergebnisse Antrag Sitzschale

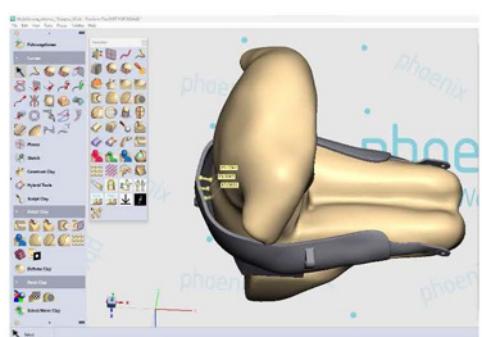
AP 1	Sitzschalen-Versuchsstand
Zielsetzung AP: Aufbau eines Sitzschlitten-Versuchsstand	<p>Vorgehen: Seiten- und Rückenbegrenzungen,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstellbare Sitzwinkel</li> <li>• Ausstattung mit Vakuumkugelkissen für Abdruck</li> </ul>
Ergebnis	Fertiger Versuchsstand

AP 2	3D-Scan
Zielsetzung AP: Erfassung der Körperformen unter Berücksichtigung möglicher, sitzpositionsabhängiger Weichteilverdrängungen	<p>Vorgehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D-Scan: Körperform der Aktiven</li> <li>• 3D-Scan des Vakuumkissens mit Abdruck der Aktiven zur Bestimmung der Weichteilverdrängungen in der jeweiligen Sitzposition.</li> <li>• Bestimmung von Landmarken in der Anatomie bzgl. Gelenkwinkeln</li> </ul>
Ergebnis	Körperformen und anatomische Besonderheiten sind als CAD-Daten vorhanden für beide Aktive

AP 3	Fusion der CAD-Daten
Zielsetzung AP: Erstellung der digitalen Modelle durch Fusion der 3D-Scans von Körperform und Abdruck inklusive Sitzwinkel/ Gelenkwinkel	<p>Vorgehen: Erstellung eines digitalen 3D-Negativs der Schaleninnengeometrie (Geomagic Wrap) Erstellung einer digitalen 3D-Körperform der Aktiven Fusion der beiden Modelle</p>
Ergebnis	Körperform der Aktiven unter Berücksichtigung von sitzpositionsabhängigen Veränderungen liegt als digitales Modell vor

<b>AP 4</b>	<b>Ableiten der Schalengeometrie um Körperform</b>
<p>Zielsetzung AP:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ableiten der Schalengeometrie</li> <li>• Konzept für Bezug zum Sportgeräte/Anpassung</li> <li>• ggf. Anfertigung eines Adapters (siehe Innovationsprojekt) für Schnittstelle zu Sitzschlitten</li> </ul> <p>Vorgehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• digitale Anpassung einer Schale um bestehende Körperform (Geomagic Wrap)</li> <li>• digitale Anbindung an das Sportgerät/Positionierung der Anbindungsoptionen (Bohrungen, Adapter)</li> </ul>	
<p><b>Ergebnis</b></p> <p><b>Digitales, geometrisches Reproduktionsmodell der körperbasierten Schale mit Anbindungsoptionen an das Sportgerät</b></p>	

<b>AP 5</b>	<b>Ableiten der Werkzeugform</b>
<p>Zielsetzung AP:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ableitung der Werkzeuggeometrie (Schalenmodell) mit dem Ziel einer Umlaminierung mit geeignetem Werkstoff (Carbon oder andere Fasern)</li> </ul> <p>Vorgehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• digitale Anfertigung von Schalenteilen</li> <li>• digitale Trennung der Anteile der Schalenwerkzeuge im Bereich Sitz-, Rücken-, Beinschale</li> <li>• digitale Anbringung der Verbindungselemente der Schalenteile (Scharniere, fixe Verbindungen etc.)</li> </ul>	
<p><b>Ergebnis</b></p> <p><b>Digitales Schalenwerkzeug einer kompletten Schale</b></p>	

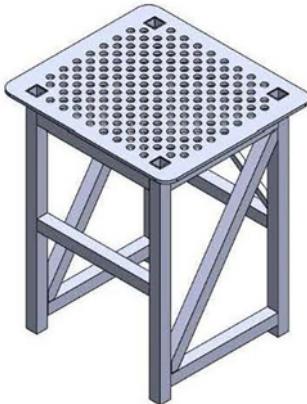
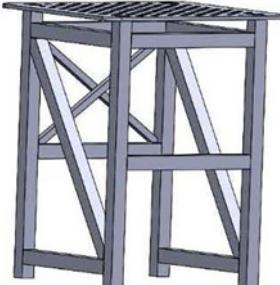
<b>AP 6</b>	<b>Fertigung</b>
<p>Zielsetzung AP:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigung des Schalenwerkzeugs</li> <li>• ggf. Umlaminierung mit Schalenwerkstoff (z.B. Carbon)</li> </ul> <p>Vorgehen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D-Druck des Schalenwerkzeugs in additivem Filamentdruckverfahren</li> <li>• Fertigung mit geeignetem Werkstoff</li> </ul>	
 	
<b>Ergebnis</b>	<b>Sitzschalen für beide Aktive</b>

## Aufstockungsantrag Schlittengestell

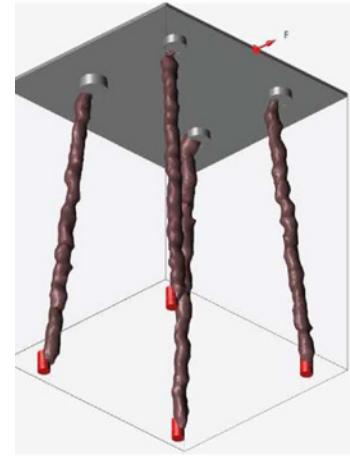
Im Verlauf des Projekts offenbarte sich die Problematik des bisher noch nicht analysierten Sitzschlittengestells, das an der Oberseite der Sitzschale als Rahmen und am unteren Ende der Ski-Anbindungspunkt dient.

Der Fehlbedarf wurde angemeldet und das Projekt entsprechend um den Analyseprozess anhand Simulation und anschließender CAD-Bereitstellung für Fertigung inklusive Analyse der Werkstoffauswahl (Aluminium, Stahl) erweitert.

### Ergebnisse Aufstockungsantrag Schlittengestell

AP 1	AP1 Konzeption & Konstruktion Basisgestell
AP: <ul style="list-style-type: none"><li>• Konzeption einer Basis-Rohr-Schweiß-Konstruktion (Alu/Stahl)</li><li>• Konzeption: Verstellmöglichkeiten Schlitten zu Gestell</li><li>• Umsetzung des Konzepts im CAD</li></ul>	
	
Ergebnis	CAD-Daten Schlittengestell

AP 2	<b>Topologie Optimierung des erstellten Basisgestells (Software: Altair)</b>
<p>AP:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufsetzen des Berechnungsmodells für die Optimierung (Input: Lasten, Kräfte, Maße, Materialkennwerte u.a.)</li> <li>• Berechnung von topologieoptimierten Auslegungsvorschlägen für das Basisgestell</li> <li>• Bewertung der topologieoptimierten Vorschläge und Auswahl eines Konzepts für Umsetzung</li> </ul> <p><b>Lastfall 1: Vorschub unter Schwerkraft (Eigengewicht)</b>  Athletin/Athlet mit Winterbekleidung und Carbonschale (ca. 660 N) Armkraft ca. 50 N pro Seite/Arm Vorschub in der Spitze</p>	

<p><b>Lastfall 2: Vorschub unter Schwerkraft (Eigengewicht) mit ungleichem Vorschub links und rechts</b>  → Schwingungsbelastung mit Spitze am vorderen Bindungsschuh  Ca. 1 Mio. Lastwechsel → für Stahl Wöhler nur halbe Festigkeit ansetzen  Erklärt das Versagen der Kunststofflasersinterlösung des KIT an genau dieser Stelle</p> <p><b>Lastfall 3: Ablegen und Hochdrücken aus seitlicher Liegeposition am Schießstand</b>  Keine Literaturwerte – bisher nicht im Detail betrachtet, da aber alle Werkstoffe überdimensioniert steif sind, wäre leicht Abhilfe durch Aufpralldämpfung möglich.</p>		
 <p>Frontalansicht</p>	 <p>Fahrtrichtung nach rechts</p>	 <p>Minimalgewicht-Optimierung</p>
Ergebnis	<b>Definiertes Schlittengestell – Konzept</b>	

AP 3	Umsetzung des Topologie- (und ggf. Verformungs-)optimierten Gestells
Zielsetzung AP:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ableiten produktionsfertiger Daten (und ggf. technischer Zeichnungen)</li> <li>• Fertigung in geeignetem Fertigungsverfahren</li> </ul> 
Ergebnis	Sitzschlittengestell inkl. Anbindung an Sitzschale

## Transferoptionen und Ausblick

Ein Transfer der Methodik aus dem vorangegangenen Projekt und die Anwendung in einer anderen Sportart, in der die Verbindung zwischen Mensch und Sportgerät anhand einer Sitzschale erfolgt, ist demnach möglich. Alle angestrebten Projektziele wurden erreicht.

Offen ist allerdings noch die Frage, welche Kräfte tatsächlich im Anschubvorgang am Gerät und der Schale auftreten und ob diese zu Verformungen führen. Kenntnis über den Verlauf der Kraft wäre, auch im Hinblick auf die Winterspiele 2026, ein großes Potenzial für konstruktive Veränderungen im Hinblick auf Leistungssteigerung durch Materialoptimierung. Zudem könnten dann potenzielle Verformungen als günstig (Energierückgabe) bzw. ungünstige Verformungen (bremsend bzw. nicht in Bewegungsrichtung verlaufend) identifiziert und optimiert werden.

Durch Druckmessungen im Inneren der Sitzschale wären solche Aussagen möglich und aus leistungssportlicher Sicht wünschenswert.

Weiterhin ergibt sich Transferpotenzial für alle Sportarten, in denen Sitzschalen und Rahmenkonstruktionen zur Anwendung kommen, da

hier bisher der Kraftverlauf bzw. die Übertragung der Kraft der Aktiven auf das Sportgerät noch nicht untersucht und verstanden ist.

# Entwicklung und Anwendung eines Diagnoseschlittens für Para-Sit-Skiing unter besonderer Berücksichtigung der neuronalen und physiologischen Optimierung der Sitzposition

AZ 071608-22

*Prof. Dr. Natalie Mrachacz-Kersting*

Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Freiburg

*Dr. Walter Rapp*

Olympiastützpunkt Freiburg-Schwarzwald

## Einleitung

Um im Para-Sitzschlittensport eine optimierte Performance zu bekommen, muss das Sportgerät auf die individuelle Behinderung einer Athletin/eines Athleten abgestimmt sein. Um die individuelle Sitzposition bestimmen zu können, ist es sinnvoll, einen variabel einstellbaren Sitzschlitten zu verwenden, der es erlaubt, eine den unterschiedlichen Behinderungen angepasste Sitzpositionen einzustellen. Die Findung der individuell optimierten Sitzposition ist deshalb entscheidend für die Akzeptanz einer Athletin/einer Athleten, sich mit dem Sportgerät auseinanderzusetzen und dann auch im Wettkampf eine optimale Performance abzuliefern. Neben den leistungssportlichen Aspekten muss hier auch immer ein ökonomischer Aspekt berücksichtigt werden. Weil die Beschaffung eines Sitzschlittens teuer ist, muss die Entscheidung beim finalen Bau des Sportgerätes den Anforderungen angepasst sein. Um einen guten personalisierten Sitzschlitten anfertigen zu können, sollte deshalb im Vorfeld die individuell beste Sitzposition ermittelt werden, um dann mittels eines Testschlittens trainieren zu können. Vorteil solch eines Testschlittens ist es, dass dieser von unterschiedlichen Personen verwendet werden kann und dass mit diesem auch trainiert werden kann. Ziel dieses Projektes war es somit, einen flexiblen Schlitten zu entwickeln, der an unterschiedliche Anforderungen der individuellen Behinderung angepasst werden kann.

## Sitzpositionen und deren Einfluss

Die Sitzposition als auch die Anpassung an die individuelle Anatomie ist ein entscheidender Aspekt für die Generierung von Vortrieb und der Steuerung auf der Strecke. Aus biomechanischer Sichtweise ist eine kniende Position hierbei die beste, weil hier die größtmögliche Oberkörperbewegung möglich ist. Im Gegensatz hierzu steht die sogenannte „Knie hoch“-Position. Diese Position wird gewählt, wenn keine oder eine stark eingeschränkte Rumpfstabilität vorliegt. Die angewinkelten Knie verhindern ein Vorfallen des Oberkörpers und helfen somit bei der Aufrechterhaltung des Rumpfes. Die eingeschränkte Rumpfbewegung minimiert jedoch die Vortriebsleistung, weshalb diese Athletinnen und Athleten auch anders klassifiziert werden.

## Anforderungen an einen Trainings- und Diagnosesitzschlitten

Die Anforderungen an einen Diagnoseschlitten betreffen weitgehend die Verstellbarkeit für die individuelle Sitzposition. Dies steht allerdings im Gegensatz zu den Regularien des IPCNS für die Zulassung eines Wettkampfschlittens. Der Sitz darf während dem Wettkampf nicht verstellbar sein. Weder im Sitzschlitten noch in der Verbindung des Sitzes mit den Skiern dürfen

fen Federn oder flexible Gelenke verbaut sein. Der maximale Abstand von 40 cm zwischen der Oberseite des Skis und des Berührungs punktes des Gesäßes mit dem Sitz darf nicht überschritten werden. Der Kontakt zwischen Gesäß und Sitz muss während des gesamten Rennens bestehen. Um dies zu gewährleisten, muss der Athlet oder die Athletin an Oberschenkel oder Hüfte mit einem nicht-flexiblen Material fest-

geschnallt werden.

Für Testzwecke sowie Training und Diagnose gelten diese Regularien jedoch nicht. Da der Schlitten auf die individuellen Bedürfnisse der Athletinnen und Athleten angepasst werden soll, müssen möglichst viele Komponenten verstellbar gestaltet werden.

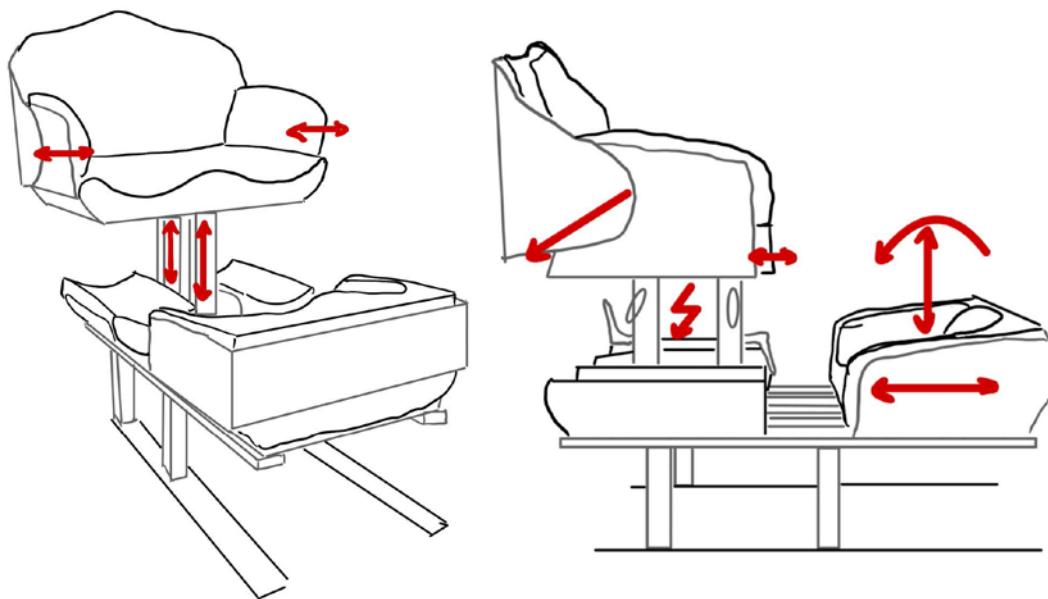


Abb. 1: Verstolloptionen von Sitz und Kniekasten

Der Sitz des Diagnoseschlittens soll in der Höhe, Breite und Länge verstellbar sein (Abb. 1). Der Winkel der Sitzfläche soll ebenfalls variabel sein, um verschiedene Hüftwinkel zu gewährleisten. Dabei darf keine Verklemmung entstehen. Der Kniekasten soll in horizontaler und vertikaler Richtung verstellbar sein und um die rechts-links Achse drehbar. Hierdurch soll eine optimale Anpassung an die individuellen Sitzpositionen gewährleistet werden. Um die Knie in ihrer Höhe zu variieren, muss die vertikale Einstellmöglichkeit des Kniekastens nach unten beachtet werden. Die Fixierungen der Athletin oder des Athleten am Sitz muss aufgrund der verschiedenen Sitzpositionen eine Zugrichtung hinten-unten besitzen. Sie soll von der Athletin oder dem Athleten selbstständig angelegt und gelöst werden können. Alle Einstellungen des Schlittens sollen leicht anzupassen sein, um eine gute Handhabung zu gewährleisten. Hierbei steht jedoch trotzdem

der sichere Halt der Verbindungen an erster Stelle. Das Gewicht des Schlittens soll möglichst gering bleiben.

## Umsetzung in eine mechanische Konstruktion

Im ersten Schritt wurden Skizzen entworfen, die die unterschiedlichen Komponenten beinhalteten. Zur Visualisierung der Skizzen wurde dann in 3D ein CAD-Modell mit der Software SolidWorks erstellt (Abb. 2). Hier konnten die einzelnen Teile modelliert und am Ende zu einer Baugruppe zusammengefügt werden. Insgesamt wurden 20 verschiedene Teile erstellt.

Die Modelle für Sitzfläche, Rückenlehne, Kniekasten und Unterschenkelablage wurden einem bereits existierenden Sitzschlitten nachempfunden.

Nachdem die Teilkomponenten fertig modelliert waren, wurden diese zu einer Baugruppe zusammengefügt. Mittels der CAD-Software können nun Visualisierungen vorgenommen werden und die einzelnen Baugruppen lassen sich im 3D-Raum darstellen und verändern.

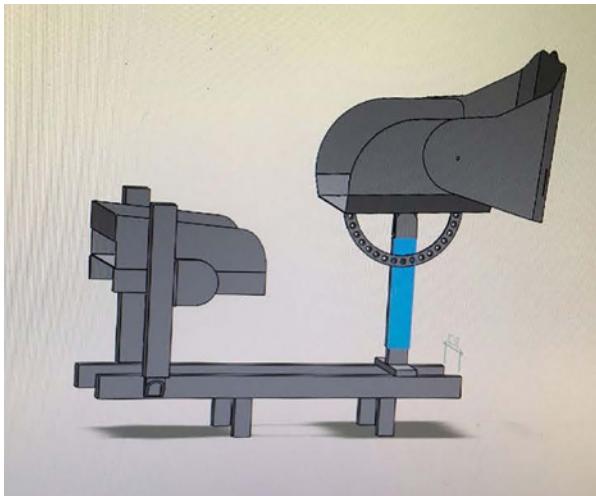


Abb. 2: CAD-Modell des neu konzipierten Schlittens

## Material und Berechnung

Bei der Auswahl des zu verwendenden Materials wurde vor allem auf die Stabilitätseigenschaften geachtet. Da der Diagnoseschlitten als Sportgerät einerseits leicht sein soll und andererseits auch kostengünstig in der Produktion, soll die Grundkonstruktion auf der Verwendung von Aluminiumprofilen basieren.

Im Falle des Diagnosesitzschlittens ist das Baukastenprinzip in mehrerer Hinsicht von Vorteil. Es müssen hier keine Sonderanfertigungen für einen einzelnen Schlitten erstellt werden. Lediglich die Längen der gewählten Profile müssen angepasst werden. Zu den Profilen sind die passenden Zusatzteile wie beispielsweise Verbindungselemente oder Gelenke vorhanden.

Für die Berechnungen der Stabilität werden, die von den Herstellern zur Verfügung gestellten statischen Werte verwendet. Als Berechnungsgrundlage wird eine Person von 90 kg Körpergewicht angenommen um einen ausreichenden Sicherheitsindex vorzuhalten.

Eine wichtige Anforderung ist die einfache Verstellbarkeit für die einzelnen Positionen. Um auf Verbindungen bzw. die Verstellung mit Schrauben zu verzichten, die vor allem bei Kälte problematisch wären, kommen hier Exzenterhebel zum Einsatz.

Diese Grundüberlegungen sowie die CAD-Datei wurden mit der Firma Orthopädietechnik Rapp&Seifert (Bad Krozingen) diskutiert und dann in den Bau eines neuen Schlittens integriert. Die Firma arbeitet schon lange mit dem DBS in der Entwicklung und dem Bau von Sitzschlitten zusammen, sodass hier auch von praktischer Seite eine hohe Kompetenz vorhanden ist.

## Anwendung des aktuellen Diagnoseschlittens zur Beurteilung des neuronalen und physiologischen Verhaltens in verschiedenen Sitzpositionen

Da der Projektzeitraum nur kurz war, konnte die Neukonstruktion zur Anwendung kommen. Um aber die physiologischen und neuronalen Fragestellungen zu beantworten, wurde auf den vorhanden Sitzschlitten der Fa. Rapp&Seifert zurückgegriffen.

## Testverfahren

Es wurden die am OSP standardmäßige Befestigung eines Sitzschlittens auf dem Großlaufband verwendet. Hierzu wurde der Testschlitten auf Skirollern fixiert und mittels einer Haltevorrichtung auf dem Laufband kontrolliert.

Im Test wurden eine Normalposition (sitzend, Hüft- und Kniewinkel 90°), eine kniende (Abb. 3) sowie ein Knie-hoch-Position durchgeführt. Zunächst erfolgte eine 2-minütige Einfahrphase bei frei gewählter Geschwindigkeit. Im Anschluss daran wurde die Spiro-Maske angelegt und die weiteren Messparameter überprüft.



Abb. 3: Beispiel der knieenden Position in der Testsituation

Es wurden mittels Oberflächen-EMG die neuro-nale Aktivierung relevanter Muskeln am Rumpf und Oberschenkel abgeleitet. Die Sauerstoffkinetik wurde mittels einer mobilen Spiroergometrie (Cosmed K5) erfasst. Zur Synchronisierung wurde der Stockauftakt mittels im Stock integrierter Kraftaufnehmern verwendet.

Die Fahrgeschwindigkeit wurde individuell an den Könnensstand der Probandin/des Probanden angepasst. Jede Sitzposition sollte 6 Minuten lang mit der Doppelstocktechnik gefahren werden. Um Ermüdungseffekte zu minimieren, erfolgte vor dem Wechsel zur nächsten Sitzposition eine Pause von 15 Minuten. Vor und nach jeder Sitzposition wurde auch Laktat abgenommen.

Als Probandinnen und Probanden wurden zwei männliche sowie drei weibliche Personen gemessen, die über keine spezifische Vorerfahrung im Sitzschlitten verfügten. Aufgrund des geringen N bis zum Projektende werden die Daten von EMG und Spiro ausschließlich qualitativ dargestellt und diskutiert.

Das EMG des ES zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Sitzposition. In der Position mit angewinkelten Knien (knee high) ist eine deutlich geringere Aktivierung zu erkennen (Abb. 4).

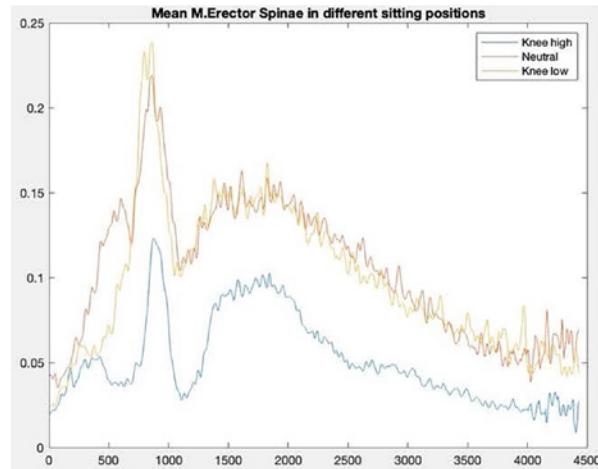


Abb. 4: EMG m.erector Spinae (ES) am Bsp. eines Probanden bei unterschiedlicher Sitzposition

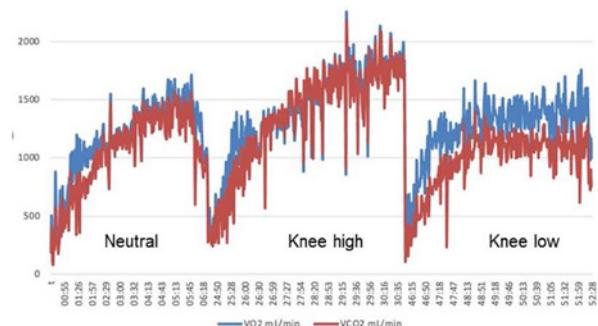


Abb. 5: Beispiel der Spiroergometrie in Abhängigkeit der Sitzpositionen

Die Daten der Spiroergometrie (Abb. 5) zeigen ebenfalls einen deutlichen Unterschied in der Sitzposition. Auch hier zeigt sich, dass in der knienden Position (knee low) der geringste energetische Umsatz zu beobachten ist. Hier kann die vorgegebene Geschwindigkeit mit deutlicher geringerem  $\text{VO}_2$  gefahren werden.

## Diskussion

Primäres Ziel des Projektes war es, eine möglichst flexible Konstruktion eines Sitzschlittens zu entwickeln, der für unterschiedliche Sitzpositionen adaptiert werden kann. Basierend auf dem vorhandenen Schlitten konnten hier Parameter abgeleitet werden, die dann in die Neu-Konstruktion einfließen konnten. Da solch ein Schlitten einem möglichst breiten Nutzerspektrum dienen sollte, musste berücksichtigt werden, dass sowohl Nachwuchssportlerinnen und -athleten als auch Quereinsteigerinnen und Quereinsteiger aus anderen Ausdauersportarten damit zureckkommen.

Die Konstruktion wurde aus mechanischer und Konstruktionssichtweise möglichst simpel und übersichtlich gehalten, und durch die Verwendung von Standardkomponenten kann auch eine preiswerte Umsetzung möglich sein. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass die Einstellungen der Sitzschale und des Kniekastens so flexibel gestaltet wurde, dass wir davon ausgehen, dass 90% der Nutzer mit diesem Schlitten fahren können. Wichtig ist außerdem die einfache Handhabung der Einstellungen auch bei Kälte. Dies müsste in der praktischen Umsetzung im Winter noch überprüft werden, aber durch die mechanische Konstruktion ist davon auszugehen, dass dies auch gewährleistet ist.

Die Konstruktion bietet die Option, ein Grundgestell bereitzustellen. Die individuelle Anpassung an die Anatomie bzw. an den individuellen Grad einer Behinderung aber muss nach wie vor durch eine orthopädische Fachkraft gemacht werden. Die Lösung durch austauschbare Insets bietet aber auch hier Möglichkeiten einer flexiblen und individuellen Anpassung.

Die Anwendung zum physiologischen und neuronalen Verhalten der Sitzpositionen zueinander wurde erfolgreich durchgeführt. Vor allem seitens der Aussagekraft von EMG war wichtig zu sehen, dass Messungen auf dem Laufband und EMG möglich sind. Dies ist bedingt durch die Spezifität des Großlaufbandes nicht zwingend als gegeben zu betrachten. Vor allem der Einfluss von Störungen durch elektromagnetische Signale muss berücksichtigt werden.

Die ersten Ergebnisse aber lassen einen geringeren metabolischen Energiebedarf in den Sitzpositionen kniend und in einer mehr sitzenden Position vermuten. Auch in der neuronalen Dokumentation lassen sich deutliche Unterschiede in der Sitzposition erkennen. Da jedoch sehr wenig Probandinnen und Probanden getestet wurden, sollten hier für mehr Aussagekraft weitere Tests durchgeführt werden. Zudem sind einige Verbesserungen das Testprotokoll betreffend notwendig, um eine höhere Validität der Daten zu erhalten.

## Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassen kann gesagt werden, dass die Ziele des Projektes erreicht wurden. Es wurde ein neuer Diagnosesitzschlitten entwickelt. Die erforderlichen Einstellmöglichkeiten wurden aus Sichtweise der Konstruktion ermöglicht. Im Fall des Sitzes ist dies mit Teleskopstützen und einem Radius realisiert. Der Kniekasten lässt sich auf Schienen horizontal und vertikal verschieben. Zusätzlich ist eine Kippung möglich. Über verschiedene Polster lässt sich die Breite des Sitzes verstellen. Die Fixierung der Athletinnen und Athleten ist mit der Zugrichtung hinten-unten mit einem Gurtspanner möglich. Durch die seitliche Positionierung wird ein selbstständiges An- und Abschnallen ermöglicht. Zudem wurden im Pilotversuch verschiedene Sitzpositionen miteinander verglichen und es können erste Aussagen hinsichtlich physiologischer und neuronaler Anpassung gemacht werden.

In Zukunft könnte der Schlitten weiter in Richtung Gewichtsreduktion entwickelt werden. Besonders Sitz und Kniekasten könnten hier leichter gestaltet werden.

## Literaturverzeichnis

- W. Rapp u. a., „Role of muscle activation in the sit-skiing performance and classification process“, 2016, S. 165–172.
- W. Rapp, S. Lindinger, T. Lappi, O. Ohtonen, und V. Linnamo, „Force production, balance control and muscle activation in different sitting positions—pilot study for disabled sit sledge cross-country skiers“, Jan. 2013, S. 53.
- K. Lajunen, W. Rapp, J. P. Ahtiainen, S. J. Lindinger, und V. Linnamo, „Effect of Sitting Posture on Sit-Skiing Economy in Non-disabled Athletes“, Front Sports Act Living, Bd. 2, S. 44, 2020,

# Verbesserung der Laufökonomie durch Individualisierung des Laufschuhs unter Berücksichtigung der spezifischen Laufbiomechanik

AZ 072001/23

*Karsten Hollander<sup>1</sup> (Projektleitung), Dominik Fohrmann<sup>1</sup>, Marcelle Schaffarczyk<sup>1</sup>, Thomas Gronwald<sup>1</sup>, Steffen Willwacher<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Interdisciplinary Exercise Science and Sports Medicine, MSH Medical School Hamburg

<sup>2</sup> Institute for Advanced Biomechanics and Motion Studies, Hochschule Offenburg

## 1 Problem

Schuhe sind im Laufsport von entscheidender Bedeutung, und kontinuierliche technische Fortschritte stehen immer wieder im Rampenlicht, wie zum Beispiel beim „Sub 2“-Marathonversuch von Eliud Kipchoge. Dabei wurde mit einem individualisierten Laufschuh erstmals die Marathondistanz in unter 2 Stunden absolviert. In den letzten Jahren wurden auch offizielle Weltrekorde über verschiedene Distanzen auf der Straße und der Bahn mehrfach verbessert (Burns & Tam, 2020; Willwacher et al., 2024). Besonders auffällig sind dabei die neuartigen Schuhe mit fortschrittlicher Technologie (engl. advanced footwear technology, AFT), welche sich durch ein sehr nachgiebiges und elastisches Zwischensohlenmaterial, eine Carbonfaserplatte in der Mittelsohle und eine höhere Mittelsohlenkonstruktion auszeichnen. Studien haben gezeigt, dass diese Schuhe im Vergleich zu konventionellen Marathon-Laufschuhen eine um etwa 4% verbesserte Laufökonomie aufweisen (Barnes & Kilding, 2019; Hoogkamer et al., 2018). Diese Verbesserung wird zudem in einer gesteigerten Laufgeschwindigkeit ersichtlich (Hoogkamer et al., 2016, 2017, 2018) und wird weiterhin durch biomechanische Aspekte (z.B. Schrittlänge, Bodenkontaktzeit) beeinflusst (Barnes & Kilding, 2015; Rodrigo-Carranza et al., 2022). Biomechanische Analysen dieser Schuhe zeigen Veränderungen im Sprunggelenk und im Metatarsophalangeal-Gelenk (MTP-Gelenk)

in Form einer verringerten Arbeit im Sprunggelenk in Kombination mit einer verbesserten Energiespeicherung in der Mittelsohle und einer erhöhten Steifigkeit im MTP-Gelenk. Dies kann zu verringerten Energiekosten beim Laufen führen (Hoogkamer et al., 2019). Obwohl die Forschung insgesamt positive Effekte dieser Schuhe zeigt, sind weitere Untersuchungen, insbesondere an verschiedenen Läufergruppen, notwendig (Hoogkamer et al., 2018; Rodrigo-Carranza et al., 2022; Besson et al., 2022; Bredeweg et al., 2013; Breine et al., 2014; Davis et al., 2016; Milner et al., 2006). Von Relevanz scheint insbesondere die individuelle Analyse des Einflusses des Schuhwerks auf die Laufökonomie unter Berücksichtigung der individuellen Anpassung der individuellen Biomechanik zu sein. Das vorrangige Ziel des Projektes war es, eine direkte praktische Umsetzung zu gewährleisten, indem für Läuferinnen und Läufer des Deutschen Leichtathletik-Verbands der individuell laufökonomischste Laufschuh bestimmt wird (Ziel 1). Zusätzlich sollte der Einfluss der individuellen Biomechanik auf die Laufökonomie unter Berücksichtigung der Schuhbedingung wissenschaftlich erschlossen werden (Ziel 2). Die Ergebnisse der Studie sollen als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen und in Handlungsempfehlungen zur disziplingspezifischen Individualisierung von Laufschuhen zur Verbesserung der Laufökonomie und letztlich Laufleistung münden.

## 2 Methoden

Insgesamt wurden 22 Läuferinnen und Läufer (50 % weiblich, Alter:  $33,1 \pm 6,2$  Jahre, BMI:  $21,0 \pm 1,7$  kg/m<sup>2</sup>) rekrutiert. Diese entstammten zum einen dem aktuellen Bundeskader der Disziplinen Langstrecke und Marathon des Deutschen Leichtathletik-Verbands. Außerdem wurden kompetitive Läuferinnen und Läufer eingeschlossen (rekrutiert über den Hamburger Leichtathletik-Verband, lokale Vereine, persönliche Kontakte, Laufgeschäfte und soziale Medien), welche die folgenden Voraussetzungen erfüllen konnten:

- › eine aktuelle Saisonbestleistung über 10 km unter <40 Min. (Männer) bzw. <53 Min. (Frauen) oder äquivalente Wettkampfleistung im Halbmarathon oder Marathon (entsprechend 300 Punkten in der World Athletics Scoring Tabelle)
- › ein Alter zwischen 18 und 65 Jahren
- › die Abwesenheit laufbedingter Verletzungen innerhalb der letzten drei Monate

Die Teilnehmenden wurden in die Labore des Institute of Interdisciplinary Exercise Science and Sports Medicine eingeladen und gebeten, 24 Stunden vor der einmaligen Messung keine intensive Trainingseinheit mehr durchzuführen und ein bis drei Paare ihrer eigenen Laufschuhe zum Laborbesuch mitzubringen. Zusätzlich wurden drei verschiedene standardisierte AFT-Schuhe zur Verfügung gestellt (fabrikneu und

kommerziell erhältlich, Größen US6 bis US21 (siehe Abbildung 1).

### 2.1 Protokoll

Die Teilnehmenden sollten vier bis sechs 5-minütige Läufe in den verschiedenen Schuhbedingungen (abhängig von der Anzahl der mitgebrachten Laufschuhe) in zufälliger Reihenfolge (randomisiertes Cross-Over-Design) und in Anschluss an ein Warm-up bei individueller submaximaler Laufgeschwindigkeit absolvieren. Dabei fanden die Läufe auf einem motorisierten und Druckinstrumentierten Laufband (FDM-T, h/p/cosmos, Nussdorf-Traunstein, Deutschland) statt. Die Methoden zur Messung der Laufökonomie (Atemgasmasken, Stoffwechselwagen für die fortwährende Analyse des Gas austausches: Quark CPET, module A-670-100-005, COSMED Deutschland GmbH, Fridolfing, Germany; desktop software: Omnia version 2.2, Breath-by-breath-Verfahren) und der Biomechanik (reflektierende Marker) wurden vorab vorbereitet und an den Teilnehmenden angebracht. Die vorgeschriebene Geschwindigkeit wurde anhand der aktuellen Saisonbestleistung über die Marathon-distanz ermittelt. Für Athletinnen und Athleten, die keine solche Zeit vorweisen konnten, wurde die Laufgeschwindigkeit über der Halbmarathon oder 10 km Saisonbestleistung bestimmt. Dazu wurden diese auf eine hypothetische Marathonzeit durch einfache Faktoren umgerechnet ( $10\text{ km Zeit} \cdot 4,666 = \text{Marathonzeit}; \text{Halbmarathon Zeit} \cdot 2,11 = \text{Marathonzeit}$ ; Steffny, 2016, S. 147).



Abb. 1: Standardisierte AFT-Schuhe: Nike Air Zoom Alphafly Next% 2 (Beaverton, OR, USA); Puma Nitro Elite Fast-R (Herzogenaurach, Deutschland); Asics Metaspeed Sky+ (Köbe, Japan) (v.l.n.r.).

## 2.2 Datenerhebung

Die Messung der Atemgase erfolgte fortwährend über das ganze Messprotokoll (Belastungs- und Erholungsphasen), während die kinematischen Daten lediglich innerhalb der letzten Minute des Belastungsintervalls mithilfe von 14 Hochgeschwindigkeitskameras (300Hz, 12x Mius Hybrid, 2x Mius Video, Qualisys AB, Göteborg, Schweden) aufgezeichnet wurden. Im selben Zeitraum wurden mit einer in das Laufband integrierten Druckplatte (300Hz, FDM-3i, Zebris Medical GmbH, Weitnau, Deutschland) plantare Druckdaten synchron zu den kinematischen Daten gemessen. Zum Ende der Belastungsphasen erfolgte eine Abfrage des subjektiven Beanspruchungsempfindens mittels BORG-Skala (Skala mit einer Einteilung von 6-20; Borg, 1998) sowie des Empfindens zum Komfort der Schuhe auf einer Skala von 0 („überhaupt nicht komfortabel“) bis 10 („maximal komfortabel“). Außerdem wurde eine Laktatprobe ([La]) aus dem Kapillarblut des Ohrläppchens (20 µl) entnommen und später ausgewertet (Biosen C-Line Clinic-Analysegerät, EKF-diagnostic GmbH, Barleben, Deutschland). In den Erholungsphasen auf dem Laufband erfolgte der Schuhwechsel und die Kontrolle der Platzierung der Marker.

## 2.3 Variablen

Das Primäroutcome Laufökonomie wurde als Sauerstoffkosten des Transports (engl. oxygen cost of transport, CoT) aus den letzten drei Minuten der Belastungsphasen bestimmt unter Verwendung der Gleichung von Péronnet & Massicotte (1991) (Kipp et al. 2018). Mithilfe des respiratorischen Austauschverhältnisses (RER) und der der Laktatwerte wurde überprüft, ob durch die vorgeschriebene Belastung ein metabolisches Steady-State eingehalten wurde (Barnes & Kilding, 2015). Die kinematischen Daten wurden mittels Qualisys Track Manager (Version 2023.3, Qualisys AB, Göteborg, Schweden) annotiert und anschließend nachbearbeitet (Visual3D, Version 2023.12.1, C-Motion Inc., Germantown, MD, USA). Die daraus resultierenden kinematischen Variablen sowie die Druckdaten wurden anschließend mit Python-Skripten bearbeitet

(Version 3.10, python.org). Folgende Parameter wurden für die Analyse berechnet: Bodenkontaktzeit, Flugzeit, Schrittzahl, vertikale Beckenoszillation, maximale Hüftflexion in der Standphase, maximale Knieflexion in der Standphase, maximale Dorsalflexion im Sprunggelenk in der Standphase, Flexionsausmaß im Sprunggelenk in der Standphase, maximale Dorsalflexion im MTP-Gelenk in der Standphase, Flexionsausmaß im MTP-Gelenk in der Standphase.

## 2.4 Statistik

Um grundsätzliche Unterschiede in der Laufökonomie zwischen den Schuhbedingungen zu untersuchen, wurden einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt. Im Falle eines statistisch signifikanten Ergebnisses wurden Tukey HSD Tests durchgeführt. Für alle statistischen Verfahren wurde R Version 4.3.0 in RStudio Version 2023.06 (Posit Software, Boston, MA, USA) verwendet. Das statistische Signifikanzniveau wurde für alle Tests in dieser Studie auf  $\alpha=0,05$  gesetzt. Zusätzlich wurde ein gemischtes Modell verwendet, um den Einfluss verschiedener biomechanischer Parameter auf CoT zu untersuchen. Dazu wurden zunächst alle oben aufgeführten biomechanischen Parameter als fixe Effekte in das Modell aufgenommen. Das Probandinnen - und Probandenlevel wurde als zufälliger Effekt modelliert, um die intraindividuelle Variabilität zu berücksichtigen („random intercept“). Zusätzlich wurden das Schuhgewicht, die Laufgeschwindigkeit und das Geschlecht als Kovariaten (fixe Effekte) einbezogen. Multikollinearität wurde mittels Korrelationsmatrizen und dem Variance Inflation Factor (VIF) untersucht. Prädiktoren mit einem VIF größer als 5 wurden als multikollinear angesehen und schrittweise aus dem Modell entfernt, um die Genauigkeit der Schätzungen zu verbessern. Die Annahmen bezüglich Linearität und Homoskedastizität wurden mithilfe von Residuenplots überprüft. Die Normalverteilung der Residuen wurde durch QQ-Plots validiert. Alle intervallskalierten Variablen wurden zuvor z-transformiert, um Einheitlichkeit in der Skalierung zu gewährleisten und die Vergleichbarkeit der Regressionskoeffizienten zu erleichtern.

### 3 Ergebnisse

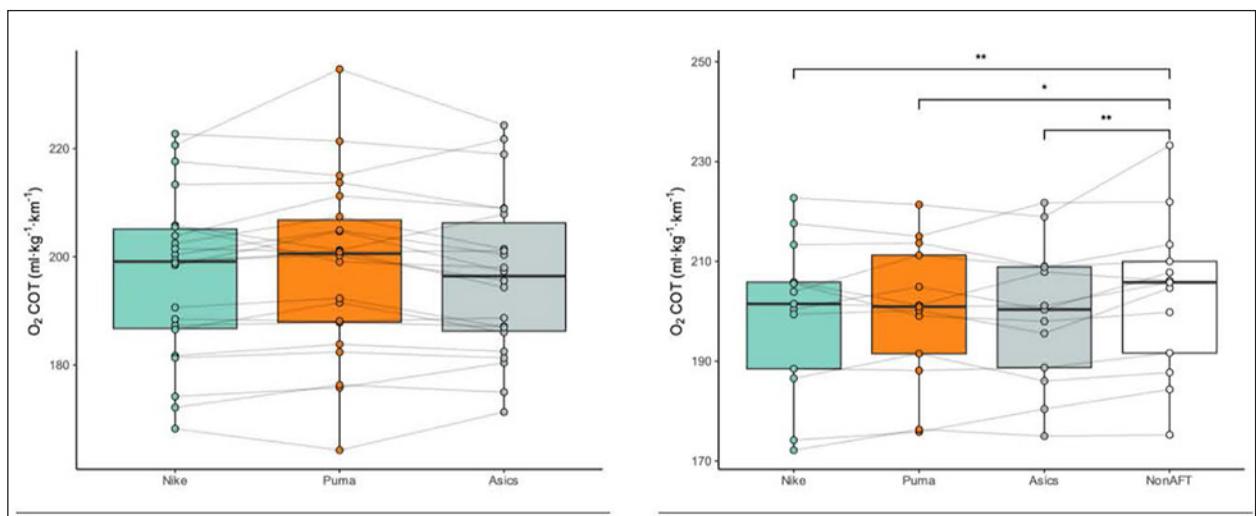


Abb. 2: Gruppenvergleiche der Laufökonomie (CoT) der verschiedenen Schuhmodelle (links). Vergleich der AFT-Standardmodelle zeigte keinen Unterschied in der gesamten Kohorte; (rechts). Vergleich der Subgruppe, in der AthletInnen mindestens einen Nicht-AFT-Schuh mitbrachten ( $n=13$ ), zeigte Unterschiede zwischen den Standard-AFT-Schuhen und den Nicht-AFT-Schuhen jedoch nicht zwischen den AFT-Schuhen. \* $p<0,05$ , \*\* $p<0,01$

Alle 22 Läuferinnen und Läufer konnten für die Studie analysiert werden. Die Saisonbestleistungen der Athletinnen und Athleten wurde über die Distanzen 10 km bis Marathon ermittelt. Diese entsprachen mittleren Wertungspunkten von  $762 \pm 234$  (Läuferinnen:  $777 \pm 215$ ; Läufer:  $746 \pm 261$ ) gemäß der aktuellen Wertungstabelle der World Athletics (World Athletics, 2022b). Diese entsprechen wiederum Marathonzeiten von 3:09:32 der Läuferinnen und 2:37:45 der Läufer. Die Werte des RER lagen zwischen 0,76 und 1,01; die Laktatwerte [La] zwischen 1,11 und 4,54 mmol/L. Das subjektive Belastungsempfinden lag zwischen Werten von 8 und 16. Die Athletinnen und Athleten brachten insgesamt 44 eigene Schuhexemplare mit, von denen wiederum 29 AFTs waren.

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Laufökonomie zwischen den standardisierten AFT-Schuhen auf Gruppenebene ( $p=0,1$ ). In einer Subanalyse ( $n=13$  Läuferinnen und Läufer), welche sowohl die Standardmodelle als auch Nicht-AFT-Schuhe inkludierte, fanden wir einen signifikanten Schuheffekt ( $F = 4,94$ ,  $p = 0,006$ ,  $\eta^2_{\text{partial}} = 0,292$ , Abbildung 2). Posthoc Tukey HSD Vergleiche zeigten eine signifikant schlechtere Laufökonomie der Nicht-AFT-Schuhe mit

den Standardmodellen von Puma ( $p = 0,028$ ,  $d = 2,77$ ), Asics ( $p = 0,005$ ,  $d = 3,28$ ) und Nike ( $p = 0,006$ ,  $d = 3,28$ ), jedoch keine Unterschiede zwischen den AFT-Standardmodellen. Weitere Unterschiede zwischen den Schuhmodellen auf Gruppenebene sind in Tabelle 1 dargestellt.

Aufgrund von Datenverlusten in den kinematischen Daten der Puma Schuhbedingung wurden zwei verschiedene Analysen für den Einfluss der Biomechanik auf die Laufökonomie durchgeführt. Für die erste Analyse wurden unvollständige Messungen exkludiert. Zusätzlich wurden in dieser Analyse die von den Athletinnen und Athleten mitgebrachten AFT-Schuhe in den Datensatz eingeschlossen. Nicht-AFT Schuhe wurden grundsätzlich ausgeschlossen. Die erste Analyse umfasste somit insgesamt 78 Datenpunkte. Das Modell wies die Schrittzahl ( $b = 7,73$ ,  $t = -2,336$ ,  $p = 0,028$ ) und den maximalen MTP Flexionswinkel ( $b = 0,97$ ,  $t = 2,237$ ,  $p = 0,030$ ) als signifikante Prädiktoren für die Laufökonomie auf sowie weitere individuelle Einflüsse (zufälliger Probandinnen- und Probanden-Effekt:  $p < 0,001$ ). Die Vorzeichen der Koeffizienten lassen darauf schließen, dass eine erhöhte Schrittzahl und ein geringerer maximaler MTP-Flexionswinkel in der Stützphase zu niedrigerem CoT führen. Die fixen Effekte erklärten dabei 37,5 % der Varianz in der Laufökonomie ( $R^2 = 0,375$ ).

**Tabelle 1: Vergleich der Laufökonomie und der biomechanischen Parameter zwischen den standardisierten Schuhbedingungen**

	Asics MW ± SD	Nike MW ± SD	Puma MW ± SD	P Wert Haupteffekt
Sauerstoffaufnahme (ml/kg/min)	48,9 ± 6,3	48,9 ± 6,4	49,3 ± 6,5	0,129
Metabolische Leistung (W/kg)	17,2 ± 2,3	17,2 ± 2,3	17,3 ± 2,3	0,321
Sauerstoffkosten (ml/kg/km)	196,0 ± 15,0	196,0 ± 15,0	198,0 ± 16,0	0,107
Metabolische Kosten (J/kg/m)	11,8 ± 0,9	11,8 ± 0,9	11,9 ± 1,0	0,107
Schrittzahl (Schritte/min)	172,0 ± 7,0	172,0 ± 7,0	173,0 ± 7,0	0,595
Kontaktzeit (s)	0,209 ± 0,022	0,211 ± 0,022	0,209 ± 0,018	< 0,001
Flugzeit (s)	0,488 ± 0,023	0,487 ± 0,023	0,486 ± 0,024	0,312
Vert. Beckenoszillation (cm)	9,31 ± 1,09	9,48 ± 1,04	9,34 ± 1,16	0,019
Max. Knieflexion (°)	41,9 ± 4,4	41,8 ± 4,6	47,1 ± 16,8	0,438
Max. Sprungelenkflexion (°)	14,4 ± 3,0	14,6 ± 2,9	13,9 ± 1,2	*
Sprungelenkflexionsausmaß (°)	37,2 ± 3,0	37,0 ± 3,0	39,2 ± 3,4	*
Max. MTP-Flexion (°)	9,7 ± 1,9	11,9 ± 3,8	13,2 ± 2,6	*
MTP-Flexionsausmaß (°)	14,3 ± 2,4	12,7 ± 3,7	15,2 ± 3,2	*
Komfort (1-10)	7,2 ± 1,3	7,3 ± 1,6	6,9 ± 1,5	0,679

\* Kein Vergleich, da nur Daten von 6 Athletinnen und Athleten in Puma-Bedingung vorhanden

In einer zweiten Analyse wurden nur die standardisierten AFT-Schuhe (66 Datenpunkte) eingeschlossen. Das Modell schloss hierbei jedoch die Parameter maximale Sprunggelenksflexion, Sprunggelenksflexionsausmaß, maximale MTP-Gelenksflexion und MTP-Gelenksflexionsausmaß aus, welche für einen Großteil der Probandinnen und Probanden für den Puma Schuh nicht berechnet werden konnten. In dem Modell zeigte Bodenkontaktzeit einen signifikanten Einfluss auf die Laufökonomie ( $b = 5,612$ ,  $t = 2,160$ ,  $p = 0,035$ ). Den zweithöchsten Koeffizienten (Betrag) zeigte die Schrittzahl ( $b = -5,164$ ,  $t = -1.744$ ), jedoch nicht statistisch signifikant ( $p = 0,086$ ).

## 4 Diskussion

Bei einer Stichprobe von insgesamt 22 Läuferinnen und Läufern waren die hauptsächlichen biomechanischen Einflussfaktoren auf die Laufökonomie die Schrittzahl, die maximale Flexion im MTP-Gelenk während der Stützphase sowie

die Bodenkontaktzeit. Gleichzeitig wurden keine Unterschiede in der Laufökonomie zwischen drei standardisierten AFT-Modellen gefunden.

In ihrer Studie zeigten Joubert und Jones (2022), dass durchaus systematische Unterschiede in der Laufökonomie zwischen verschiedenen AFT-Modellen vorliegen, jedoch nicht zwischen den zwei auch in dieser Studie untersuchten AFT-Modellen (Asics Metaspeed Sky+, Nike Alphafly 2). Für Athletinnen und Athleten sind die individuellen Einflussfaktoren auf die Laufökonomie jedoch entscheidender als Gruppenvergleiche.

### 4.1 Einfluss der individuellen Laufbiomechanik auf die Laufökonomie

Die Analyse der individuellen Laufbiomechanik enthüllte eine erhöhte Schrittzahl, geringere maximale Flexion im MTP-Gelenk während der Stützphase sowie eine verringerte Bodenkontaktzeit als statistisch signifikante Einflussgrößen auf eine verbesserte Laufökono-

mie innerhalb der AFT-Modelle.

In einer kürzlich veröffentlichten Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass eine erhöhte Schrittzahl signifikant schwach negativ ( $r = -0,19$ ; 95% Konfidenzintervall: -0,32 bis -0,04) mit der Laufökonomie (Sauerstoff- oder metabolische Kosten des Transports) korreliert (Van Hooren et al., 2024). Darin wird als Erklärungsansatz die erhöhte Schrittlänge, welche bei konstanter Laufgeschwindigkeit mit einer geringeren Schrittzahl einhergeht, genannt. Diese könnte zu erhöhten Brems- und – im Umkehrschluss – Beschleunigungsimpulsen führen. Letztere erfordern metabolisch intensive konzentrische Muskelarbeit, was zu einer verschlechterten Laufökonomie führen kann.

Ein weiterer Faktor, der die individuelle Laufökonomie beeinflusst, war in unseren Messungen eine reduzierte maximale Dorsalflexion im MTP-Gelenk während der Standphase. Dieser Mechanismus wurde bereits in anderen Studien beim Vergleich von AFT-Schuhen und konventionellen Laufschuhen festgestellt (Hoogkamer et al., 2018, 2019; Martinez et al., 2024). Der Effekt ist größtenteils auf die erhöhte Biegsteifigkeit um die Längsachse des Schuhs (engl. longitudinal bending stiffness, LBS) durch die integrierte Carbonfaserplatte zurückzuführen. Schon früh wurde gezeigt, dass eine erhöhte LBS den Kraftangriffspunkt der Bodenreaktionskraft nach anterior verschiebt und somit den Hebelarm relativ zum Sprunggelenk positiv beeinflusst (Willwacher et al., 2014). Allgemein wurde weiterhin gezeigt, dass eine erhöhte LBS mit einer verbesserten Laufökonomie korreliert (Rodrigo-Caranza et al., 2022). Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass dieser Effekt nicht nur im Vergleich zwischen Nicht-AFT- und AFT-Schuhen präsent ist, sondern auch innerhalb von verschiedenen AFT-Modellen eine Relevanz für die Laufökonomie besitzt.

In unserer zweiten Analyse stellte sich eine verringerte Bodenkontaktzeit als signifikanter Prädiktor ( $b = 5,642$ ;  $p = 0,035$ ) für eine verbesserte Laufökonomie dar. Gleichzeitig konnten wir auf Gruppenebene einen Effekt der Bodenkontaktzeit zwischen den drei standardisierten

AFT-Modellen erkennen ( $p < 0,001$ ). In einer Übersichtsarbeit stellt Moore ausführlich dar, dass es widersprüchliche Befunde zum Zusammenhang zwischen der Bodenkontaktzeit und der Laufökonomie gibt (Moore, 2016). Zur selben Erkenntnis kommen van Hooren et al. (2024) in der bereits erwähnten Metaanalyse (gewichteter Korrelationskoeffizient  $r = -0,02$ , 95% Konfidenzintervall: -0,15 bis 0,12). Die Interpretation unserer Ergebnisse verbleibt somit spekulativ. Eine Argumentation für eine verringerte Laufökonomie mit verringriger Bodenkontaktzeit ist, dass mehr schnelle Muskelfasern benötigt würden, was erhöhte metabolische Anforderungen mit sich brächte (Moore, 2016). Auf der anderen Seite würde ein längerer Bodenkontakt zu einem erhöhten Brems- und somit Beschleunigungsimpuls führen.

Da wir in dieser Studie keine dreidimensionalen Bodenreaktionskräfte gemessen haben, können wir diesen Zusammenhang weder bestätigen noch verwerfen. Zukünftige Studien sollten somit Bodenreaktionskräfte und idealerweise die Muskelaktivität über Elektromyographie erheben, um weitere Einblicke in die komplexen biomechanischen Zusammenhänge zu gewähren.

## 4.2 Limitationen

Die individuelle Anpassung der Laufgeschwindigkeiten sowie das Fehlen einer neutralen Schuhbedingung (z. B. traditioneller Renn-Laufschuh ohne Carbonelement) erschwerte den Vergleich mit anderen Studien. Weiterhin sind die signifikanten Datenausfälle beim Puma-Modell sowie das Nickerreichen der geplanten Probandenzahl kritisch zu betrachten, da hierdurch die statistische Power der Studie begrenzt und die Zuverlässigkeit und Generalisierbarkeit der Ergebnisse reduziert wurde.

## 4.3 Fazit

Im Rahmen der aktuellen Vorschriften von World Athletics ist eine Individualisierung des Schuhwerks im Sinne eines Schuh-Matchings für die optimale Trainings- und Wettkampfleis-

tung maßgeblich. Dabei können die Erkenntnisse aus dieser Studie dazu beitragen, vorhandene Leistungspotenziale weiter auszuschöpfen. Dies ist die erste Studie, in der biomechanische Einflussgrößen der Laufökonomie mit mehreren kommerziell erhältlichen AFT-Schuhmodellen bei weiblichen und männlichen Läufern untersucht wurden. Aus einer Reihe biomechanischer Größen haben sich die Schrittfrequenz und die Bodenkontaktzeit sowie eine geringere Bewegungsamplitude im MTP-Gelenk als wichtige Einflussfaktoren herausgestellt. Weitere Forschung mit Einblicken in die Muskelaktivität ist notwendig, um die genauen Mechanismen besser zu verstehen.

## 5 Literatur

- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y>.
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales Human Kinetics, Champaign Il.
- Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(5), 357–360.
- Hoogkamer, W., Kipp, S., Frank, J. H., Farina, E. M., Luo, G., & Kram, R. (2018). A Comparison of the Energetic Cost of Running in Marathon Racing Shoes. *Sports Medicine*, Auckland, N.Z., 48(4), 1009–1019. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0811-2>.
- Hoogkamer, W., Kipp, S., & Kram, R. (2019). The Biomechanics of Competitive Male Runners in Three Marathon Racing Shoes: A Randomized Crossover Study. *Sports Medicine*, Auckland, N.Z., 49(1), 133–143. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1024-z>.
- Jones, A. M., Koppo, K., & Burnley, M. (2003). Effects of prior exercise on metabolic and gas exchange responses to exercise. *Sports Medicine*, Auckland, N.Z., 33(13), 949–971. <https://doi.org/10.2165/00007256-20033130-00002>.
- Kipp, S., Byrnes, W. C., & Kram, R. (2018). Calculating metabolic energy expenditure across a wide range of exercise intensities: the equation matters. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 43(6), 639–642. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0781>.
- Macdougall, J. D. (1977). The anaerobic threshold: Its significance for the endurance athlete. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 2(3), 137–140.
- Martinez, E., Hoogkamer, W., Powell, D. W., & Paquette, M. R. (2024). The Influence of „Super-Shoes“ and Foot Strike Pattern on Metabolic Cost and Joint Mechanics in Competitive Female Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003411>.
- Péronnet, F., & Massicotte, D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Canadian Journal of Sport Sciences* 16(1), 23–29.
- Steffny, H. (2016). Das große Laufbuch alles, was man übers Laufen wissen muss (6., aktualisierte Auflage.). München: Südwest-Verlag.

# Identifizierung genetischer, physiologischer, psychologischer und trainingsbedingter Parameter zur erfolgreichen Implementierung künstlicher Höhenbedingungen in den leichtathletischen Disziplinen Lauf und Gehen (AltitudeID)

AZ 072002/23

*Svenja Nolte<sup>1,2</sup>, Karsten Krüger<sup>2</sup>, Deeksha Malhan<sup>1</sup>, Angela Relógio<sup>1</sup>, Anna Klemmer<sup>1</sup>, Tobias Stauber<sup>1</sup>, Tom Kastner<sup>3,4</sup>, Nico Walter<sup>4</sup>, Daniel Fleckenstein<sup>4</sup>, Karsten Hollander<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> MSH Medical School Hamburg, Hamburg, Deutschland

<sup>2</sup> Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen, Deutschland

<sup>3</sup> Charité – Universitätsmedizin Berlin

<sup>4</sup> Institute for Applied Training Science, Leipzig, Deutschland

## 1 Problem

Höhentraining wird in Ausdauersportarten eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit zu steigern. Durch die reduzierte Sauerstoffverfügbarkeit in der Höhe entsteht eine Hypoxie, die Anpassungen wie eine verstärkte Erythropoese, Erhöhung der roten Blutkörperchen und Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{\text{2max}}$ ) auslöst. Dies verbessert die kardiopulmonale Fitness und Pufferkapazität, essenzielle Faktoren für Ausdauerleistung (Saunders et al., 2019).

Die gängigsten Methoden sind „Live High – Train High“ (LHTH) und „Live High – Train Low“ (LHTL). Während beim LHTH in Höhen von 1500–3000 m gewohnt und trainiert wird, pendeln Athletinnen und Athleten beim LHTL zwischen Höhe und Tiefe für intensivere Einheiten. Diese Methoden haben nachweislich positive Effekte, jedoch ist die Leistungssteigerung auf Meeressniveau weiterhin umstritten und variiert stark zwischen Athletinnen und Athleten (Millet & Brocherie, 2020). Faktoren wie Eisenstatus und genetische Marker, etwa der Hypoxie-induzierbare Faktor (HIF), beeinflussen die Anpassung an die Höhe, wodurch die Effektivität des Trainings individuell unterschiedlich ausfällt (Bigham & Lee, 2014).

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die individuelle wissenschaftliche Begleitung einer künstlichen Höhenexposition vor dem Hintergrund physiologischer, genetischer und trainingsbedingter Faktoren durchzuführen. Diese Faktoren sollen als Determinanten der Höhentrainingswirksamkeit in die Routineprozesse des DLV integriert werden und Grundlage für umfangreichere Forschungsvorhaben in der Zukunft ermöglichen.

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

1. Gibt es ein physiologisch-genetisches Profil, welches die Wirksamkeit einer künstlichen Höhenexposition (operationalisiert anhand der relativen Verbesserung relevanter Leistungsparameter) nach dem LHTL-Prinzip erklärt?
2. Welche trainingsbezogenen Variablen sind während einer künstlichen Höhenexposition (LHTL) relevant für den Adaptationserfolg und welche physiologischen Marker können vor dem Höhentrainingslager mögliche Prädiktoren eines Adaptationseffekts darstellen?

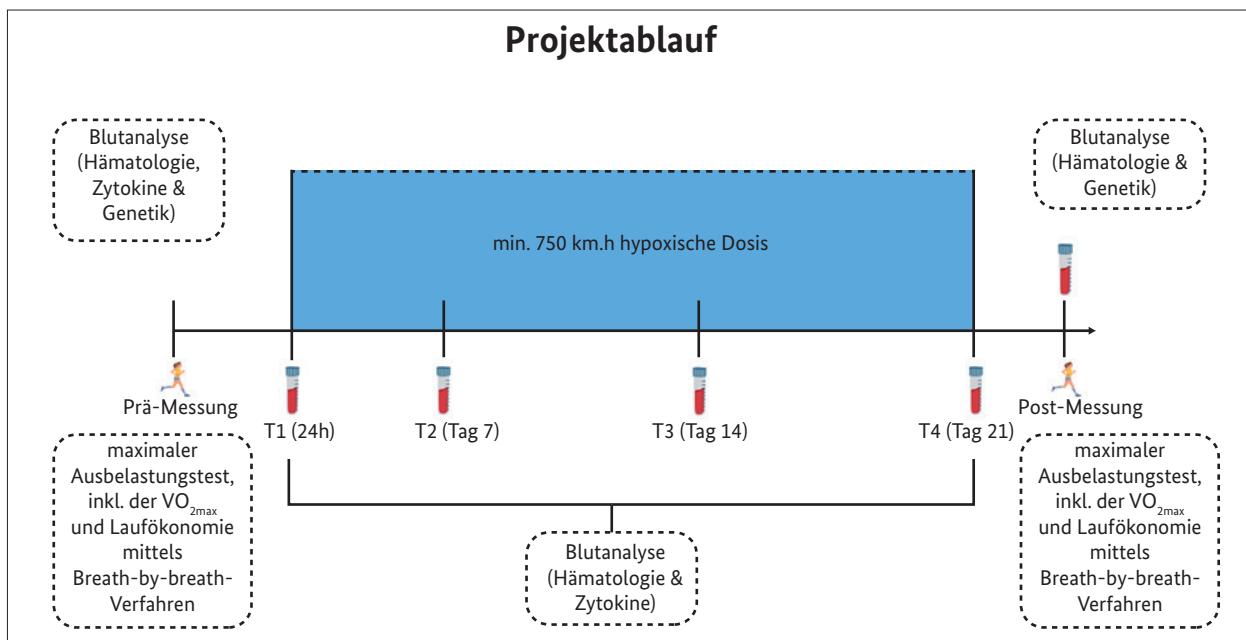


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung eines Trainingslagers innerhalb des Projekts mit den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten.

## 2 Methode

### 2.1 Studiendesign

Die Pilotstudie wurde über einen Zeitraum von neun Monaten durchgeführt und begleitete drei Trainingslager des DLVs im Höhenhaus in Herxheim. Das Höhenhaus bietet 8 Schlafplätze und eine Trainingsfläche von 100 m<sup>2</sup>, in denen eine normbare Hypoxie simuliert werden kann (Höhenbalance GmbH, Going, Österreich). Die Dauer der Trainingslager betrugen 21 Tage auf einer durch den Trainer gewählten Höhe von 1800-2200 m. Es wurden vier Blutentnahmen vor (min 7 Tage) und nach (10-14 Tage) dem Höhentrainingslager und zu folgenden Zeitpunkten in der Höhe durchgeführt: 24 h (T1), 7 Tage (T2), 14 Tage (T3) und Tag 21 (T4) (Abbildung 1).

### 2.2 Probanden

Die Rekrutierung der Athletinnen und Athleten ( $n = 15$ ; w = 9; m = 6; Alter:  $19,3 \pm 1,4$ ) erfolgte in enger Abstimmung mit dem Bundestrainer-Team (Block Lauf/Gehen) entsprechend der Saison- und Wettkampfplanung. Die Athletinnen und Athleten gehörten dem Nachwuchskader oder dem Perspektivkader an und hatten eine  $\text{VO}_{2\text{max}}$  von  $61,40 \pm 8,28 \text{ ml/min/kg}$ .

### 2.3 Leistungsdiagnostik

Eine Woche vor und nach dem Trainingslager wurden am IAT maximale Ausbelastungstests zur Bestimmung der Abbruchgeschwindigkeit und  $\text{VO}_{2\text{max}}$  durchgeführt. Die Laufökonomie wurde mit einem Dauerlaufstufentest erhoben. Atemgase wurden mit dem Breath-by-breath-Verfahren (Cortex-MetaLyzer 3B-R2) gemessen und die Laufökonomie über den aeroben Energieverbrauch berechnet (Ueberschär et al., 2019).

### 2.4 Trainingsmonitoring

Um die Trainingsbelastung der Athletinnen und Athleten zu erfassen, wurde der sogenannte „Session-RPE“ berechnet (Foster et al., 2001; Haddad et al., 2017). Um die vierwöchige Trainingsbelastung vor dem Trainingslager mit der Trainingsbelastung in der Höhe in Bezug zu setzen, wurde ein Ratio ähnlich dem „acute:chronic workload ratio“ (ACWR) berechnet. Diese Steigerungsrate wird anhand eines Faktors (hier vereinfacht als „Trainingsload“ gekennzeichnet) in die Analyse mit einbezogen.

## 2.5 Blutentnahmen und -analyse

Verbunden mit den Leistungsdiagnostiken und den Messzeitpunkten in der Höhe fanden Blutentnahmen mit der Analyse der Leukozyten, hämatologischen Markern, der Messung von Parametern des Eisenstoffwechsels sowie die Bestimmung von, für die Höhenanpassung möglicherweise bedeutsamer, Single-Nucleotid Polymorphismen (SNPs) mittels Infinium Global Screening Array-24 statt.

Als objektives Beanspruchungsmonitoring wurden molekulare Blutmarker mittels magnetischen Luminex-Assay (Bio-Techne Ltd., Abingdon, Oxon, UK) Lactoferrin und Myoglobin spektrofluorometrisch und die Erythropoetin-Konzentration mittels ELISA analysiert.

## 2.6 Statistische Auswertung

Zur Überprüfung der  $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Veränderung wurde ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Die Verteilung der Parameter wurde mittels deskriptiver Statistik analysiert, und der Wilcoxon-Rangsummentest bestimmte signifikante Unterschiede über verschiedene Zeitpunkte ( $p < 0,05$ ). Spearman-Korrelationen ermittelten Zusammenhänge zwischen den Messwerten Prä und den Leistungs- und Trainingsparametern ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ,  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$ , Laufökonomie, Trainingsload).

## 3 Ergebnisse

Die  $\text{VO}_{2\text{max}}$  stieg nach 21 Tagen künstlicher Höhenexposition um durchschnittlich  $2,4 \pm 3,5 \text{ ml/min/kg}$  an ( $p < 0,05$ ). Dabei reichten die individuellen Anpassungen von einer Reduktion um  $2,94 \text{ ml/min/kg}$  bis zu einem Anstieg um  $8,6 \text{ ml/min/kg}$ .

Signifikante Veränderungen zeigten sich in mehreren hämatologischen und immunologischen Parametern, darunter Hämoglobin, mittleres korpuskuläres Hämoglobin, Thrombozyten, Retikulozyten, EPO, Ferritin-Index und der lösliche Transferrinrezeptor. Thrombozyten

sanken zunächst, stiegen jedoch später wieder an. EPO erhöhte sich kurz nach Beginn des Trainings und fiel dann wieder auf Ausgangsniveau (Abbildung 2). Zusätzlich veränderten sich Serum-Myoglobin und das Protein s100A8 signifikant, während Lactoferrin abnahm (Abbildung 3). Andere immunologische Marker wie BDNF, IL-6 und TNF-alpha blieben über die Zeit stabil. Um die individuelle Wirksamkeit des Höhentrainings vorherzusagen, wurden Korrelationen zwischen dem  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$  und physiologischen Parametern, die vor dem Trainingslager erhoben wurden, analysiert und in einer Heatmap visualisiert. Der Trainingsload wurde ebenfalls berücksichtigt, um dessen Einfluss auf die  $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Veränderungen zu prüfen. Das  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$  korrelierte negativ mit der Anzahl der neutrophilen Granulozyten, Retikulozyten und Leukozyten sowie positiv mit Hämoglobin, Hämatokrit und der Erythrozytenzahl. Weitere positive Korrelationen zeigten Ferritin, Monozyten, der lösliche Transferrinrezeptor und Hepcidin. Der Trainingsload beeinflusste das  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$  nicht direkt, zeigte jedoch negative Korrelationen zu Leukozyten, Thrombozyten und Blutbildungsparametern (Retikulozyten, Transferrin) und korrelierte positiv mit Hepcidin (Abbildung 4A).

Neben der Betrachtung des hämatologischen Systems wurden die Zusammenhänge zwischen Transportproteinen und immunologischen Parametern zum Zeitpunkt vor dem Trainingslager und dem  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$  untersucht (Abbildung 4B). Hier zeigte Lactoferrin eine positive Korrelation mit dem  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$ . Die Laufökonomie (Prä) korrelierte negativ mit IL-10, IL-6 und TNF-alpha.

Um die Bedeutung genetischer Variationen für eine erfolgreiche Anpassung an eine künstliche Höhenexposition zu untersuchen, wurden ausgewählte SNPs auf Korrelationen mit dem  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$  untersucht. Positive Korrelationen zeigen sich zwischen der  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$  und Varianten SNPs der Gene HIF1A (rs11549465) und ELGN1 (rs2486736, rs480902). Negative Korrelationen mit der  $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$  wurden für SNPs der Gene EPAS1 (rs1867785) und TF (rs1799852, rs3811647) gefunden. Zudem korreliert die  $\text{VO}_{2\text{max}}$  mit EPAS1 (rs1867785) positiv.

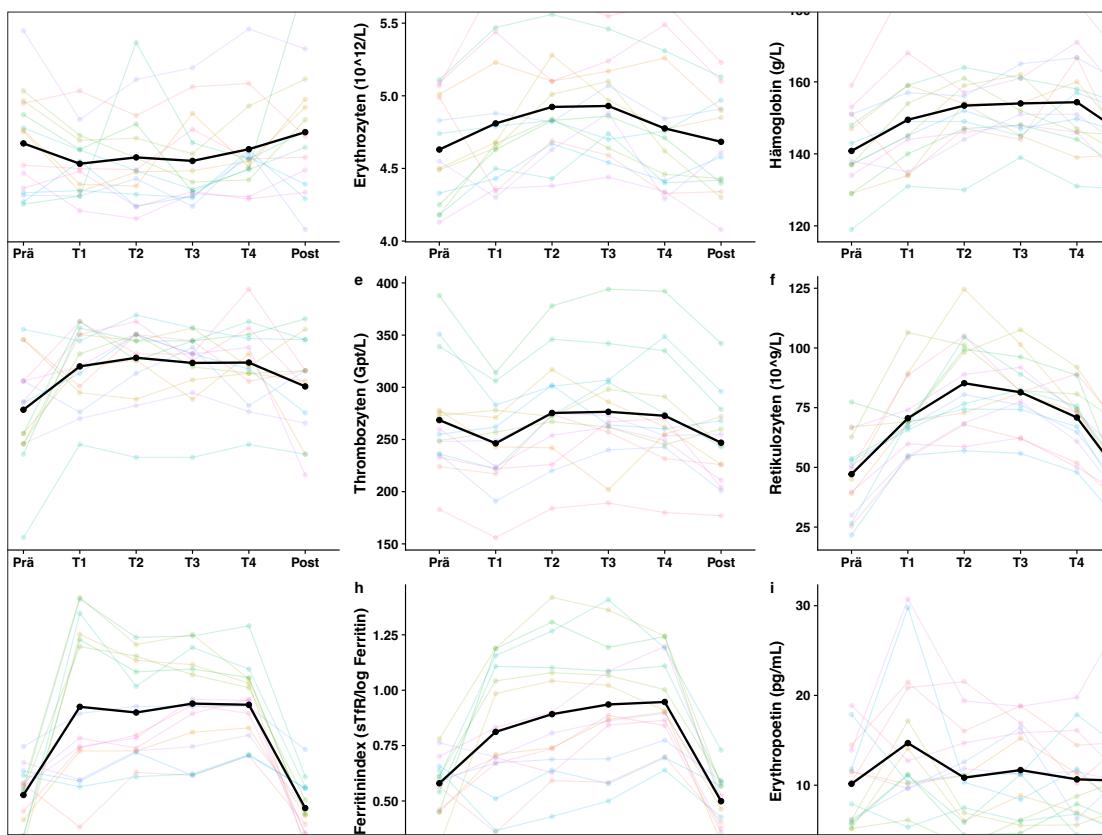


Abb. 2: Veränderung der neutrophilen Granulozyten und unterschiedlicher hämatologischer Parameter über die Zeit. Dargestellt sind Individual-Verläufe (farbige Linien) und der Mittelwert-Verlauf (schwarze Linie).

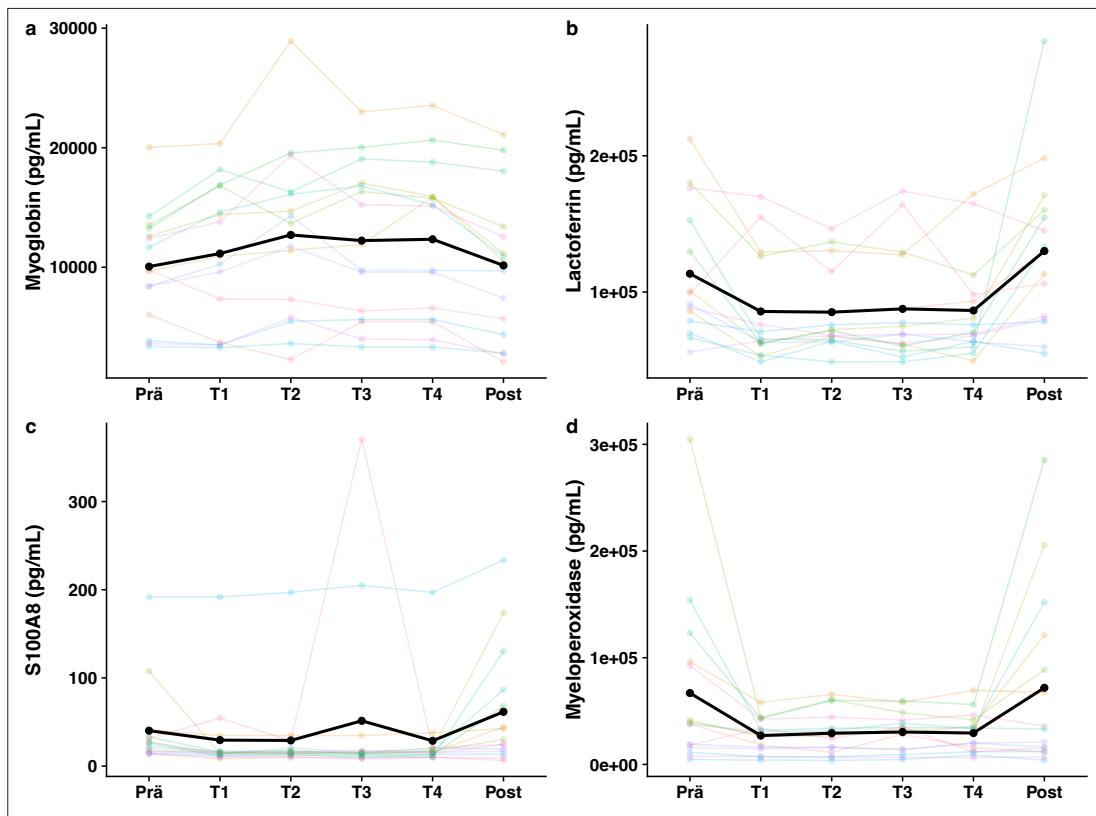


Abb. 3: Veränderung von Myoglobin, Lactoferrin, S100A8 und Myeloperoxidase über die Zeit. Dargestellt sind Individual-Verläufe (farbige Linien) und der Mittelwert-Verlauf (schwarze Linie).

## 4 Diskussion

Diese Pilotstudie zielte darauf ab, die physiologischen und immunologischen Effekte von Trainingsphasen in künstlicher Höhe (1800-2200 m) auf Leistungssportlerinnen und -sportler zu untersuchen. Über neun Monate wurden drei Trainingslager durchgeführt, die unter anderem die  $\text{VO}_{\text{2max}}$ , hämatologische Marker und immunologische Parameter beobachteten. Die Ergebnisse verdeutlichen sowohl Anpassungsmechanismen als auch signifikante individuelle Unterschiede in der Reaktion auf die Höhenexposition.

Die  $\text{VO}_{\text{2max}}$  zeigte im Durchschnitt eine Steigerung nach 21 Tagen Höhentraining. Die Variabilität zwischen den Athleten war jedoch beträchtlich: Einige verzeichneten deutliche Verbesserungen, andere kaum oder sogar negative Veränderungen. Diese Streuung ist typisch und wurde in früheren Studien ebenfalls beobachtet. Sie weisen darauf hin, dass andere Faktoren, wie genetische Prädispositionen, den Effekt beeinflussen könnten (Bishop & Girard, 2013; Chapman et al., 1999).

Höhentraining induziert häufig hämatologische Anpassungen, wie die Erhöhung der Retikulozyten, Erythrozyten und des Hämoglobins, was zu einer verbesserten Sauerstofftransportkapazität führt (Millet et al., 2010). Diese Anpassungen sind zentral für die Leistungssteigerung und hängen stark von der Eisenverfügbarkeit ab, die wiederum den Ferritin- und Transferrinrezeptorwert beeinflusst. Der lösliche Transferrinrezeptor (sTfR) ist ein diagnostischer Marker für den Eisenstatus und spiegelt die Aktivität erythropoetischer Zellen wider, welche durch Hypoxie angeregt wird (Schumacher et al., 2002). Der sTfR/Ferritin-Index, der beide Werte kombiniert, gilt als zuverlässiger Marker für funktionellen Eisenmangel und ermöglicht eine Differenzierung zwischen Eisenmangel und entzündlichen Einflüssen auf den Ferritinspiegel (Lee et al., 2002). Eine erhöhte sTfR-Konzentration, wie sie während intensiver Trainingseinheiten in der Höhe vorkommen kann, signalisiert erhöhten Eisenbedarf zur Unterstützung der vermehrten Erythropoese.

Hohe Trainingsbelastungen beeinflussen den Eisenstoffwechsel häufig negativ, insbesondere durch eine gesteigerte Produktion von Hepcidin, was die Eisenverfügbarkeit einschränken kann (Bejder et al., 2017; Zügel et al., 2020). Die Studie zeigte, dass hoher Trainingsload mit reduzierter Transferrinsättigung und einer Zunahme von Hepcidin einhergeht, was auf einen erhöhten Eisenbedarf hindeutet, der bei unzureichender Versorgung die erythropoetischen Anpassungen beeinträchtigt. Hepcidin wird als Reaktion auf Entzündungen und Hypoxie ausgeschüttet und reguliert die Eisenaufnahme und -freisetzung, was die Anpassungsfähigkeit von Sportlerinnen und Sportlern auf Höhentraining erheblich beeinflusst (Millet et al., 2010).

Die Immunantwort zeigte während der Höhentrainingsphasen ebenfalls Anpassungen. Eine Abnahme von Lactoferrin, das von neutrophilen Granulozyten produziert wird, deutet darauf hin, dass die Erythropoese bezüglich der Eisenverfügbarkeit priorisiert wird, möglicherweise auf Kosten der Immunfunktion. Dies entspricht Befunden, die auf eine verminderte Immunfunktion unter hypoxischen Bedingungen hinweisen (Kuźmicka et al., 2022). Eine niedrige Laufökonomie korrelierte außerdem negativ mit den entzündungsbezogenen Zytokinen IL-10, IL-6 und TNF-alpha, was auf die Beeinträchtigung der Bewegungsqualität durch pro-inflammatorische Prozesse hinweist. Entzündungsinduzierte Veränderungen in der Bewegungseffizienz sind aus früheren Studien bekannt (Lasselin et al., 2020).

Es wurden Korrelationen zwischen der Steigerung der  $\text{VO}_{\text{2max}}$  und hämatologischen Parametern festgestellt: Höhere Ausgangswerte von Hämoglobin, Hämatokrit und Erythrozytenzahl korrelierten positiv mit der Steigerung der  $\text{VO}_{\text{2max}}$ , was darauf hindeutet, dass die initiale Blutzusammensetzung den Erfolg des Höhentrainings beeinflussen könnte (Płoszczyca et al., 2018). Auch Ferritin und der lösliche Transferrinrezeptor wurden als prädiktive Marker identifiziert, was auf die Bedeutung des Eisenstoffwechsels für die Anpassung hindeutet. Solche Marker könnten die Entscheidungsfindung unterstützen, ob und wann Höhentrainingslager sinnvoll sind.

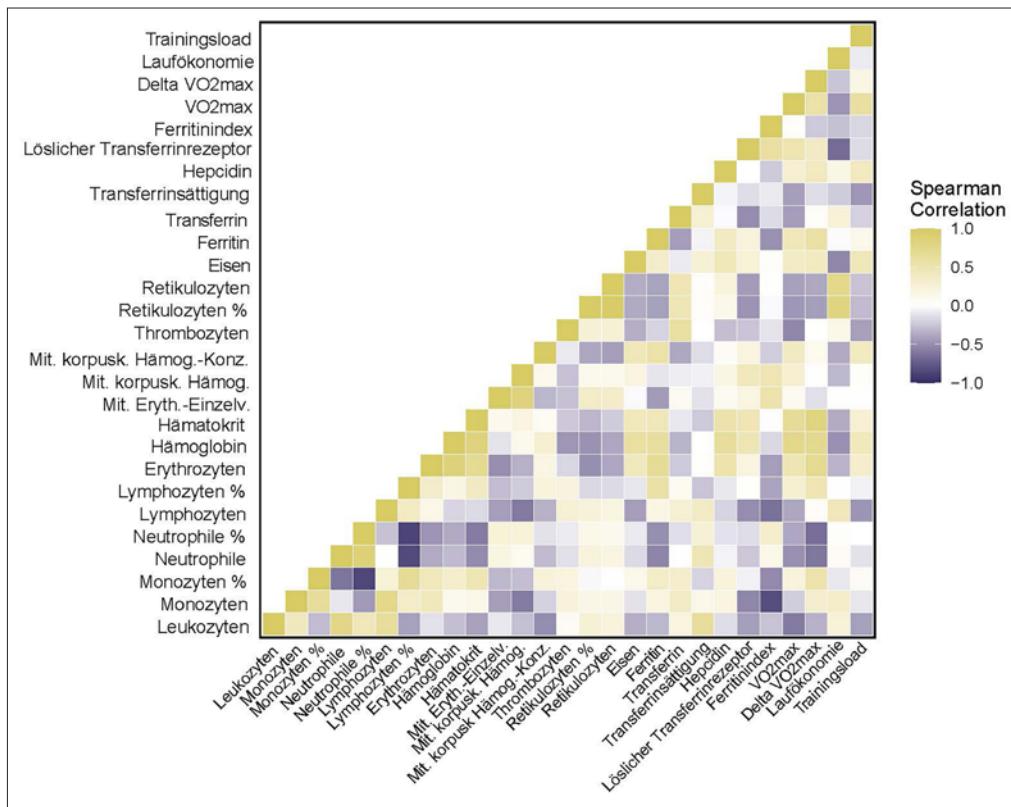


Abb. 4A: Korrelationen zwischen dem  $\Delta VO_{2\text{max}}$ , der  $VO_{2\text{max}}$  (vor/Prä), der Laufökonomie (vor/Prä), Trainingsload und hämatologischen Parametern, die zum Zeitpunkt unmittelbar vor dem Trainingslager erfasst wurden.

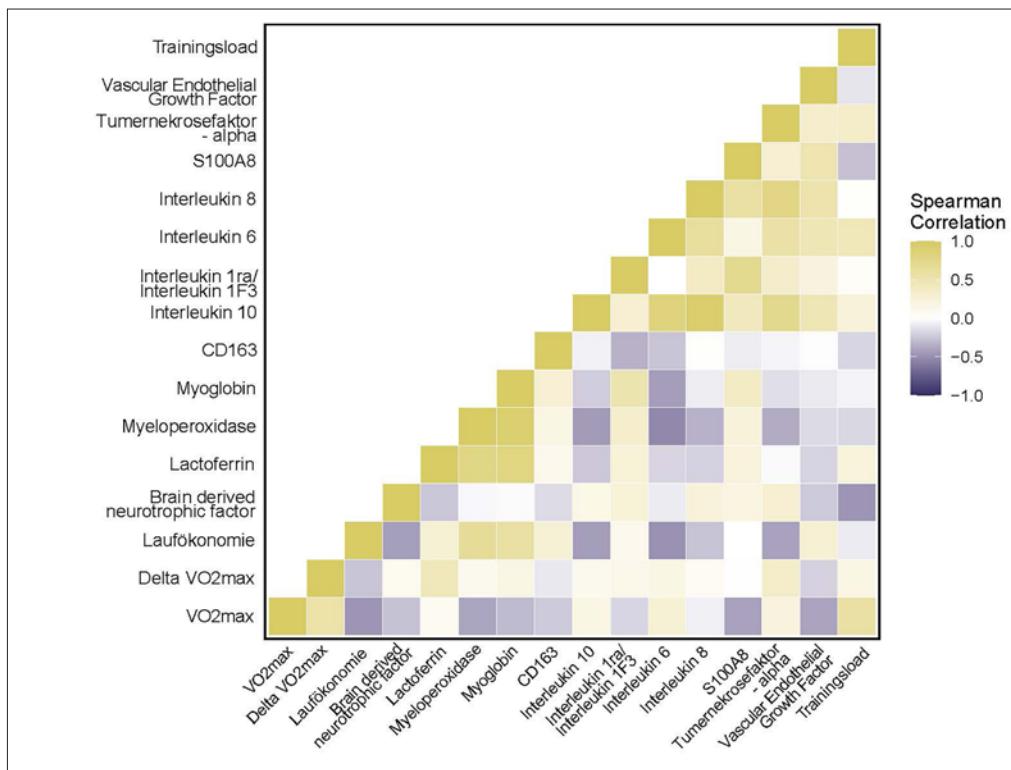


Abb. 4B: Korrelationen zwischen dem  $\Delta VO_{2\text{max}}$ , der  $VO_{2\text{max}}$  (vor/Prä), der Laufökonomie (vor/Prä), Trainingsload und immunologischen Parametern, die zum Zeitpunkt unmittelbar vor dem Trainingslager erfasst wurden.

Zusätzlich wurden bestimmte genetische Marker (SNPs) untersucht, die mit der Höhenanpassung in Verbindung stehen könnten. Positive Korrelationen fanden sich mit HIF1A- und ELGN1-SNPs, während SNPs im EPAS1-Gen negativ korrelierten. Diese SNPs sind in die Hypoxieregulation und Erythropoese involviert und könnten teilweise die individuellen Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit an Hypoxie erklären (Ai et al., 2014; Sharma et al., 2022).

Die Ergebnisse dieser Pilotstudie unterstreichen die Vielschichtigkeit der Anpassungsprozesse beim Höhentraining. Neben hämatologischen und immunologischen Anpassungen spielen genetische Faktoren eine wesentliche Rolle. Diese Erkenntnisse verdeutlichen die Bedeutung individueller physiologischer Ausgangsbedingungen und fördern eine personalisierte Herangehensweise, die in der Trainingsplanung genutzt werden könnte. Künftige Forschungen mit größeren Kohorten und komplexen Datenmodellen könnten weiter zur Optimierung des Höhentrainings beitragen, indem sie Prädiktoren und Schwellenwerte definieren, die das Potenzial zur Leistungssteigerung genauer vorhersagen.

## 5 Literatur

- Ai, H., Yang, B., Li, J., Xie, X., Chen, H., & Ren, J. (2014). Population history and genomic signatures for high-altitude adaptation in Tibetan pigs. *BMC Genomics*, 15(1), 834. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-834>.
- Bejder, J., Andersen, A. B., Goetze, J. P., Aachmann-Andersen, N. J., & Nordsborg, N. B. (2017). Plasma volume reduction and hematological fluctuations in high-level athletes after an increased training load. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(12), 1605–1615. <https://doi.org/10.1111/sms.12825>.
- Bigham, A. W., & Lee, F. S. (2014). Human high-altitude adaptation: Forward genetics meets the HIF pathway. *Genes & Development*, 28(20), 2189–2204. <https://doi.org/10.1101/gad.250167.114>.
- Bishop, D. J., & Girard, O. (2013). Determinants of team-sport performance: Implications for altitude training by team-sport athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 47(Suppl 1), i17–i21. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092950>.
- Chapman, R. F., Emery, M., & Stager, J. M. (1999). Degree of arterial desaturation in normoxia influences  $\text{VO}_{\text{2max}}$  decline in mild hypoxia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(5), 658–663. <https://doi.org/10.1097/00005768-199905000-00006>.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 109.
- Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A., & Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 612. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00612>.
- Kuźmicka, W., Manda-Handzlik, A., Mroczek, A., Cieloch, A., Moskalik, A., Demkow, U., Wachowska, M., & Ciepiela, O. (2022). Iron excess affects release of neutrophil extracellular traps and reactive oxygen species but does not influence other functions of neutrophils. *Immunology & Cell Biology*, 100(2), 87–100. <https://doi.org/10.1111/imcb.12509>.

- Lasselin, J., Sundelin, T., Wayne, P. M., Olsson, M. J., Paues Göranson, S., Axelsson, J., & Lekander, M. (2020). Biological motion during inflammation in humans. *Brain, Behavior, and Immunity*, 84, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.11.019>.
- Lee, E. J., Oh, E.-J., Park, Y.-J., Lee, H. K., & Kim, B. K. (2002). Soluble Transferrin Receptor (sTfR), Ferritin, and sTfR/Log Ferritin Index in Anemic Patients with Non-hematologic Malignancy and Chronic Inflammation. *Clinical Chemistry*, 48(7), 1118–1121. <https://doi.org/10.1093/clinchem/48.7.1118>.
- Millet, G. P., & Brocherie, F. (2020). Hypoxic Training Is Beneficial in Elite Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(2), 515–518. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002142>.
- Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010). Combining Hypoxic Methods for Peak Performance: *Sports Medicine*, 40(1), 1–25. <https://doi.org/10.2165/11317920-00000000-00000>.
- Płoszczycyka, K., Langfort, J., & Czuba, M. (2018). The Effects of Altitude Training on Erythropoietic Response and Hematological Variables in Adult Athletes: A Narrative Review. *Frontiers in Physiology*, 9, 375. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00375>.
- Saunders, P. U., Garvican-Lewis, L. A., Chapman, R. F., & Périard, J. D. (2019). Special Environments: Altitude and Heat. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(2), 210–219. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0256>.
- Schumacher, Y. O., Schmid, A., König, D., & Berg, A. (2002). Effects of exercise on soluble transferrin receptor and other variables of the iron status. *British Journal of Sports Medicine*, 36(3), 195–199. <https://doi.org/10.1136/bjsm.36.3.195>.
- Sharma, V., Varshney, R., & Sethy, N. K. (2022). Human adaptation to high altitude: A review of convergence between genomic and proteomic signatures. *Human Genomics*, 16(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40246-022-00395-y>.
- Ueberschär, O., Fleckenstein, D., Warschun, F., Kränzler, S., Walter, N., & Hoppe, M. W. (2019). Measuring biomechanical loads and asymmetries in junior elite long-distance runners through triaxial inertial sensors. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 35(3), 296–308. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2019.06.001>.
- Zügel, M., Treff, G., Steinacker, J. M., Mayer, B., Winkert, K., & Schumann, U. (2020). Increased Hepcidin Levels During a Period of High Training Load Do Not Alter Iron Status in Male Elite Junior Rowers. *Frontiers in Physiology*, 10, 1577. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01577>.

# Basaltemperaturmessung im Sport zur Diagnostik der Integrität des Menstruationszyklus (Basaltemperatur-Zyklus)

AZ 072006/23

*Jana Nolte, Malina Pilz und Petra Platen (Projektleitung)*

Lehrstuhl für Sportmedizin und Sporternährung, Fakultät für Sportwissenschaft,  
Ruhr-Universität Bochum

## 1 Problem

Für die Durchführung wissenschaftlicher Studien mit Sportlerinnen und die Implementierung von zyklusorientiertem oder zyklusbasiertem Training sind präzise Diagnosen der verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus (MZ) von großer Bedeutung (Elliott-Sale et al., 2021; Schmalenberger et al., 2021): „there has been less demand for and interest in female-specific sport and exercise science data. As a result, the vast majority of high-quality sport and exercise science data have been derived from studies with men as participants, which reduces the application of these data due to the known physiological differences between the sexes, specifically with regard to reproductive endocrinology. Furthermore, a shortage of specialist knowledge on female physiology in the sport science community, coupled with a reluctance to effectively adapt experimental designs to incorporate female-specific considerations, such as the menstrual cycle, hormonal contraceptive use, pregnancy and the menopause, has slowed the pursuit of knowledge in this field of research. In addition, a lack of agreement on the terminology and methodological approaches (i.e., gold-standard techniques)“. Neben der einfach durchzuführenden Kalendermethode zur Bestimmung der Zykluslänge sind weitere Methoden zur Bestimmung des Eisprungs wie Ovulationstests im Urin und Hormonanalysen im venösen Blut teuer, invasiv (Blutabnahmen) und aufwendig (Laboranalysen) (Lui et al., 2020). Deshalb ist eine nicht-invasive und kostengünstige Methode wie die Messung der Basaltemperatur (BT) eine vielversprechende Alternative.

Die BT ist die niedrigste Körpertemperatur während des Schlafs in der Nacht. Sie wird in der Praxis vereinfacht oft nach dem Aufwachen als sogenannte Aufwachtemperatur gemessen. Die BT steigt nach dem Eisprung durch den Einfluss von Progesteron, das nach der Ovulation vom Gelbkörper gebildet wird, um ca. 0,2-0,5 °C an. Anhand dieses Anstiegs kann demnach retrospektiv der Eisprungs indirekt bestimmt werden (Lui et al., 2020). Die Variation des Messzeitpunkts, die Wahl des Thermometers sowie die eigenständige Aufzeichnung und Interpretation der Daten durch die Sportlerinnen machen die Methode anfällig für Fehler (Lui et al., 2020).

Um die Eisprungdiagnostik anhand des Körpertemperaturanstiegs trotz dieser Herausforderungen insbesondere im Kontext des Leistungssports dennoch einsetzen zu können, wurden neue Geräte wie intravaginale Sensoren, Smartwatches, Armbänder entwickelt und Fieberthermometer validiert (Goeckenjan et al., 2020; Mah et al., 2021; Uchida & Izumizaki, 2022). Ziel dieser Studie war es, verschiedene Temperaturmessmethoden und -zeitpunkte zu vergleichen, um die beste Methode für sportwissenschaftliche Forschungsprojekte und die Trainingssteuerung zu identifizieren.

## 2 Methode

### 2.1 Stichprobe

Für die Studie wurden 22 ambitionierte Breitensportlerinnen (Alter: 24 ± 2 Jahre; Größe:

$169,7 \pm 5,6$  cm; Gewicht:  $65,4 \pm 6,0$  kg) rekrutiert. 17 absolvierten die gesamte Testbatterie, fünf weitere testeten zusätzliche Devices. Teilnahmevoraussetzungen waren ein Mindestalter von 18 Jahren, regelmäßiges Training (mind. 6 Stunden/Woche) und ein regelmäßiger Menstruationszyklus ohne Verwendung hormoneller Verhütungsmittel. Die Studie wurde von der unabhängigen Ethikkommission der Fakultät für Sportwissenschaft der Ruhr-Universität Bochum genehmigt (EKS V 2022\_18).

## 2.2 Studiendesign

Die Datenerhebung erstreckte sich über einen Menstruationszyklus. Die Probandinnen führten die Messungen nach Schulung eigenständig durch, beginnend am ersten Tag der Menstruation. Ein intravaginaler Temperatursensor (OvulaRing®, VivoSensMedical GmbH, Leipzig, Deutschland) wurde ab Tag 6 bis zur nächsten Blutung getragen und diente als Referenzmethode, da er eine kontinuierliche Temperaturmessung und -aufzeichnung (5-Minuten-Intervall) ermöglicht. Zusätzlich wurde täglich um 6 Uhr sowie nach dem erneuten Einschlafen und dem „normalen“ Aufwachen die Temperatur im äußeren Gehörgang mit einem Infrarot-Ohrthermometer (IRT6520MNLA, Braun, Bussigny, Schweiz), sublingual und bei einigen Probandinnen rektal mit zwei identischen Stabtermometern (PRT2000EU, Braun, Bussigny, Schweiz) gemessen. Jede Messung erfolgte zweimal hintereinander; bei Abweichungen von mehr als  $0,2^\circ\text{C}$  wurde eine dritte durchgeführt. Moderne Sensoren wie ÖURA-Ring, AVA-Armband, Apple Watch Series 8 und Samsung Galaxy Watch 6 lieferten nächtliche Hauttemperaturwerte, deren Algorithmen unbekannt sind. Zur individuellen Festlegung des Eisprungtages wurden in dieser Studie die OvulaRing-Daten und die Detektion nach dem Algorithmus von VivoSenseMedical verwendet und visuell überprüft. Ergänzend wurde zusätzlich der prä-ovulatorische LH-Anstieg (im Mittel 24 Stunden vor dem Eisprung) in Urinproben (ab Tag 6) gemessen (Clearblue® Ovulation Test Advanced & Digital, Swiss Precision Diagnostics GmbH, Genf, Schweiz).

## 2.3 Statistische Analyse

Die Daten aus dem OvulaRing wurden in Microsoft Excel aufbereitet. Hierzu wurden die niedrigste nächtliche Temperatur als BT (*Ovula basal*) ermittelt und die Temperatur um exakt 6 Uhr (*Ovula 6am*) sowie diejenige nach dem „normalen“ Aufwachen (*Ovula wake-up*) gefiltert. Aus den jeweiligen Thermometermessungen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten (XX 6am; XX wake up) wurden die beiden am engsten zusammenliegenden Messwerte gemittelt.

Alle Messmethoden und Messzeiten wurden zusätzlich mit der „drei-über-sechs“-Regel getestet. Bei dieser Methode wird berechnet, wann erstmals in einem bestimmten Zyklus drei aufeinanderfolgende Temperaturwerte mindestens  $0,2^\circ\text{C}$  höher sind als die sechs vorangegangenen Temperaturwerte (Shilaih et al., 2018). Die Ergebnisse wurden als Anzahl der erkannten Temperaturanstiege sowie Abweichung der Tage vom individuell festgelegten Eisprungtag (siehe Studiendesign) zusammengefasst.

Für die weitere statistische Auswertung wurden die externen Temperaturmessungen mit der intravaginalen Referenzmessung verglichen, wobei Bland-Altman Plots und der Konkordanz-Korrelationskoeffizient (CCC) zur Bewertung der Übereinstimmung genutzt wurden.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Morgendliche Messung im äußeren Gehörgang, sublingual und rektal

17 Zyklen (Zyklusdauer:  $28,5 \pm 3,8$  Tage; Eisprung: Tag  $17,5 \pm 3,0$ ; LH-Urintest: Tag  $16,2 \pm 3,3$ ; Lutealphasenlänge:  $11,1 \pm 2,7$  Tage) konnten in die Analyse eingeschlossen werden. Bei fünf Zyklen schlug der Algorithmus von OvulaRing bei der Auswertung der Eisprungdiagnostik nicht an. Der Eisprung konnte jedoch in diesen Fällen per Blickdiagnostik der Temperaturprofilkurve ermittelt werden. Besondere Zyklusmerkmale wurden in vier Zyklen beobachtet. Zwei Zyklen hatten eine unterdurchschnittlich kurze Lutealphasenlänge (5 bzw. 6 Tage). Ein Zyklus hatte eine

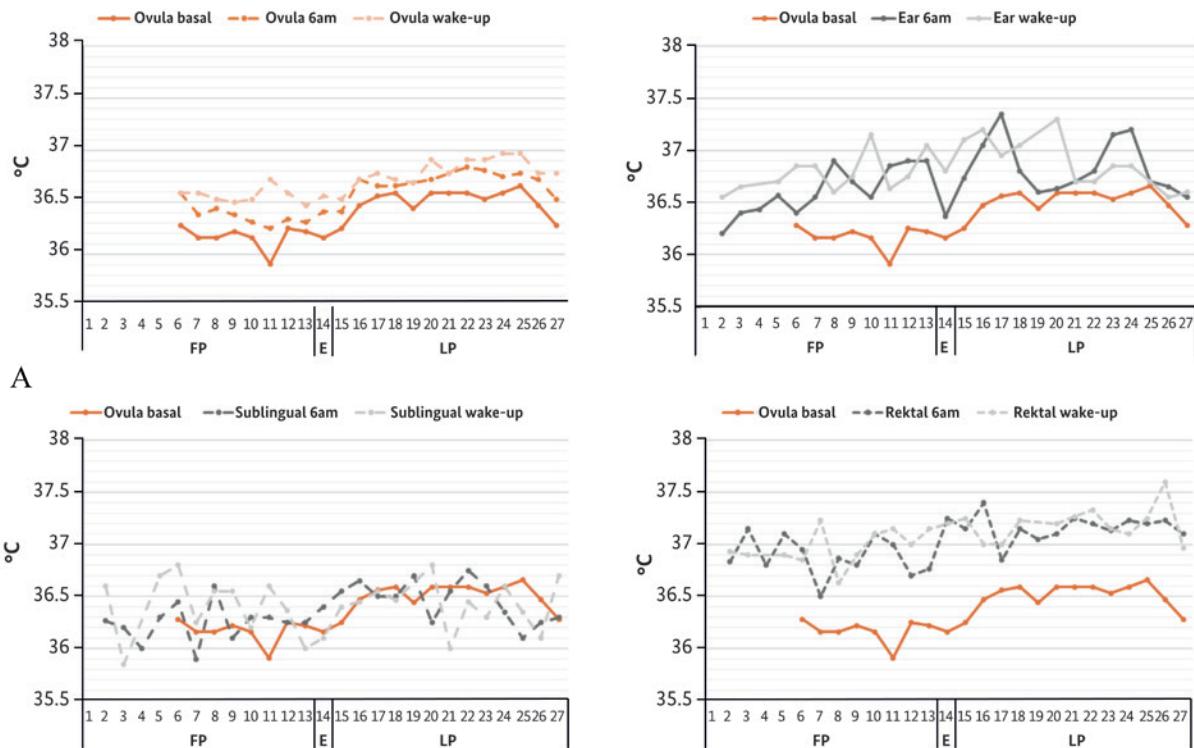


Abb. 1: Individuelle Temperaturverläufe einer Athletin im Zyklus (x-Achse: Zyklustage, FP: Follikelphase, E: Eisprung, LP: Lutealphase). A: OvulaRing-Temperaturen (basal, 6 Uhr, Aufwachen); B: Gehörgang-Temperaturen vs. Ovula basal; C: Sublinguale Temperaturen vs. Ovula basal; D: Rektale Temperaturen vs. Ovula basal

Zykluslänge von 39 Tagen und eine überdurchschnittlich lange Follikelphase von 25 Tagen. Ein Zyklus war anovulatorisch.

Der durchschnittliche Temperaturanstieg von der Follikelphase (FP) zur Lutealphase (LP) zeigte in den Messungen *Ovula basal*  $0,38 \pm 0,18^\circ\text{C}$ , *Ovula 6am*  $0,37 \pm 0,18^\circ\text{C}$  und *Ovula wake-up*  $0,33 \pm 0,19^\circ\text{C}$  die geringsten Streuungen und höchsten durchschnittlichen Temperaturanstiege. Die *Ear-6am*-Messung zeigte die größte Streuung mit einem Anstieg von  $0,25 \pm 0,38^\circ\text{C}$ . *Sublingual 6am* ergab einen Anstieg von  $0,18 \pm 0,23^\circ\text{C}$  und die rektale Messung um 6 Uhr (*Rectal 6am*) zeigte den geringsten Anstieg von  $0,10 \pm 0,21^\circ\text{C}$ . Die Werte bei spontaner Aufwachzeit waren durchweg höher als die um 6 Uhr.

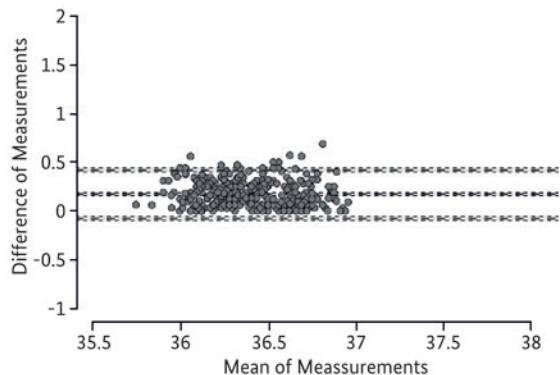
Die Ergebnisse zur Temperaturanstiegserkennung nach der „drei-über-sechs“-Regel zeigten, dass die BT (*Ovula basal*) alle 16 biphasischen Zyklen erkannte, mit einer durchschnittlichen Abweichung von  $1,3 \pm 1,4$  Tagen vom individuell festgelegten Eisprungtag. Andere Messmethoden wiesen eine niedrigere Erkennungsrate

und größere Abweichungen auf (*Ovula 6am*: 14 von 16,  $1,5 \pm 1,2$  Tage; *Ovula wake-up*: 8 von 15,  $0,4 \pm 2,5$  Tage; *Ear 6am*: 13 von 16,  $-1,3 \pm 4,0$  Tage; *Ear wake-up*: 7 von 15,  $-3,7 \pm 4,9$  Tage; *Sublingual 6am*: 6 von 16,  $-0,8 \pm 4,2$  Tage; *Sublingual wake-up*: 5 von 15,  $1,6 \pm 3,7$  Tage; *Rectal 6am*: 1 von 3,  $-1,0 \pm 0$  Tage; *Rectal wake-up*: 0 von 2 erkannten Temperaturanstiegen).

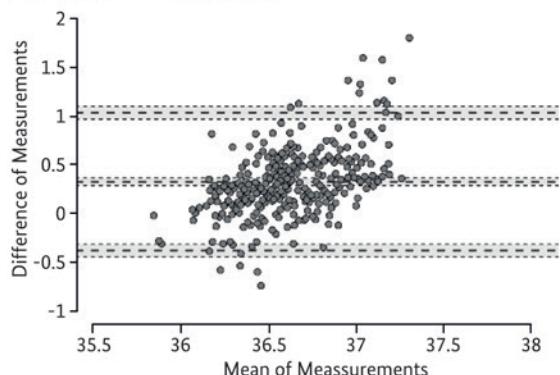
In Abbildung 1 werden die Temperaturverläufe aller Messungen einer Probandin im Verlauf eines Zyklus exemplarisch dargestellt.

In Abbildung 2 werden Bland-Altman-Diagramme aller Temperaturmessmethoden im Vergleich zur Referenzmethode (*OvulaRing*) gezeigt. Die Differenz zwischen der Referenzmethode und den anderen Methoden (Gehörgang, sublingual, rektal) wird als Funktion des Mittelwerts der beiden Messungen dargestellt. Insgesamt wurden 17 Probandinnen analysiert, davon drei zusätzlich mit rektaler Messung. Die Ergebnisse der Referenzmethode für die Messung in der Nacht (*Ovula basal*) im Vergleich zu 6 Uhr morgens (*Ovula 6am*) zeigte, dass 95%

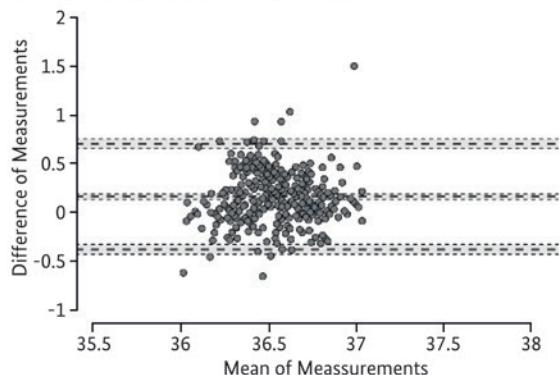
Ovula 6am – Ovula basal



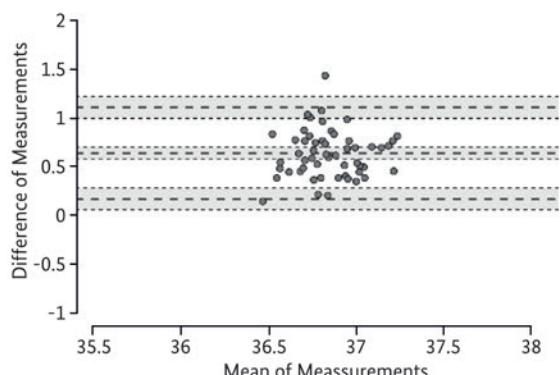
Ear 6am – Ovula 6am



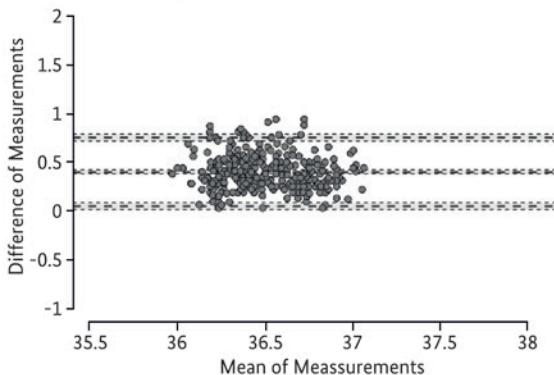
Sublingual 6am – Ovula 6am



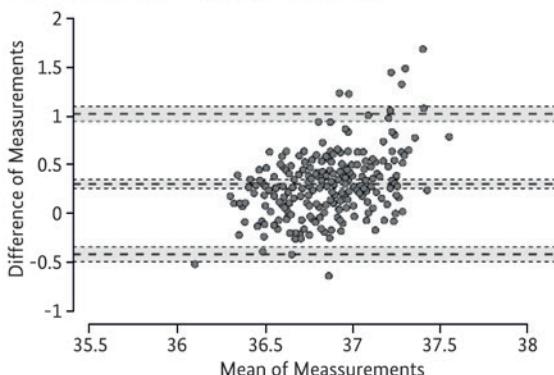
Rectal 6am – Ovula 6am



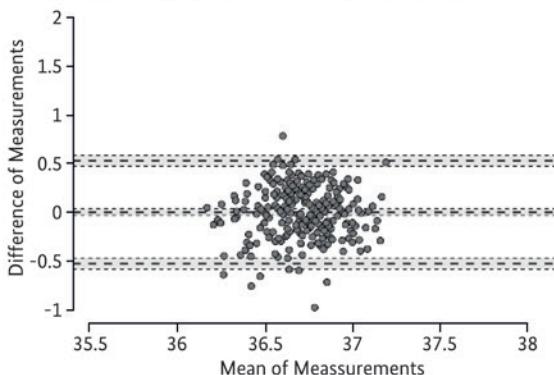
Ovula wake-up – Ovula basal



Ear wake-up – Ovula wake-up



Sublingual wake-up – Ovula wake-up



Rectal wake-up – Ovula wake-up

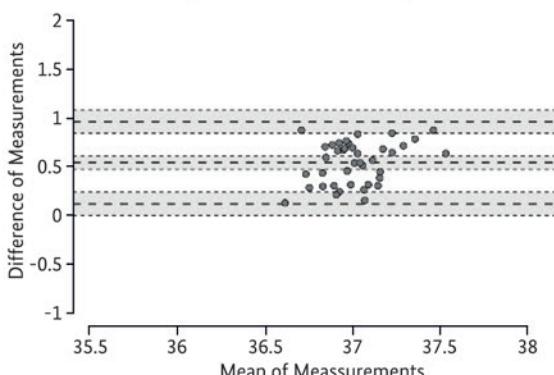


Abb. 2: Darstellung der Abweichungen zwischen verschiedenen Temperaturmessmethoden. Die gestrichelten Linien zeigen die mittlere Differenz (MD) sowie die Limits (LoA), während die Schattierungen das 95%ige Konfidenzintervall darstellen. Die Anzahl der Datenpunkte: Ovula 6am (n=375); Ovula wake-up (n=305); Ear 6am (n=360); Ear wake-up (n=269); Sublingual 6am (n=360); Sublingual wake-up (n=269); Rectal 6am (n=58); Rectal wake-up (n=40).

der Messungen Unterschiede (LoA) zwischen -0,08°C und 0,42°C aufwiesen, mit einer mittleren Differenz (MD) von 0,17°C. Die Aufwachtemperatur (*Ovula wake-up*) wichen mit LoA von 0,05°C - 0,75°C und einer MD von 0,40°C ab, was den physiologischen Temperaturanstieg von der Nacht bis zum Morgen widerspiegelt. Der niedrigste nächtliche Temperaturwert (*Ovula basal*) wurde durchschnittlich um 03:24 Uhr gemessen.

Der Parameter *Ear wake-up* zeigte die größte Streuung der Übereinstimmungsgrenzen (LoA: -0,44°C bis 1,00°C) und eine vergleichsweise geringe Genauigkeit mit einer MD von 0,28°C zur Referenzmethode (*Ovula 6am*). Auch die Messung *Ear 6am* wies eine niedrige Genauigkeit auf (MD: 0,31°C; LoA: -0,40°C bis 1,02°C). Ähnlich verhielt es sich bei der rektalen Messung, die jedoch ausschließlich positive Übereinstimmungsgrenzen hatte (Rectal 6am: MD: 0,61°C, LoA: 0,15 bis 1,08°C; Rectal wake-up: MD: 0,52°C, LoA: 0,09 bis 0,94°C). Die sublinguale Messung nach dem Aufwachen (*Sublingual wake-up*) zeigte mit einer MD von -0,02°C die geringste Abweichung, jedoch mit weiten LoA (-0,55°C bis 0,51°C). Diese Abweichungen verteilten sich gleichmäßig auf positive und negative Werte. Die Messung *Sublingual 6am* hatte eine höhere Abweichung (MD: 0,14°C) bei ebenfalls schwacher Übereinstimmung (LoA: -0,40°C bis 0,68°C). Alle Methoden zeigten eine schwache bis fehlende Korrelation ( $p<0,4$ ) zur Referenzmethode.

### 3.2 Messung der Hauttemperatur mittels sensorbasierten Messmethoden

13 Zyklen (n=11) konnten in die Analyse eingeschlossen werden (AVA-Armband: n=5, Oura-Fingerring: n=4, AppleWatch: n=2, Samsung Galaxy Watch: n=2).

Die Ergebnisse zur Temperaturanstiegserkennung nach der „drei-über-sechs“-Regel zeigten, dass die BT (*Ovula basal*) auch hier die verlässlichste Methode war: In allen Fällen wurden biphasische Zyklen erkannt, mit einer durchschnittlichen Abweichung von  $1,5 \pm 1,6$  Tagen zum individuell festgelegten Eisprung. Andere

Messmethoden wiesen entweder eine geringere Erkennungsrate oder größere Abweichungen zu den zuvor festgelegten Eisprungtagen auf (AVA basal: 5 von 5,  $2,8 \pm 2,8$  Tage; Oura basal: 2 von 4,  $0,5 \pm 0,5$  Tage; Apple basal: 2 von 2,  $-1,0 \pm 0$  Tage; Samsung basal: 0 von 1).

Der Vergleich zwischen AVA basal (niedrigste nächtliche Temperatur, gemessen mit dem AVA-Armband), und *Ovula basal* zeigte LoA von -1,02°C bis 0,30°C, eine MD von -0,36°C und eine schwache Korrelation ( $p=0,3$ ). Ähnlich schlechte Übereinstimmungen wurden bei der Apple Watch und der Samsung Galaxy Watch festgestellt. Die Apple Watch hatte eine MD von -0,07°C, LoA von -0,78 bis 0,65°C und eine Korrelation von  $p=0,37$ , während die Samsung Watch eine MD von 0,41°C, LoA von 0,07 bis 0,89°C und eine Korrelation von  $p=0,31$  aufwies. Der Vergleich zwischen Oura basal und *Ovula basal* wies zwar im Vergleich die geringste Übereinstimmungsgrenze auf sowie eine starke Korrelation der Messwerte, jedoch mit einer Streuung der Daten sowohl im positiven als auch im negativen Zahlenbereichen (MD: -0,02, LoA: -0,31 bis 0,27°C,  $p=0,8$ ).

## 4 Diskussion

Die vorliegende Studie liefert wichtige Erkenntnisse für den Transfer der temperaturbasierten Zyklusdiagnostik in die Sportpraxis. Sie untersuchte dazu die Eignung verschiedener herkömmlicher Temperaturmessmethoden im Vergleich zu einer 24-stündigen Körperkernnahmen (intravaginalen) Referenzmessung zur Zyklusdiagnostik bei sportlich aktiven Frauen. Als Parameter zur Zyklusdiagnostik wurde in dieser Studie der Tag der Ovulation herangezogen, wobei physiologisch bei einem ausreichend funktionsfähigen Corpus luteum postovulatorisch ein Anstieg der Körpertemperatur um 0,2°C bis 0,5°C zu erwarten ist (Lui et al., 2020). Eine Messmethodik, die diesen Temperaturanstieg von bis zu 0,5°C detektieren soll, sollte demnach eine Genauigkeit aufweisen, die 0,5°C Variabilität nicht überschreitet (klinisch sinnvolle Grenze).

In der vorliegenden Studie zeigte sich in 16 von 17 der Zyklen ein biphasisches Temperaturmuster der nächtlichen Minimaltemperatur gemessen mit dem OvulaRing. Ferner wurde ein anovulatorischer Zyklus ohne biphasisches Temperaturmuster identifiziert. Dies unterstreicht, dass die nächtliche BT in einer Population von Sportlerinnen zur Eisprungdiagnostik geeignet scheint.

Grundsätzlich schwankt die Körpertemperatur zirkadian und weist in der Nacht während des Schlafes ihr Minimum auf. Der genaue Zeitpunkt des nächtlichen Minimums variiert intra- und interindividuell (Martinez-Nicolas et al., 2019): „159 undergraduates students were recruited as volunteers and instructed to wear ambulatory circadian monitoring ACM)“. Mithilfe der kontinuierlichen intravaginale Temperaturmessung war es uns möglich, die BT zu erfassen. Anhand dieser Werte konnte die 24 Stunden vor dem Temperaturanstieg stattgefundene Ovulation indirekt nachgewiesen werden. Diese wurde durch die zweite Methode, den Nachweis des LH-Anstiegs im Urin (24 Stunden vor dem Eisprung), ebenfalls bestätigt. Die anderen verwendeten Methoden zur Temperaturmessung bzw. Messzeiten wiesen teilweise erhebliche Abweichungen von den Referenzergebnissen auf und waren insgesamt unzuverlässig. Mit handelsüblichen Fieberthermometern wurden nur 48% der 94% biphasischen Zyklen korrekt erkannt, vermutlich da die Messvarianz außerhalb der klinisch sinnvollen Grenzen lag. Frühere Untersuchungen bestätigten, dass die Genauigkeit der Temperaturmessung von Faktoren wie Thermometerart, Messort und Messzeit sowie äußeren Einflüssen wie Schlafdauer und Alkoholkonsum abhängt (Su et al., 2017). Die Messgenauigkeit der verwendeten Thermometer (Braun, Withings, MOB) wurde bereits in anderen Studien untersucht (Mah et al., 2021). Hier zeigte das Braun-Infrarotthermometer (IRT6520) im äußeren Gehörgang die besten Korrelationen mit einem medizinischen Goldstandardsystem. Dennoch erwies sich in der Praxis zur Ovulationsdiagnostik sowohl das Infrarotthermometer für den äußeren Gehörgang als auch die sublinguale und rektale Messung mit dem Braun-Stabthermometer (PRT2000) als

weniger geeignet. Es wären systematisch niedrigere Temperaturwerte im Vergleich zur intravaginalen Referenz zu erwarten gewesen (Mah et al., 2021), die wir jedoch nicht darstellen konnten.

Die technisch innovativen, sensorbasierten neuen Methoden zur Zyklusdiagnostik wie Smart-Ringe und Smart-Watches, die am Handgelenk oder Finger die Hauttemperatur messen (Uchida & Izumizaki, 2022), scheinen aufgrund der hohen Varianz, die wir in dieser Studie bei einigen Pilottestungen festgestellt haben, noch nicht ausgereift genug zu sein für den Einsatz in der Zyklusdiagnostik im Sport. Eine Erhöhung der Fallzahl könnte zeigen, dass der Oura-Ring als potenziell aussichtsreiche Methode brauchbar ist.

Die Messung der nächtlichen BT erfasst nicht die Ovulation selbst, da dies nur durch intravaginale Ultraschalluntersuchungen möglich ist. Sie ermöglicht jedoch eine indirekte Aussage über die Aktivität des Corpus luteum, das nach dem Eisprung Progesteron freisetzt und die Körpertemperatur erhöht (Bedford et al., 2009: „And to evaluate the stability of LS-QBT to wake-time variation. Study design: Cross-sectional study of 40 healthy, normal-weight, regularly menstruating women aged 19–34. Participants recorded basal temperature and collected first void urine daily for one complete menstrual cycle. Evidence of luteal activity (ELA)“ Die Ovulation erfolgt etwa 12 bis 48 Stunden vor dem Temperaturanstieg, was in dieser Studie durch den Einsatz von Urin-LH-Teststicks bestätigt wurde, die in diesem Zeitraum einen Anstieg der LH-Konzentration zeigten. Die alleinige Verwendung von Urin-LH-Teststicks zur Ovulationsdiagnostik gilt im Leistungssport als unzureichend, da die LH-Peaks stark variieren können (Direito et al., 2013). Wir empfehlen die kontinuierliche intravaginale Temperaturmessung (OvulaRing) in Kombination mit der semiquantitativen LH-Messung im Urin. Der Nachteil dieser Methoden sind die hohen Kosten. Sollten Kostengründe gegen ihren Einsatz sprechen, empfehlen wir die sublinguale Temperaturmessung zu einer festgelegten Uhrzeit (idealerweise um 6 Uhr), die nahezu kostenfrei ist, jedoch ungenau sein

kann. Ob die Zervixschleimdiagnostik die Zyklusdiagnostik ergänzen oder teilweise ersetzen kann, sollte in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Um den Menstruationszyklus einer Athletin zuverlässig und langfristig zu überwachen und ihre Gesundheit zu fördern, sollte eine kontinuierliche Zyklusdiagnostik selbstverständlich sein. Dafür wäre es erforderlich, eine App für das deutsche Leistungssportsystem zu entwickeln, die die Zyklusdaten der Sportlerin zusammen mit Trainings-, Leistungs- und weiteren subjektiven Daten erfasst, auswertet und zeitnah rückmeldet.

## 5 Literatur

- Bedford, J. L., Prior, J. C., Hitchcock, C. L., & Barr, S. I. (2009). Detecting evidence of luteal activity by least-squares quantitative basal temperature analysis against urinary progesterone metabolites and the effect of wake-time variability. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 146(1), 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2009.05.001>.
- Direito, A., Bailly, S., Mariani, A., & Ecochard, R. (2013). Relationships between the luteinizing hormone surge and other characteristics of the menstrual cycle in normally ovulating women. *Fertility and Sterility*, 99(1), 279–285.e3. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2012.08.047>.
- Elliott-Sale, K. J., Minahan, C. L., de Jonge, X. A. K. J., Ackerman, K. E., Sipilä, S., Constantini, N. W., Lebrun, C. M., & Hackney, A. C. (2021). Methodological Considerations for Studies in Sport and Exercise Science with Women as Participants: A Working Guide for Standards of Practice for Research on Women. *Sports Medicine*, 51(5), 843–861. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01435-8>.
- Goeckenjan, M., Schiwek, E., & Wimberger, P. (2020). Continuous Body Temperature Monitoring to Improve the Diagnosis of Female Infertility. *Geburtshilfe und Frauenheilkunde*, 80(07), 702–712. <https://doi.org/10.1055/a-1191-7888>.
- Lui, A. Y., Petit, M. A., & Prior, J. C. (2020). Exercise and the Hypothalamus: Ovulatory Adaptations. In A. C. Hackney & N. W. Constantini (Hrsg.), *Endocrinology of Physical Activity and Sport*, pp. 123–151. Springer International Publishing.
- Mah, A. J., Ghazi Zadeh, L., Khoshnam Tehrani, M., Askari, S., Gandjbakhche, A. H., & Shadgan, B. (2021). Studying the Accuracy and Function of Different Thermometry Techniques for Measuring Body Temperature. *Biology*, 10(12), 1327. <https://doi.org/10.3390/biology10121327>.
- Martinez-Nicolas, A., Martinez-Madrid, M. J., Almaida-Pagan, P. F., Bonmati-Carrion, M.-A., Madrid, J. A., & Rol, M. A. (2019). Assessing Chronotypes by Ambulatory Circadian Monitoring. *Frontiers in Physiology*, 10, 1396. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01396>.
- Schmalenberger, K. M., Tauseef, H. A., Barone, J. C., Owens, S. A., Lieberman, L., Jarczok, M. N., Girdler, S. S., Kiesner, J., Ditzen, B., & Eisenlohr-Moul, T. A. (2021). How to study the menstrual cycle: Practical tools and recommendations.
- Shilaih, M., Goodale, B. M., Falco, L., Kübler, F., De Clerck, V., & Leenens, B. (2018). Modern fertility awareness methods: Wrist wearables capture the changes in temperature associated with the menstrual cycle. *Bioscience Reports*, 38(6), BSR20171279. <https://doi.org/10.1042/BSR20171279>.

Su, H.-W., Yi, Y.-C., Wei, T.-Y., Chang, T.-C., & Cheng, C.-M. (2017). Detection of ovulation, a review of currently available methods: Su et al. Bioengineering & Translational Medicine, 2(3), 238–246. <https://doi.org/10.1002/btm2.10058>.

Uchida, Y., & Izumizaki, M. (2022). The use of wearable devices for predicting biphasic basal body temperature to estimate the date of ovulation in women. Journal of Thermal Biology, 108, 103290. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103290>.

# Untersuchung der Ermüdungsresistenz in den Disziplinen 3.000 m sowie 5.000 m im olympischen Eisschnelllauf

AZ 072015/23

*Christian Fay und Michael Behringer (Projektleitung)*

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Sportwissenschaften, Fachbereich 05, Arbeitsbereich Sportmedizin & Leistungsphysiologie

## 1 Problem

Die Distanzen 3.000 m und 5.000 m gehören neben den 10.000 m zu den längsten Strecken im Eisschnelllauf. Für Athletinnen und Athleten stellen sie eine technisch, physiologisch sowie biomechanisch hoch anspruchsvolle Aufgabe dar (Muehlbauer et al., 2010). Die zu absolvierende Strecke muss in möglichst kurzer Zeit zurückgelegt werden, wobei ein hoher mechanischer Power-Output bei möglichst geringer neuromuskulärer Ermüdung erforderlich ist (van Ingen Schenau, 1982). Bereits zu Beginn des Wettkampfs ist daher eine hohe Kraftleistung erforderlich, um nach dem Start eine hohe Geschwindigkeit erreichen zu können. Diese Geschwindigkeit muss anschließend durch einen konstanten Power-Output aufrechterhalten werden (van Ingen Schenau et al., 1990).

In der Literatur werden verschiedene Pacing-Strategien diskutiert, die das Ziel verfolgen, die optimale Kombination aus Technik, Taktik und der damit verbundenen energetischen Bereitstellung zu identifizieren. Die Relevanz einer effektiven Pacing-Strategie wird ersichtlich, wenn man die Unterschiede in den Leistungen bei den Olympischen Spielen oder Weltmeisterschaften zwischen einer Goldmedaillengewinnerin/ einem Goldmedaillengewinner und einer Athletin/ einem Athleten ohne Medaillengewinn betrachtet. Diese Unterschiede sind mitunter minimal und liegen teilweise bei weniger als einem Prozent (Foster et al., 1994).

Foster et al. (1994) untersuchten daher, ob ein schneller Start und die nachfolgende möglichst

konstante Aufrechterhaltung der Geschwindigkeit zu den besten Wettkampfzeiten führen. Diese Strategie wird als „positive pacing pattern“ beschrieben (Takenaka et al., 2011). Das „positive pacing pattern“ wurde lange Zeit als effektive Strategie für ein optimales Wettkampfergebnis erachtet, jedoch durch andere wissenschaftliche Untersuchungen zunehmend infrage gestellt (Muehlbauer et al., 2010). In ihrer Untersuchung kamen Muehlbauer und Kollegen (2010) zu dem Ergebnis, dass ein zu schneller Start bereits bei einem 1.500-Meter-Rennen mit einer längeren Wettkampfzeit assoziiert ist. Sie empfehlen daher, dass die Athletinnen und Athleten eine möglichst hohe Geschwindigkeit bei der 700-Meter-Marke anstreben sollten.

Differenzen in den Meinungen bezüglich potenzieller Pacing-Strategien lassen sich in erster Linie auf die unterschiedlichen Testbedingungen (Labor, simulierter Wettkampf, realer Wettkampf etc.) sowie auf unterschiedliche Streckenlängen zurückführen. Unabdingbar ist jedoch weiterhin die Tatsache, dass die Aufrechterhaltung der Kraftleistung auch bei auftretender Ermüdung von großer Bedeutung für das schnellstmögliche Zurücklegen der verschiedenen Wettkampfstrecken ist.

Die Körperposition der Athletinnen und Athleten stellt dabei einen leistungsbestimmenden Faktor dar (vgl. Abb. 1). Analog zum Radsport stellt auch im Eisschnelllauf der Windwiderstand eine wesentliche Einflussgröße dar, die es möglichst zu minimieren gilt (van Ingen Schenau et al., 1990).



Abb. 1: Körperposition beim Eisschnelllauf (Bildrechte: Thomas Hoffmann)

Die Aufrechterhaltung einer tiefen Körperposition über einen längeren Zeitraum hat signifikante Auswirkungen auf die involvierte Muskulatur (Noordhof et al., 2013; Konings et al., 2015). So bedingt die vorgebeugte Körperhaltung mit kleinem Hüft- und Kniewinkel eine Reduktion der Blutzufuhr zur arbeitenden Muskulatur (Foster et al., 1999). Untersuchungen anderer Forschungsgruppen zeigen, dass es sich bei der 3.000-m- sowie bei der 5.000-m-Distanz um primär aerobe Disziplinen mit laktaziden Anteilen und Kraftanforderungen handelt (Hermsdorf & Hartmann, 2015). Hermsdorf und Hartmann (2015) weisen zudem darauf hin, dass hohe eisschnellaufspezifische Fertigkeiten nur wenig Vorteile bieten, wenn sie auf dem Eis aufgrund mangelnder stoffwechselphysiologischer Fähigkeiten nicht genutzt werden können.

In Bezug auf die Disziplin 5.000 m zeigen Untersuchungen der Arbeitsgruppe um Hermsdorf und Hartmann (2015), dass ein Verhältnis der Energiebereitstellung von ca. 15 % anaerob zu 85 % aerob vorherrscht. Bei der 3.000-m-Disziplin wurde ein Verhältnis von ca. 20 % anaerob zu 80 % aerob ermittelt.

Die anaeroben Anteile lassen sich in erster Linie darauf zurückführen, dass es in der arbeitenden Muskulatur ab einer Kraftbelastung von ca. 30 % des One-Repetition-Maximums (1 RM) zu einer Kompression der Blutgefäße (Kapillarkompression) kommt und die Zufuhr von Sauerstoff in die Muskulatur somit unterdrückt ist (Allen et al., 2008). Ab einer Kraftbelastung von ca. 50-60 % des 1 RM ist ein vollständiger Ver-

schluss der Gefäße zu beobachten (Saltin et al., 1998; Wigmore et al., 2004).

Eine Entlastung bzw. eine dynamische Arbeitsweise der jeweiligen Muskulatur ermöglicht eine kurzzeitige Sauerstoffzufuhr, wodurch der aerobe Anteil an der Gesamtenergiebereitstellung ansteigt. Aus der muskelphysiologischen Forschung ist bekannt, dass die Aufrechterhaltung der muskulären Funktionen in der arbeitenden Muskulatur mit steigender Azidose zunehmend eingeschränkt wird (Allen et al., 2008).

In einer Untersuchung zum Ski alpin erläutern Behringer et al. (2018), dass für eine Erhöhung bzw. Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit eine adäquate Sauerstoffversorgung in der Muskulatur unumgänglich ist, und beziehen sich u. a. auf Untersuchungen von Robergs et al. (2004). Die Aufrechterhaltung der muskulären Leistung während des Rennens ist zunächst von der aeroben Energiebereitstellung abhängig. Eine Kompression der zuführenden Gefäße durch anhaltend hohe intramuskuläre Spannungen während des Rennens bedingt eine Reduktion des Sauerstoffangebots an der Muskelzelle infolge eines reduzierten Blutflusses. Dies hat zur Folge, dass die mitochondriale ATP-Synthase den Energiebedarf der Muskelfaser unter diesen quasi-ischämischen Bedingungen nicht mehr decken kann (Behringer et al., 2018). Insbesondere die tiefe Körperposition im Eisschnelllauf erschwert die Blutzirkulation in den Beinen zusätzlich. In der Konsequenz ist der Körper gezwungen, für die Regeneration von ATP auf die anaerobe Glykolyse oder auf zelluläres ADP zurückzugreifen, wobei pro ADP-Molekül ein intrazelluläres Phosphat (Pi) und ein Proton in das Cytosol abgegeben werden (Vogt et al., 2005). Die Akkumulation von Pi wird in zahlreichen Studien als maßgeblicher Faktor für die muskuläre Ermüdung betrachtet (Allen et al., 2008).

Ziel des beantragten Projekts war es, die Ermüdungsresistenz in den Disziplinen 3.000 m und 5.000 m während einer Wettkampfsimulation zu untersuchen. Dabei sollten im Rahmen der auftretenden Ermüdung die Desoxygenierung der

Muskulatur sowie die repetitiven Krafteinsätze (Höhe der Einzelimpulse) erfasst und Zusammenhänge aufgezeigt werden.

## 2 Methodik

An der Untersuchung nahmen insgesamt  $N = 5$  Athletinnen und Athleten auf Landes- bzw. Bundeskader niveau teil. Die Athleten und Athletinnen starteten mindestens auf nationalem ( $n = 3$ ), teils auf internationalem Niveau ( $n = 2$ ).

Die 3.000-m-Distanz wurde von den Damen ( $n = 3$ ) gelaufen (Alter:  $20,1 \pm 1,2$  Jahre; Größe:  $166 \pm 5,2$  cm; Körpergewicht:  $62,2 \pm 8,5$  kg). Die 5.000-m-Distanz wurde von den Herren ( $n = 2$ ; Alter:  $20,3 \pm 3,0$  Jahre; Körpergröße:  $182 \pm 8,5$  cm; Körpergewicht:  $68,3 \pm 5,2$  kg) absolviert.

Die Untersuchung wurde in zwei Abschnitte unterteilt:

### 2.1 Voruntersuchung

Im Rahmen der Voruntersuchung wurden isokinetische Krafttests durchgeführt. Die folgenden Bewegungsmuster wurden dabei getestet: Knie- und Hüftstreckung sowie isoliert die Beinbeuger, Beinstrecker, Hüftbeuger, Hüftstretcher, Hüftabduktoren und Hüftadduktoren.

Die isokinetischen Kraftmessungen wurden am Olympiastützpunkt Berlin mit dem Isokineten IsoMed 2000 (D & R Ferstl GmbH, Deutschland) durchgeführt. Die Voruntersuchung erfolgte mit einem Mindestabstand von 48 Stunden zur Hauptuntersuchung.

### 2.2 Hauptuntersuchung

Die Hauptuntersuchung umfasste mehrere Testbestandteile und wurde am Bundesstützpunkt für Eisschnelllauf in Berlin durchgeführt.

Zu Beginn der Untersuchung wurden die Athletinnen und Athleten angewiesen, sich für einen Zeitraum von 15 Minuten individuell aufzu-

wärmen. Dabei wurde besonders Augenmerk darauf gelegt, dass das Aufwärmen keine Ermüdung herbeiführte und so durchgeführt wurde, als würden sich die Athletinnen und Athleten für einen offiziellen Wettkampf aufwärmen. Im Anschluss an das Aufwärmen wurden die maximalen Sprungkraftwerte für die Sprungformen Counter-Movement-Jump, Squat Jump und Drop Jump (Kastenhöhe: 30 cm) mittels Optojump 1 (Microgate Srl, Italien) ermittelt.

Zur Ermittlung der Sprungkraftwerte führten die Athletinnen und Athleten jeweils drei maximale Versuche der jeweiligen Sprungform durch. Aus den resultierenden Werten wurde anschließend der Mittelwert errechnet. Bei allen Sprungformen wurde darauf geachtet, dass die Hände der Athletinnen und Athleten an der Hüfte positioniert waren. Die Pause zwischen den einzelnen Sprüngen betrug jeweils 30 Sekunden. Die Pause zwischen den unterschiedlichen Sprungformen betrug eine Minute.

Im Anschluss wurden bei den Athletinnen und Athleten Nahinfrarotspektroskopiesensoren (NIRS-Sensoren, Portamon, Artinis Medical Systems, Niederlande), jeweils auf den M. quadriceps pars lateralis beider Beine, angebracht. Dabei war zu gewährleisten, dass kein Lichteinfall von außen die NIRS-Sensoren beeinflusste und die Athletinnen und Athleten durch die Sensoren nicht in ihren Bewegungsabläufen beeinträchtigt wurden.

Des Weiteren wurden Kraftsensoren der Firma Phyling (Frankreich) an den Skates der jeweiligen Athletinnen und Athleten installiert. Die als Individualanfertigung hergestellten Kraftsensoren weisen eine Dicke von 4 mm auf und werden zwischen den Kufen und den Skateschuhen installiert (vgl. Abb. 2).

Im Anschluss an die korrekte Positionierung der NIRS- und Kraftsensoren wurde vor Beginn der Wettkampfsimulation Ruhelaktat abgenommen. Für die Wettkampfsimulation wurden die Athletinnen und Athleten instruiert, die jeweilige Strecke (Damen = 3.000 m; Herren = 5.000 m) wie in einem realen Wettkampf in möglichst kurzer Zeit zurückzulegen.

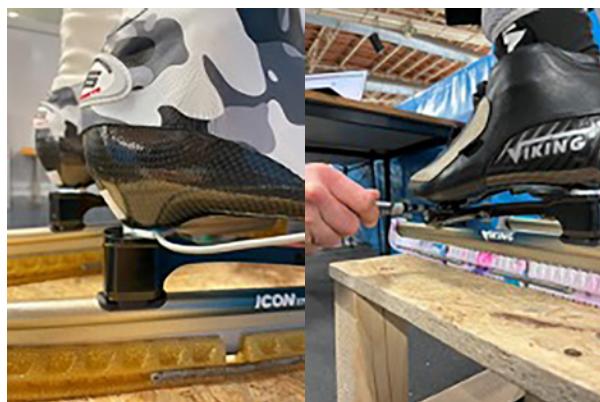


Abb. 2: Kraftsensoren zwischen Kufe und Schuh

Die erneute Laktatabnahme erfolgte unmittelbar nach der Wettkampfsimulation. Des Weiteren wurden die Athletinnen und Athleten dazu aufgefordert, die Skates umgehend abzulegen, um die Nachbelastungs-Sprungkraftwerte erfassen zu können. Die Durchführung der Sprungkrafttests erfolgte analog zu den zuvor durchgeführten Sprungkrafttests.

### 3 Ergebnisse

Die Athletinnen und Athleten absolvierten die Voruntersuchungen planmäßig, deren Resultate in Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellt werden. Im Rahmen der Hauptuntersuchung wurden ebenfalls sämtliche Messungen durchgeführt. Bezuglich der Kraftsensoren ist zu vermerken, dass während der Hauptuntersuchung Schwierigkeiten auftraten, welche eine statistische Auswertung dieser Daten aufgrund mangelnder Datenqualität unmöglich machten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der durchgeführten Tests dargestellt.

#### 3.1 Voruntersuchung

Die Werte, die sich aus der Kraftmessungen am Isokineten bei den Athletinnen ( $n = 3$ ) ergaben, bildet Tabelle 1 ab. Die Ergebnisse der Kraftmessungen am Isokineten bei den Athleten ( $n = 2$ ) finden sich in Tabelle 2.

**Tabelle 1: Ergebnisse der isokinetischen Kraftmessungen der Athletinnen**

Muskelgruppe	links (MW ± SD)	rechts (MW ± SD)	Differenz (MW ± SD)
Hüft- und Kniestrecker [N]	1.847,7 (96)	1.741,3 (205,2)	85,5 (61,5)
Kniebeuger [Nm]	101,3 (9,4)	96,3 (5,5)	5,0 (1,6)
Kniestrecker [Nm]	150,0 (8,0)	148,0 (7,2)	2,0 (0,3)
Hüftbeuger [Nm]	101,3 (15,3)	98,3 (11,0)	3,0 (1,7)
Hüftstrekker [Nm]	231,7 (22,6)	222,3 (24)	9,3 (0,6)
Hüftabduktion [Nm]	86,3 (15,0)	93,3 (6,8)	-7,0 (3,4)
Hüftadduktion [Nm]	157,0 (13,4)	161,5 (25,3)	-4,3 (4,8)

Anmerkungen: N = Newton; Nm = Newtonmeter; SD = Standardabweichung

**Tabelle 2: Ergebnisse der isokinetischen Kraftmessungen der Athleten**

Muskelgruppe	links (MW ± SD)	rechts (MW ± SD)	Differenz (MW ± SD)
Hüft- und Kniestrecker [N]	2.295,5 (652,7)	2.721,0 (244,7)	425,5 (61,5)
Kniebeuger [Nm]	141,0 (12,7)	141,0 (5,7)	0 (2,5)
Kniestrecker [Nm]	168,0 (67,9)	217,5 (20,5)	-49,5 (16,8)
Hüftbeuger [Nm]	136,0 (19,8)	139,0 (9,9)	-3,0 (3,5)
Hüftstrekker [Nm]	320,5 (71,4)	337,0 (58,0)	-16,5 (4,8)
Hüftabduktion [Nm]	116,5 (36,1)	114,0 (56,6)	2,5 (7,3)
Hüftadduktion [Nm]	224,5 (17,7)	211,0 (28,3)	13,5 (3,8)

Anmerkungen: N = Newton; Nm = Newtonmeter; SD = Standardabweichung

### 3.2 Hauptuntersuchung

Die Damen absolvierten die 3.000 m in einer Zeit von 4:47,94 Minuten ( $\pm 31,01$  s), während die Herren die 5.000 m in 7:09,06 Minuten ( $\pm 9,65$  s) bewältigten.

Die Ergebnisse der muskulären Sauerstoffsättigung während der Belastung wiesen bei den Athletinnen und Athleten einen durchschnittlichen maximalen Abfall unmittelbar nach dem Start von 22,2 % ( $\pm 6,6$ ) im linken Bein und 20,9 % ( $\pm 12,0$ ) im rechten Bein auf. Im Mittel wurde bei den Athletinnen und Athleten vor dem Start eine Gewebesättigung von 65,4 % ( $\pm 2,3$ ) im linken Bein und 64,0 % ( $\pm 4,4$ ) im rechten Bein festgestellt. Im Durchschnitt wurde die gesamte Wettkampfsimulation von den Athletinnen und Athleten mit einer Gewebesättigung von 53,5 % ( $\pm 5,5$ ) im linken Bein und 47,4 % ( $\pm 3,4$ ) im rechten Bein absolviert, was einen Unterschied zum Ausgangswert von 11,9 % ( $\pm 3,1$ ) links und 16,6 % ( $\pm 1,0$ ) rechts ausmacht. Das linke Bein ist dabei das kurveninnere Bein, das rechte Bein das kurvenäußere Bein.

Über den Verlauf der Wettkampfsimulation konnte ein geringfügiger Anstieg der Sauerstoffsättigung festgestellt werden. Im Vergleich der ersten drei Geraden mit den letzten drei

Geraden lässt sich ein Anstieg der Sauerstoffsättigung um 2,3 % ( $\pm 1,0$ ) im linken Bein und 2,7 % ( $\pm 0,9$ ) im rechten Bein beobachten. Im Vergleich der ersten mit den letzten drei Kurven konnte ein Anstieg der Sauerstoffsättigung um 0,1 % im linken Bein und 4,8 % ( $\pm 2,3$ ) im rechten Bein festgestellt werden.

Die Datenauswertung hat gezeigt, dass die Desoxygenierung sowie Reoxygenierung bei den untersuchten Athletinnen und Athleten sehr unterschiedlich ausfielen. So konnten bei manchen Athletinnen und Athleten deutliche Ausschläge nach oben im Sinne einer reaktiven Hyperämie beobachtet werden, während dies bei anderen Athletinnen und Athleten nicht der Fall war (vgl. Abb. 3 und 4).

Trotz der kleinen Stichprobe ( $n = 5$ ) wurden Korrelationsberechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse jedoch mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren sind.

Die Daten der Kraftsensoren an den Skates wurden dabei nicht berücksichtigt.

Die durchgeföhrten Korrelationsberechnungen zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Kraftwerten der linken Hüftstrekker und dem prozentualen Abfall der Gewebesätti-

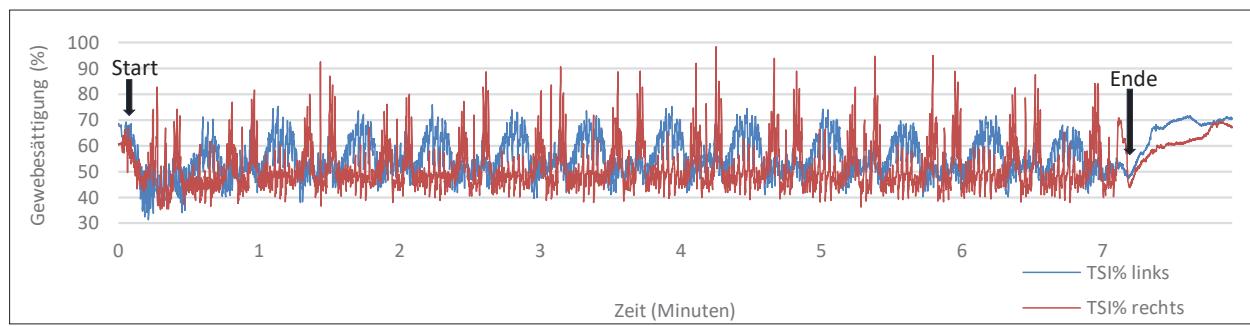


Abb. 3: Beispielhafte Gewebesättigung eines Athleten während einer Wettkampfsimulation über 5.000 m

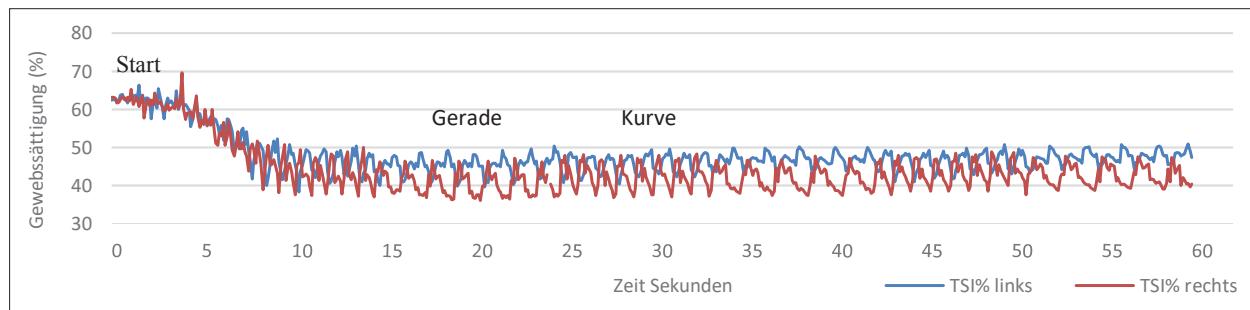


Abb. 4: Beispielhafter Auszug der Gewebesättigung einer Athletin während einer Wettkampfsimulation über 3.000 m

gung nach dem Start ( $r^2 = .89; p = .017$ ). Ein weiterer, signifikanter Zusammenhang zwischen den Kraftwerten der Hüftstretcher im rechten Bein und dem prozentualen Abfall der Gewebesättigung nach dem Start konnte nicht festgestellt werden ( $r^2 = .45; p = .333$ ).

Kein signifikanter Zusammenhang konnte zwischen den Kraftwerten der Hüft- und Beinstrecker des linken Beins in der Beinpresse und dem prozentualen Abfall der Gewebesättigung nach dem Start festgestellt werden ( $r^2 = .69; p = .082$ ). Auch die Korrelationen zwischen den Kraftwerten der Hüft- und Beinstrecker im linken Bein in der Beinpresse und der durchschnittlichen Gewebesättigung während des Rennens waren nicht signifikant ( $r^2 = .52; p = .280$ ). Für die Kraftwerte der Hüft- und Beinstrecker des rechten Beins in der Beinpresse konnte ebenfalls kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Kraftwerten und dem prozentualen Abfall der Gewebesättigung nach dem Start festgestellt werden ( $r^2 = .71; p = .073$ ). Zudem ergaben sich keine signifikanten Korrelationen zwischen den Kraftwerten der Beinpresse des rechten Beins und der durchschnittlichen Gewebssättigung während des Rennens ( $r^2 = .66; p = .173$ ).

Weitere, jedoch nicht signifikante Korrelationen wurden zudem zwischen dem Abfall der Gewebesättigung nach dem Start und den Kraftwerten der Beinbeuger des linken Beins und dem Abfall der Gewebesättigung nach dem Start ( $r^2 = .71; p = .073$ ) festgestellt. Für die Beinbeuger des rechten Beins wurde eine nicht signifikante negative Korrelation ( $r^2 = -.57; p = .072$ ) festgestellt.

Des Weiteren konnten signifikante Korrelationen zwischen den Laktatwerten und dem Abfall der Drop-Jump-Leistung nach der Wettkampfsimulation gefunden werden ( $r^2 = .91; p = .012$ ), wohingegen die Korrelationen der anderen Sprungformen nicht signifikant waren (Counter-Movement-Jump:  $r^2 = .71; p = .074$ ; Squat Jump:  $r^2 = .14; p = .528$ ). Die individuelle Auswertung zeigte, dass die Athletin und der Athlet, die an internationalen Wettkämpfen teilnehmen, nach der Wettkampfsimulation sogar bessere Sprungkraftwerte als vor der Simulation aufwiesen. Zudem war bei ihnen ein geringerer Laktatanstieg nach der Belastung im Vergleich zu den nicht international startenden Athletinnen und Athleten zu beobachten.

Die Pre-Post-Werte vor und nach der Wettkampfsimulation können der nachfolgenden Tabelle 3 entnommen werden. Hier lässt sich

neben der typischen Laktatakkumulation ein geringfügiger ermüdungsbedingter Abfall der Sprungleistungen beobachten.

**Tabelle 3: Laktat- und Sprungkraftwerte vor und nach der Wettkampfsimulation**

Test	Pre (MW ± SD)	Post (MW ± SD)	Differenz (MW ± SD)
Laktat (mmol/l)	1,25 (0,41)	13,50 (2,4)	12,25 (2,6)
CMJ (cm)	32,46 (5,4)	31,80 (3,6)	0,66 (2,9)
SJ (cm)	30,81 (4,2)	30,72 (3,9)	0,09 (1,2)
DJ (cm)	26,89 (5,2)	26,69 (5,9)	0,2 (1,4)

Anmerkung: CMJ = Counter-Movement-Jump; SJ = Squat Jump; DJ = Drop-Jump

Die Berechnung der Fläche unter der jeweiligen Gewebesättigungskurve (area under the curve; AUC) zeigt, dass es im Vergleich zu den Kurven zu einer größeren Reoxygenierung auf den Geraden kommt. Dabei scheinen auch interindividuelle Unterschiede zu bestehen. Im Mittel wurde für das linke Bein auf der Geraden eine summierte AUC von 7.779 ( $\text{SmO}_2 \cdot \text{t}$ ) ermittelt, während für das rechte Bein auf der Geraden eine AUC von 6.509 ( $\text{SmO}_2 \cdot \text{t}$ ) festgestellt wurde. In Bezug auf die Kurven lässt sich eine AUC von 7.033 ( $\text{SmO}_2 \cdot \text{t}$ ) für das linke Bein und 6.013 ( $\text{SmO}_2 \cdot \text{t}$ ) für das rechte Bein ermitteln.

## 4 Diskussion

Das geplante Projekt hatte zum Ziel, die muskuläre Ermüdung im Eisschnelllauf über die Distanzen von 3.000 m sowie 5.000 m anhand der repetitiven Kraft einsätze (Höhe der Einzelimpulse) und der einsetzenden Desoxygenierung zu untersuchen. Die Beantwortung der eigentlichen Forschungsfrage wurde durch Schwierigkeiten mit den Kraftsensoren maßgeblich eingeschränkt, sodass diese Daten in der Auswertung nicht berücksichtigt werden konnten. Dennoch konnten im Rahmen des Projekts wesentliche Erkenntnisse für weitere Untersuchungen im Eisschnelllauf gewonnen werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die muskuläre Desoxygenierung über die Distanzen von 3.000 und 5.000 m im olympischen Eisschnelllauf analysiert. Weiterführend wurden die Messergebnisse mit den Resultaten der zuvor durchgeföhrten Kraft-, Sprungkraft- sowie Laktat tests in Beziehung gesetzt. Trotz der Tatsache, dass im Eisschnelllauf lediglich Linkskurven gefahren werden, konnten bei den Krafttests nur marginale Kraftunterschiede zwischen beiden Beinen festgestellt werden. Im Gegensatz dazu betrug die durchschnittliche Differenz der Gewebesättigung zwischen dem linken und dem rechten Bein während einer Wettkampfsimulation etwa 4,6 %.

Die Ergebnisse der Wettkampfsimulation zeigen weiterführend, dass es unmittelbar nach dem Start zu einem Abfall der Gewebesättigung von durchschnittlich 65,4 % auf 53,5 % (linkes Bein) und von 66,1 % auf 47,4 % (rechtes Bein) kommt. Dabei stellt sich auf diesem Level ein Steady State (gleichbleibende Sättigung) ein, das über den restlichen Rennverlauf bestehen bleibt. Während des Steady States konnte eine geringfügige Steigung der Gewebesättigung über die Zeit ermittelt werden, wobei eine marginale Zunahme von 1,2 % im linken und 3,8 % im rechten Bein zu verzeichnen war. Der Abfall der Gewebesättigung nach dem Start lässt sich

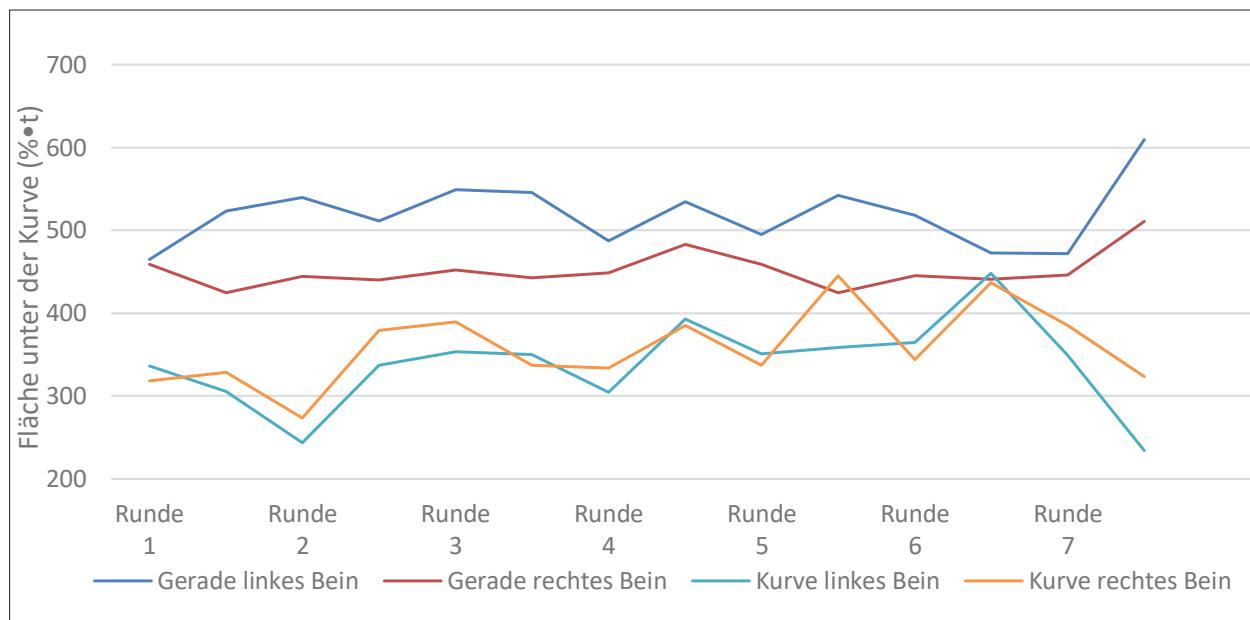


Abb. 5: Darstellung der Fläche unter der Kurve [AUC] am Beispiel einer 3.000-m-Skaterin. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass eine größere Sauerstoffverfügbarkeit auf den Geraden als in den Kurven vorhanden zu sein scheint.

u. a. auf die gebeugte Körperposition und den damit unterdrückten Blutfluss zurückzuführen. In diesem Kontext sei auf Untersuchungen anderer Forschungsgruppen verwiesen, die einen Zusammenhang zwischen der Körperposition und der Desoxygenierung der Muskulatur belegen (Rundell et al., 1995, 1996, 1997). Des Weiteren zeigen die erhobenen Daten, dass neben der Körperposition auch die Einzelabstöße zu einem Abfall der Gewebe-sättigung innerhalb des Steady States führen (vgl. Abb. 4).

Der geringfügige Anstieg der Gewebe-sättigung über die Zeit der Wettkampfsimulation könnte dabei durch eine ermüdungsbedingte Aufrichtung der Körperposition und somit durch eine verbesserte Durchblutung bedingt sein. Alternativ könnte die geringfügige Zunahme der Gewebe-sättigung auch durch eine weniger starke Desoxygenierung während der Einzelimpulse durch geringere Kraftstöße erklärt werden.

Die Charakteristik der Skate-Bewegung unterscheidet sich in den Kurven maßgeblich von der in den Geraden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den Kurven mehrere Cross-overs (Kreuzschritte) durchgeführt werden, wohingegen es auf der Geraden zu einer Gleitbewegung kommt. Die Kreuzschritte stellen dabei kurze Zwischen-schritte dar, welche ein möglichst schnelles Pas-sieren der Kurve ermöglichen. In der Gleitphase

auf der Geraden erfolgt eine vollständige und abwechselnde Be- und Entlastung der Beine bis zum erneuten Kurveneingang. Die vollständige Entlastung auf der Geraden führt zu einer kurzfristigen Reduktion der intramuskulären Spannung, wodurch eine Reoxygenierung der Muskulatur eintritt und eine kurzzeitig erhöhte Sauerstoffverfügbarkeit gewährleistet wird.

Trotz der unterschiedlichen Charakteristika der Bewegungsabläufe unterscheidet sich die durchschnittliche Gewebe-sättigung zwischen den Kurven und den Geraden nur geringfügig.

Zukünftig sollte ein weiteres Augenmerk auf die Erstellung von individuellen physiologischen Profilen gelegt werden, da in der vorliegenden Untersuchung große interindividuelle Unterschiede in der Charakteristik der Des- und Reoxygenierungsverläufe beobachtet werden konnten. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Charakteristik der Desoxygenierung der Muskulatur interindividuell stark variiert. Dies könnte einerseits durch unterschiedliche Leistungsniveaus und andererseits durch die leistungssporttypische Heterogenität erklärt werden. Dennoch weisen alle Desoxygenierungskurven eisschnellaufspezifische Merkmale auf, wie beispielsweise Unterschiede auf der Geraden, den Kurven oder Sättigungsabfall unmittelbar nach dem Start.

Die durchgeführten Korrelationsberechnungen lassen erste Rückschlüsse auf Zusammenhänge zwischen dem Grad der Desoxygenierung und Kraftwerten zu, die in zukünftigen Studien weiter untersucht werden sollten. Dennoch muss vorliegend angemerkt werden, dass die Korrelationsberechnungen aufgrund der geringen Probandinnen- und Probandenanzahl mit Vorsicht interpretiert werden sollten.

Zukünftig soll daher weiter an der Einsatzfähigkeit der Kraftsensoren für die Eisschnelllaufschuhe gearbeitet werden, um die Zusammenhänge der Einzelkraftimpulse und der Desoxygenierung der Muskulatur untersuchen zu können.

## 5 Literatur

- Allen, D. G., Lamb, G. D. & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287–332. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>.
- Behringer, M., Wahl, P., Schörkmaier, T., Fiebig, L., Müller, C., & Mester, J. (2018). Desoxygenierung der Muskulatur im Training und Wettkampf bei den Sportarten Ski Alpin und Snowboard. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung 2016/17 (S. 337–343). Zugriff unter: [https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Projektlisten/Projekte\\_2016/Serviceprojekte\\_2016/Behringer\\_072060\\_16\\_17.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Projektlisten/Projekte_2016/Serviceprojekte_2016/Behringer_072060_16_17.pdf?__blob=publicationFile&v=1).
- Foster, C., Rundell, K. W., Snyder, A. C., Stray-Gundersen, J., Kemkers, G., Thometz, N., Broker, J. & Knapp, E. (1999). Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(10), 1433. <https://doi.org/10.1097/00005768-199910000-00012>.
- Foster, C., Schrager, M., Snyder, A. C. & Thompson, N. N. (1994). Pacing Strategy and Athletic Performance. *Sports Medicine*, 17(2), 77–85. <https://doi.org/10.2165/00007256-199417020-00001>.
- Hermsdorf, M. & Hartmann, U. (2015). Energetische Anforderungen im Eisschnelllauf. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung 2013/14 (S. 105–115). Zugriff unter: [https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Jahrbuch/Jahrbuch\\_2013\\_2014\\_Gesamt.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Jahrbuch/Jahrbuch_2013_2014_Gesamt.pdf?__blob=publicationFile&v=1).
- Konings, M. J., Elferink-Gemser, M. T., Stoter, I. K., Van der Meer, D., Otten, E. & Hettinga, F. J. (2014). Performance Characteristics of Long-Track Speed Skaters: A Literature Review. *Sports Medicine*, 45(4), 505–516. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0298-z>.
- Muehlbauer, T., Schindler, C. & Panzer, S. (2010). Pacing and Performance in Competitive Middle-Distance Speed Skating. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 81(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/02701367.2010.5099622>.
- Noordhof, D. A., Foster, C., Hoozemans, M. J. M. & De Koning, J. J. (2013). Changes in Speed Skating Velocity in Relation to Push-Off Effectiveness. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 8(2), 188–194. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.8.2.188>.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F. & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *AJP Regulatory Integrative And Comparative Physiology*, 287(3), R502–R516. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00114.2004>.

- Rundell, K. & Pripstein, L. (1995). Physiological Responses of Speed Skaters to Treadmill Low Walking and Cycle Ergometry. *International Journal Of Sports Medicine*, 16(05), 304–308. <https://doi.org/10.1055/s-2007-973010>.
- Rundell, K. W. (1996). Compromised oxygen uptake in speed skaters during treadmill in-line skating. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(1), 120–127. <https://doi.org/10.1097/00005768-199601000-00023>.
- Rundell, K. W., Nioka, S. & Chance, B. (1997). Hemoglobin/myoglobin desaturation during speed skating. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(2), 248–258. <https://doi.org/10.1097/00005768-199702000-00014>.
- Saltin, B., Rådegran, G., Koskolou, M. D. & Roach, R. C. (1998). Skeletal muscle blood flow in humans and its regulation during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(3), 421–436. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.1998.0293e.x>.
- Takenaka, S., Yuki, M. & Fujii, N. (2011). The analysis of race pacing in elite competitive long-distance speedskating. *Isbs - Conference Proceedings Archive*, 1(1). <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/download/4855/4495>.
- Van Ingen Schenau, G. (1982). The influence of air friction in speed skating. *Journal Of Biomechanics*, 15(6), 449–458. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(82\)90081-1](https://doi.org/10.1016/0021-9290(82)90081-1).
- Van Ingen Schenau, G. J., De Koning, J. J. & De Groot, G. (1990). A simulation of speed skating performances based on a power equation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(5), 718–728. <https://doi.org/10.1249/00005768-199010000-00026>.
- Vogt, M., Puntschart, A., Angermann, M., Jordan, K., Spring, H. & Mueller, E. (2005). Metabolische Konsequenzen eines wettkampfmässigen Slalomtrainings bei Nachwuchs-Skiathleten. *Leistungssport*, 35(2), 48–54.
- Wigmore, D. M., Damon, B. M., Pober, D. M. & Kent-Braun, J. A. (2004). MRI measures of perfusion-related changes in human skeletal muscle during progressive contractions. *Journal Of Applied Physiology*, 97(6), 2385–2394. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01390.2003>.

# Monitoring what matters – ein systematischer, partizipativer Ansatz zur Einführung eines Athletinnen- und Athletenmonitoringsystems in der Deutschen Eisschnelllauf- und Shorttrack-Gemeinschaft

AZ 072017/23

*Prof. Dr. Eric Eils (Projektleitung)*

*Matthias Hendricks, Dr. Ross Julian (Projektmitarbeiter)*

Projektpartner: Universität Münster, Institut für Sportwissenschaft, AB Neuromotorik & Training, Deutsche Eisschnelllauf Gemeinschaft e.V. (DESG)

## 1 Problem

Das Monitoring der Trainingsbelastung ist für ambitionierte Sportlerinnen und Sportler (Aktive), Trainerinnen und Trainer sowie für die Trainingswissenschaft insgesamt von besonderer Bedeutung, um individuelle Reaktionen der Aktiven auf das Training zu verstehen, ihre Ermüdung zu bewerten, das Training anzupassen und das Verletzungsrisiko zu minimieren. Ein umfassendes Athletinnen- und Athleten-monitoring (AMS), welches neben gesundheits-spezifischen Aspekten auch Parameter des Ermüdungs- und Regenerationsstatus umfasst, wurde in der DESG noch nicht eingesetzt. Für die DESG war es daher von herausragendem Interesse, zeitnah ein verbandsübergreifendes, umfassendes AMS-System in den Kaderstrukturen zu etablieren.

Das Eisschnelllauftraining umfasst verschiedene Trainingsmittel, z. B. Eistraining, Krafttraining, Radtraining, mit ebenso unterschiedlicher Beanspruchung auf das muskuloskelettale oder das kardiovaskuläre System. Zur differenzierten, subjektiven Einschätzung der Beanspruchung dieser Systeme bietet sich die differenzierte RPE Methode an. In der Literatur wurde bisher keine einheitliche Gold-Standard-Methode zur Messung der Trainingsbelastung oder -intensität für die Sportart Eisschnelllauf beschrieben. Zudem zeigen sich im Allgemeinen immer wieder Hindernisse bei der Implementierung eines AMS in der Sportpra-

xis, die eine regelmäßige Nutzung erschweren und somit die Interpretation der erhobenen Daten beeinträchtigen (Bourdon et al., 2017). Dieses Forschungsprojekt sollte die DESG bei der Entwicklung und Etablierung eines AMS unterstützen.

## 2 Methode

Ein schrittweises Vorgehen zur Entwicklung und Implementierung des AMS wurde realisiert. Zunächst wurde eine anonymisierte Online-Befragung über SoSci Survey (SoSci Survey GmbH, München) unter Aktiven in der DESG durchgeführt. Der Fragebogen enthielt vier Oberthemen: i) allgemeine Einschätzung zum Athletinnen- und Athletenmonitoring, ii) aktuelle/vorherige Datenerhebung, iii) Entwicklung und Einsatz in der DESG sowie iv) potenzielle Herausforderungen und Hindernisse. Die Fragen wurden mittels einer Likert-Skala (1-5, mit verbalen Ankern an den Enden), Rankings und Freitextfeldern beantwortet, wobei Fragebögen aus vergleichbaren Projekten als Vorlage zur Erstellung dienten (Akenhead & Nassis, 2016). Die Eingaben wurden mittels Summierung und Gewichtung einzelner Antworten analysiert. Zwölf semistrukturierte Interviews zu den Oberthemen Wahrnehmung, Meldung, Management und Prävention von Verletzungen im Eisschnelllauf und die Rolle eines AMS dabei wurden durchgeführt. Vorläufige Ergebnisse sind in die Erstellung des AMS eingeflossen.

Für das Athletinnen- und Athletenmonitoring wurde die Online-Anwendung REGmon genutzt (Strotkötter et al., 2023). Basierend auf Befragungsergebnissen, Literaturrecherche und Feedback aus der Sportpraxis wurden drei Eingabeformulare erstellt:

1. Wohlbefinden: tägliche Abfrage zum Ruhepuls, Schlafstunden, Bereitschaft zum Training und die vier Aspekte des Hooper-Index, (Hooper et al., 1995).
2. Trainingsdokumentation: Erfassung von Trainingsart und -dauer, subjektivem Belastungsempfinden (Büscher et al., 2022; Foster et al., 2001), Schmerzen und Notizen.
3. Gesundheitsmonitoring: eine an REGmon angepasste Version des OSTRC-H2-Fragebogens (Clarsen et al., 2020; Oslo Sports Trauma Research Center Overuse Injury Questionnaire (OSTRC-O)), wöchentliche Abfrage.

Das subjektive Belastungsempfinden wurde für jede Trainingsart differenziert über drei Dimensionen abgefragt: i) gesamter Körper, ii) Atmung/Herzkreislaufsystem, iii) Beine (McLaren et al., 2016). Es wurden Unterschiede in den Dimensionen in Abhängigkeit von der Trainingseinheit analysiert.

Nach einer sechswöchigen Pilotphase wurde das System im Juli 2023 in einem Workshop allen Aktiven im Nachwuchskader 1 (NK1) sowie deren Trainerinnen und Trainern vorgestellt. In einem weiteren Treffen im September 2023 wurden die Ergebnisansichten mit den Aktiven diskutiert. Basierend auf wissenschaftlichen Empfehlungen wurden für die Parameter Ruheherzfrequenz und Hooper-Index gleitende Mittelwerte (28 Tage) sowie individuelle obere und untere Grenzwerte (+/- 0,5 SD) in die Diagramme integriert.

Das Nutzungsverhalten der Aktiven wurde anhand verschiedener Parameter analysiert. Dazu gehörten die Anzahl der Anmeldungen zum Nutzerkonto, die Rücklaufquote des Formulars zum Wohlbefinden (definiert als das Ver-

hältnis der tatsächlich ausgefüllten Formulare zur maximal möglichen Anzahl auszufüllender Formulare).

Interpretationsansätze zu den erhobenen Daten wurden mit den Bundes- und Stützpunkttrainerrinnen und -trainern auf Einzelfallbasis besprochen und als allgemeine Handlungsempfehlungen zur weiteren Nutzung aufgearbeitet.

### 3 Ergebnisse

#### Fragebogen

Ausgewertet wurden Fragebögen von 26 Aktiven (Alter: 18,5 +/- 4,4 Jahre, n=15 weiblich, alle mit Teilnahme an nationalen Wettkämpfen). Von den Befragten hielten ca. 60% den Einsatz eines AMS zur optimalen Trainingssteuerung und Vermeidung von gesundheitlichen Problemen als wichtig oder sehr wichtig. Abbildung 1 zeigt die von Aktiven genannten Anforderungen an ein AMS, Abbildung 2 die im Vorfeld empfundenen Hindernisse hinsichtlich der Einführung eines AMS.

#### Nutzungsverhalten

Analysiert wurde ein Zeitraum von 162 Tagen (August 2023 bis Januar 2024). Die Rücklaufquote des täglichen Fragebogens zum Wohlbefinden lag bei 42%, was 1.360 ausgefüllten Fragebögen entspricht. Unter den aktiven Teilnehmenden wiesen neun Personen eine individuelle Rücklaufquote von mehr als 60% auf, während zehn Personen eine Quote von weniger als 20% verzeichneten. Im Mittel meldeten sich die Aktiven etwa 82 Mal im System an, wobei zehn von ihnen sich insgesamt weniger als 50 Mal anmeldeten. Rund die Hälfte aller Einträge zum Wohlbefinden wurden am selben Tag oder einen Tag nach dem einzutragenden Event getätigt.

#### Datenbasierte Entscheidungsfindung im Monitoring

Im Projekt konnten über Kombination und Visualisierung der abgefragten Parameter (z. B.

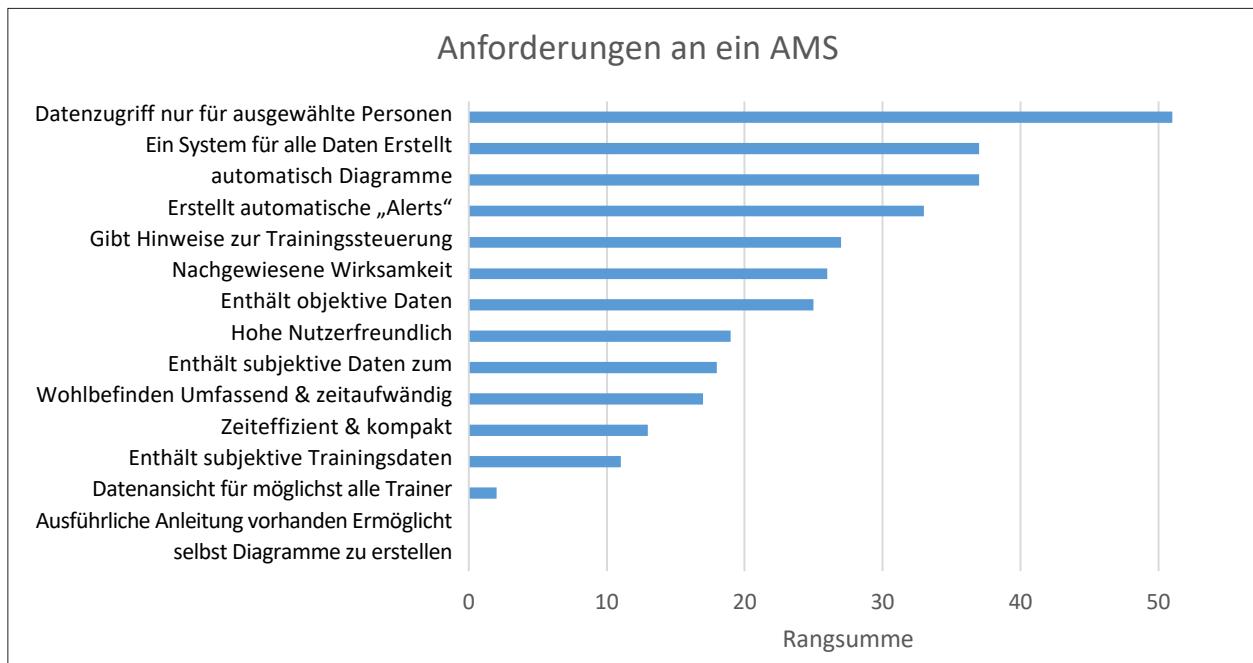


Abb. 1: Anforderungen der Aktiven an ein AMS, Dargestellt sind die Anforderungen in Rangsummen (gebildet aus den drei wichtigsten von Aktiven genannten Anforderungen). Dabei erhielt die wichtigste Anforderung 3 Punkte, die an zweiter Stelle genannte Anforderung 2 Punkte und die an dritter Stelle genannte Anforderung einen Punkt.

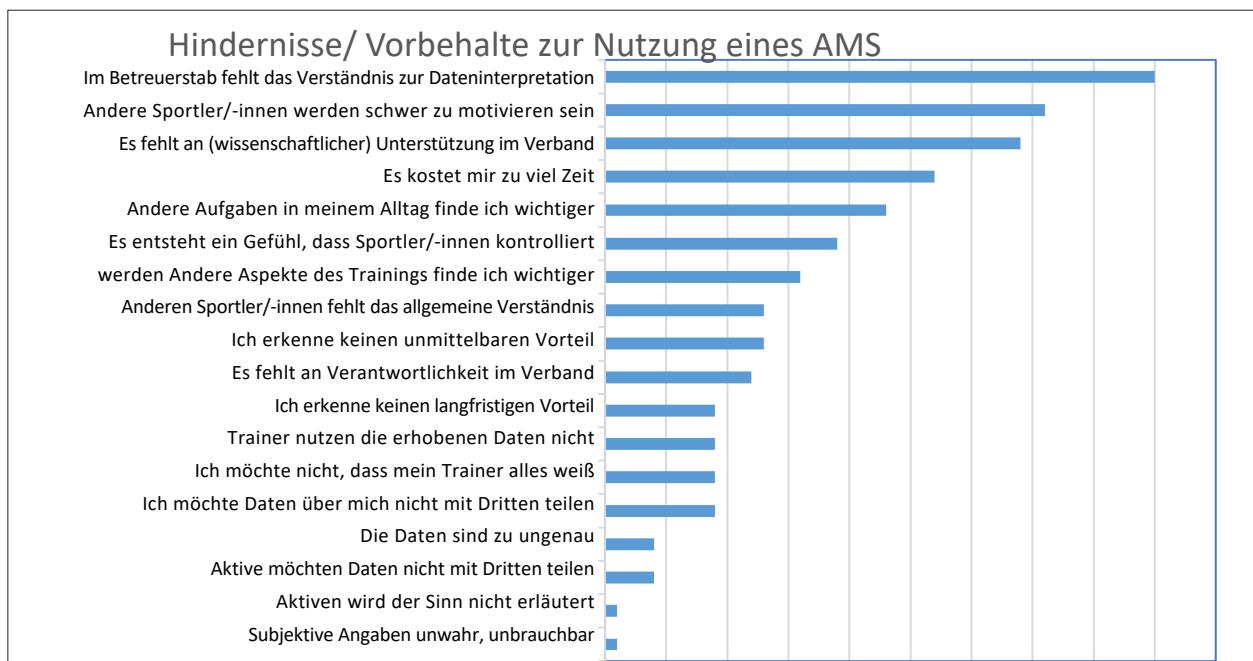


Abb. 2: Hindernisse und Vorbehalte zur Nutzung eines AMS in der DESG. Dargestellt sind die Rangsummen (gebildet aus den drei wichtigsten von Aktiven genannten Hindernissen). Dabei erhielt das wichtigste Hindernis 3 Punkte, das an zweiter Stelle genannte Hindernis 2 Punkte und das an dritter Stelle genannte Hindernis einen Punkt.

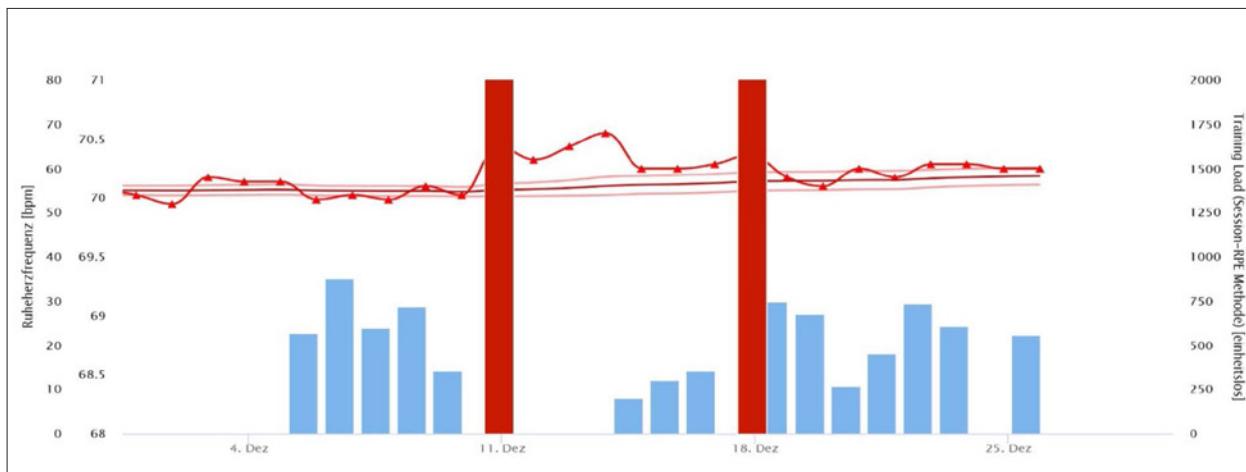


Abb. 3: Ruheherzfrequenz, Krankheitssymptome und Trainingsload dargestellt in einem erstellten Diagramm aus REGmon. Blaue Balken zeigen den Trainingsload (session RPE-Methode), die roten Balken die wahrgenommenen Krankheitssymptome. Die roten Dreiecke stellen die täglich Ruheherzfrequenz dar, die dicke dunkelrote Linie den rolligen Mittelwert (über 28 Tage) der Ruheherzfrequenz mit der individuellen oberen und unteren Grenze (hellrote Linie, errechnet über 0,5 SD der Ruheherzfrequenz). Sichtbar wird die erhöhte, individuelle Ruheherzfrequenz im zeitlichen Zusammenhang zur Kankheit.

Gesundheit und Ruheherzfrequenz) Ansätze zur datengestützten Trainingssteuerung herausgearbeitet werden.

So wurden über den OSTRC-H-Fragebogen bei neun Aktiven insgesamt 28 Wochen registriert, in denen die Aktiven Krankheitssymptome erfahren haben. Es ist bekannt, dass die Ruheherzfrequenz während fiebriger Krankheiten und Infektionen im Vergleich zum Normalwert erhöht ist (Karjalainen & Viitasalo, 1986). Im Rahmen des Monitorings zeigten die individuellen Diagramme (siehe Abbildung 3) in 17 Fällen eine erhöhte Ruheherzfrequenz in Wochen mit registrierten Krankheitssymptomen, die durch Datenpunkte oberhalb der individuellen Grenzwerte der Aktiven definiert war. Mit den Trainierinnen und Trainern wurde daraufhin auf Einzelfallbasis diskutiert, wie die Ruheherzfrequenz nach Erkrankungen zur Entscheidungsfindung in der Trainingssteuerung im Eisschnelllauftraining genutzt werden könnte.

## Subjektives Belastungsempfinden

Es können Einträge aus 904 Trainingseinheiten von neun Aktiven herangezogen werden. Bei 516 Einheiten wurden unterschiedliche RPE Werte zwischen RPE-Gesamt und RPE-Beinen eingegeben, bei 499 Einheiten unterschiedliche Werte zwischen RPE-Gesamt und RPE-Atmung

und bei 584 Einheiten unterschiedliche Werte zwischen RPE-Beine und RPE-Atmung. Hierbei zeigt sich, dass RPE Werte der Beine im Durchschnitt höher liegen als Werte für den gesamten Körper und Werte für die Atmung.

## Evaluation Monitoring

Der Fragebogen zur REGmon-Evaluation wurde von zwölf Aktiven ausgefüllt. Neun gaben an, REGmon regelmäßig genutzt zu haben. Elf Aktive fanden ausreichende Unterstützung bekommen zu haben, um die Hintergründe und Anwendung des Monitoring zu verstehen. Die durchschnittliche, subjektive, wöchentliche Nutzungsdauer betrug circa 45 Minuten, wobei 25% der Aktiven dies als hohe zeitliche Belastung empfanden. Zwei Drittel wünschten sich mehr Rückmeldung zu den in REGmon hinterlegten Daten. Ebenso viele berichteten von einem eher geringen oder gerin- gen Einfluss auf ihr Training. Vorherrschende wahrgenommene Hindernisse für eine erfolgreiche Anwendung von REGmon waren, dass Aktive keine unmittelbaren oder langfristigen Vorteile erfahren haben, sowie die Priorisierung anderer Aspekte des Trainings oder Alltagsaufgaben. Zwei Drittel der Nutzer zeigten Interesse an einer zukünftigen Nutzung von REGmon mit verschiedenen wahrgenommenen Vorteilen.

## 4 Diskussion (unter Berücksichtigung von Transfer und Praxis)

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurde in Kooperation mit der DESG ein individuelles und engmaschiges AMS für die Sportartpraxis entwickelt und bei den Nachwuchskadern eingeführt. Dabei sind über einen partizipatorischen Ansatz Wünsche aus der Sportpraxis unmittelbar in das AMS eingeflossen. Die genutzte Software REGmon stellt zu diesem Zweck umfangreiche Möglichkeiten bereit und subjektive Daten können vergleichsweise niederschwellig bei den Aktiven erhoben und auf Einzelfallbasis prägnant dargestellt werden. Der Erfolg der Einführung muss jedoch dezentriert betrachtet werden.

Hinsichtlich der Implementierung des AMS lässt sich zusammenfassen, dass die Aktiven eine Anwendung überwiegend als wichtig empfinden und sich ausreichend auf Hintergründe und Anwendung vorbereitet fühlen. Trotzdem nutzte nur die Hälfte der eingeladenen Aktiven aus dem NK1 das AMS regelmäßig durchgängig oder zeitweise während der Projektlaufzeit. Die genannten Hauptgründe, warum Aktive das AMS nicht genutzt haben, sind fehlende Rückmeldung zu den Daten seitens der Trainerinnen und Trainer sowie möglicherweise daraus resultierend eine fehlende wahrgenommene Wirksamkeit. Eine Rückmeldung kann allerdings nur sinnvoll gegeben werden, wenn tagesaktuell Daten mit einbezogen werden können. Unsere Auswertung zum Nutzungsverhalten des Fragebogens zum Wohlbefinden zeigt hierzu eine Quote tagesaktueller Daten von etwas mehr als 50%. An dieser Stelle ist zu bemerken, dass in den Strukturen der DESG Heimtrainerinnen und Heimtrainer am Stützpunkt die Schlüsselpersonen sind, um datenbasierte Entscheidungen für die Trainingspraxis zu treffen. Dabei ist zu beachten, dass das aktive Durchführen eines Athletenmonitorings für die Trainerinnen und Trainer zunächst zusätzlichen zeitlichen und organisatorischen Aufwand bedeutet. Semistrukturierte Interviews ergaben zum Beispiel, dass Verletzungs- und Krankheitssymptome täglich und

direkt kommuniziert werden (verbal oder über Textnachrichten). Diese Informationen scheinen für Trainerinnen und Trainer unmittelbar und effizient zur Trainingssteuerung genutzt werden zu können. Langfristige Muster sind allerdings nur schwierig zu analysieren, wenn keine Quantifizierung und umfassende Dokumentation stattfindet. Bei Aktiven mit nahezu vollständigen Datensätzen zeigte sich, dass beispielsweise über das engmaschige Monitoring der Ruheherzfrequenz, Trainingsbelastung und des Gesundheitsstatus deskriptiv und auf Einzelfallbasis im Saisonverlauf Zusammenhänge erkennbar sind. Diese werden zur Erarbeitung konkreter Interpretationsansätze und Handlungsempfehlungen für die Sportpraxis genutzt und sollen in die Aus- und Fortbildung für Trainerinnen und Trainer einfließen. Hiermit soll mittelfristig das Verständnis, die Akzeptanz und Motivation hinsichtlich eines Athletinnen- und Athletenmonitorings schrittweise erhöht werden. Deskriptive Analysen zeigen, dass Aktive in zahlreichen Trainingseinheiten ein differenzierteres Empfinden zwischen der Belastung für den gesamten Körper (RPE-Gesamt), für die Beine (RPE-Beine) und für die Atmung (RPE-Atmung) aufweisen. Diese Erkenntnisse könnten genutzt werden, um verschiedene Belastungspfade im Eisschnelllauftraining gezielt zu quantifizieren.

## 5 Literatur

- Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *International journal of sports physiology and performance*, 11(5), 587–593. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0331>.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International journal of sports physiology and performance*, 12(Suppl 2), 2161–2170. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208>.

Büschen, D., Uttesch, T., & Marschall, F. (2022). Entwicklung und Evaluation der Anstrengungsskala Sport. German Journal of Exercise and Sport Research, 52(1), 173–178. <https://doi.org/10.1007/s12662-021-00757-z>.

Clarsen, B., Bahr, R., Myklebust, G., Andersson, S. H., Docking, S. I., Drew, M., Finch, C. F., Fortington, L. V., Harøy, J., Khan, K. M., Moreau, B., Moore, I. S., Møller, M., Nabhan, D., Nielsen, R. O., Pasanen, K., Schwellnus, M., Soligard, T., & Verhagen, E. (2020). Improved reporting of overuse injuries and health problems in sport: An update of the Oslo Sport Trauma Research Center questionnaires. British journal of sports medicine, 54(7), 390–396. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101337>.

Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. Journal of Strength and Conditioning Research, 15(1), 109–115.

Friman, G., & Wesslén, L. (2000). Infections and exercise in high-performance athletes. Immunology and Cell Biology, 78(5), 510–522. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1711.2000.t01-12-x>.

Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A., Gordon, R. D., & Bachmann, A. W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. Medicine & Science in Sports & Exercise, 27(1), 106.

Karjalainen, J., & Viitasalo, M. (1986). Fever and cardiac rhythm. Archives of Internal Medicine, 146(6), 1169–1171.

McLaren, S. J., Graham, M., Spears, I. R., & Weston, M. (2016). The Sensitivity of Differential Ratings of Perceived Exertion as Measures of Internal Load. Int J Sports Physiol Perform, 11(3), 404–406. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0223>.

# Überprüfung der Leistungs- und Regenerationsfähigkeit in Abhängigkeit des Menstruationszyklus von Elite-Athletinnen des Bundesverbandes deutscher Gewichtheberinnen

AZ 072018/23

*Dr. Eduard Isenmann (Projektleitung)*

*Paul Schatz (Projektunterstützung)*

Deutsche Sporthochschule Köln

## 1 Problem

Die Verbesserung der sportlichen Leistungsfähigkeit ist ein zentraler Gegenstand des Trainings und der Forschung im Leistungssport. Obwohl Frauen in Sportwettkämpfen zunehmend Beachtung finden, beziehen sich nur vier bis 13 Prozent der veröffentlichten Studien ausschließlich auf Frauen (Costello et al., 2014). Auch das IOC möchte diesem gesellschaftlichen Trend Rechnung tragen und schreibt im „Gender Equality & Inclusion Report 2021“, dass die Geschlechter in der Forschung gleichbehandelt und repräsentiert werden sollen. Obwohl sich auch in der Vergangenheit schon verschiedene internationale Forscherinnen und Forscher und Forschungsgruppen mit diesem Thema auseinandergesetzt haben (Thompson et al., 2020), konnten bisher noch keine genauen Trainingsempfehlungen für menstruierende Sportlerinnen gegeben werden. Von diesen ersten Erkenntnissen können keine Rückschlüsse oder Übertragungen auf kraftsporterfahrenen oder Elite-Athletinnen getroffen werden. Das vorliegende Forschungsvorhaben zielt daher auf die Schließung dieser Forschungslücke ab und fokussiert explizit weibliche Elite Athletinnen aus dem Gewichtheben.

Folgende Fragestellungen wurden durch das geplante Projekte untersucht:

1. Welchen Einfluss haben die unterschiedlichen Zyklusphasen (Mense, Follikelphase, Ovulationsphase, Lutealphase) auf die Leistungsfähigkeit bei Elite-Athletinnen nach intensiven Trainingseinheiten?
2. Welchen Einfluss haben die unterschiedlichen Zyklusphasen (Mense, Follikelphase, Ovulationsphase, Lutealphase) auf den subjektive Erholungs-Beanspruchungszustand bei Elite-Athletinnen nach intensiven Trainingseinheiten?

## 2 Methoden

### 2.1 Probandinnen

Für diese Untersuchung wurden insgesamt acht Spitzenathletinnen der deutschen Gewichtheber-Nationalmannschaft rekrutiert (Alter:  $24,5 \pm 5,3$  Jahre; Körpergewicht  $72,0 \pm 11,0$  kg). Alle Teilnehmerinnen hatten einen regelmäßigen MZ (Zykluslänge zwischen 21-35 Tagen) von mindestens 3 Monaten und verwendeten keine hormonellen Verhütungsmittel (Pille, Hormonspiration etc.) oder hatten prämenstruelle Symptome.

## 2.2 Studiendesign und -ablauf

Der gesamte Untersuchungszeitraum erstreckte sich über sechs Monate (Mitte Mai 2023 bis Mitte November 2023), konnte wie geplant durchgeführt werden und wurde in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase (Mai bis August) wurde der MZ temperaturbasiert (OvulaRing) und kalendarisch überwacht sowie die Kraftfähigkeit in der tiefen Kniebeuge (hinten) geschwindigkeitsbasiert (ENODE Sensor, BM Sports Technology GmbH, Magdeburg) überprüft. In der zweiten Untersuchungsphase (August - November) wurde zusätzlich alle zwei Tage eine Speichelprobe zur Bestimmung verschiedener Hormonkonzentrationen (Östradiol, Progesteron, Testosteron, Cortisol) entnommen. Während des gesamten Zeitraums wurde mindestens einmal pro Woche eine Kniebeuge (hinten) durchgeführt. Die Erholungsfähigkeit wurde mit der Short Recovery and Stress Scale (SRSS) gemessen.

## 2.3 Monitoring Menstruationszyklus

Die Teilnehmerinnen haben ihren Menstruationszyklus über einen Zeitraum von sechs Monaten kalendarisch aufgezeichnet. Zusätzlich wurde die Körperkerntemperatur kontinuierlich gemessen. Der Anstieg der Körperkerntemperatur ist somit ein Indikator für den Eisprung. Die Messung der Körperkerntemperatur erfolgte mit dem OvulaRing (VivoSensMedical GmbH, Leipzig). Durch die zuverlässige Detektion der Ovulation ist eine valide Einteilung in Zyklusphasen möglich.

Ergänzend wurde in Phase 2 in drei Monaten alle zwei bis drei Tage eine Speichelprobe am Morgen entnommen (10 Messzeitpunkte), um Hormonkonzentrationen (Östradiol, Progesteron, Testosteron und Cortisol) zu erfassen.

Die erhobenen Daten wurden anschließend sieben Subphasen des MZ nach Anckaert et al. (2021) zugeordnet: frühe Follikelphase (ef = early follicle), mittlere Follikelphase (if = intermittent follicle), späte Follikelphase (lf = late follicle), Ovulation (O), frühe Lutealphase (el = early luteal), mittlere Lutealphase (il = intermittent luteal), späte Lutealphase (ll = late luteal) (Anckaert et al. 2021).

## 2.4 Überprüfung der Kraftfähigkeit und Training

Die Kraftfähigkeit wurde mithilfe eines Geschwindigkeitssensors in der tiefen (hinteren) Kniebeuge (e1RM) gemessen. Die Kniebeuge wurde mindestens einmal pro Woche durchgeführt.

Die Erhebung der Hantelgeschwindigkeit ist eine in der Trainingswissenschaft etablierte Methode zur Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit (Garcia Ramos & Jaric, 2017). Die Hantelgeschwindigkeit wurde verwendet, um das tagesgenaue Leistungsniveau der Athletinnen zu bestimmen.

Während der gesamten Intervention trainierten die Frauen weiterhin nach den Anweisungen ihrer National- und Stützpunkttrainer. Dabei wurden die Trainingswochen von den National- und Stützpunkttrainern in drei Kategorien unterteilt:

- › Gesenkte Woche = geringe Belastungsintensität
- › Mittlere Woche = moderate Belastungsintensität
- › Hohe Woche = hohe Belastungsintensität

## 2.5 Fragebogen Erholungs-Belastungszustand

Zur Überprüfung des subjektiven Erholungszustands wurde an den Trainingseinheiten mit der tiefen Kniebeuge der Short Recovery and Stress Scale (SRSS) verwendet (Nässi et al., 2017). Der Wert 0 bedeutet keine Zustimmung und der Wert 6 bedeutet volle Zustimmung.

## 2.6 Ernährungsgewohnheiten

Die Athletinnen wurden in regelmäßigen Abständen befragt, ob sie sich gerade in einer Aufbau- oder in einer Diätphase befinden. Nach Aussagen der National- und Stützpunkttrainerinnen und -trainer war über den gesamten

Zeitraum keine Aufbau- oder Diätphase für die Individuen geplant.

## 2.7 Statistische Auswertung

Statistische Analysen wurden mit RStudio (Version 2022.07.2; PBC) durchgeführt. Die anthropometrischen Daten wurden direkt ausgewertet. Zur Überprüfung der Normalverteilung wurden die Daten (e1RM, E2, Progesteron, Testosteron, Cortisol) mithilfe eines optischen Q-Q-Plots analysiert. Lineare gemischte Modelle (LMM) wurden verwendet, um den Einfluss der einzelnen Zyklusphasen und Trainingswochen (tw) auf die e1RM zu testen. Die Zeit (ti) wurde als Kovariate verwendet, um zu testen, ob sie einen signifikanten Einfluss auf e1RM hat. LMMs wurden für das absolute e1RM durchgeführt. In der LMM wurden die Zyklusphase, ti und tw als feste Effekte und die Individuen als randomisierte Effekte deklariert. Für den SRSS wurde ein Bayessches kumulatives Modell (BCM) verwendet, um den Einfluss der einzelnen Zyklusphasen und tw auf die Fragebogenparameter zu testen. Im BCM wurden Zyklusphase und tw als feste Effekte und Individuen als randomisierte Effekte deklariert. Dabei wurden die Ergebnisse der frühen Follikelphase und der gesunkenen Trainingswoche mit den Daten der anderen Subphasen und Trainingswochen verglichen.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Monitoring Menstruationszyklen

Insgesamt wurden 41 von 56 (73%) potenzielle Menstruationszyklen der Athletinnen mittels Ovularing sowie mit Speichelproben erfasst (nur von August bis November). Bei 4 Zyklen (8%) fehlen entweder die Daten vom Ovularing oder Speichelproben. 11 Zyklen (23%) fehlen komplett.

Die durchschnittliche Zykluslänge der Athletinnen betrug  $27,0 \pm 2,5$  Tage. Es konnten keine signifikanten Temperaturunterschiede der Körperkerntemperatur in den Zyklusphasen

festgestellt werden. Mithilfe des OvulaRings konnte festgestellt werden, dass insgesamt 9 Zyklen (16%) anovulatorisch waren.

### 3.2 Hormon-Konzentrationen

Nach Auswertung der Speichelproben konnte eine circadiane Rhythmisierung nach Anckaert et al. (2021) für Estradiol und Progesteron festgestellt werden.

Ein ähnlicher Verlauf wie für Estradiol konnte auch für Testosteron beobachtet werden. Bei den Cortisolkonzentrationen konnten ebenfalls unterschiedliche Schwankungen festgestellt werden, die jedoch nicht mit den Estradiol- oder Testosteronkonzentrationen übereinstimmen (Abbildung 1).

### 3.3 Kraftfähigkeit

Die durchschnittliche Kraftfähigkeit der Athletinnen betrug  $153,0 \pm 12,9$  kg in der Kniebeuge hinten ( $209 \pm 27$  %). Durchschnittsgewicht der Athletinnen betrug  $72 \pm 11$  kg. Es konnte kein signifikanter Unterschied in der Kraftfähigkeit in Abhängigkeit von den Zyklusphasen festgestellt werden ( $p > 0,05$ ). Eine statistische Auswertung für jedes Individuum konnte aufgrund zu weniger Messungen pro Zyklusphase nicht durchgeführt werden.

Betrachtet man die Kraftfähigkeit in Abhängigkeit von der MZ-Phase und der Trainingswoche, so konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Athletinnen sind in der späten Lutealphase (II) während einer mittleren Trainingswoche signifikant schwächer als in der frühen Follikelphase und in einer niedrigen Trainingswoche ( $p = 0,003$ ). Alle anderen Kombinationen von Zyklusphase und Trainingswoche auf die Kraftfähigkeit sowie die Zeit zeigten keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 2).

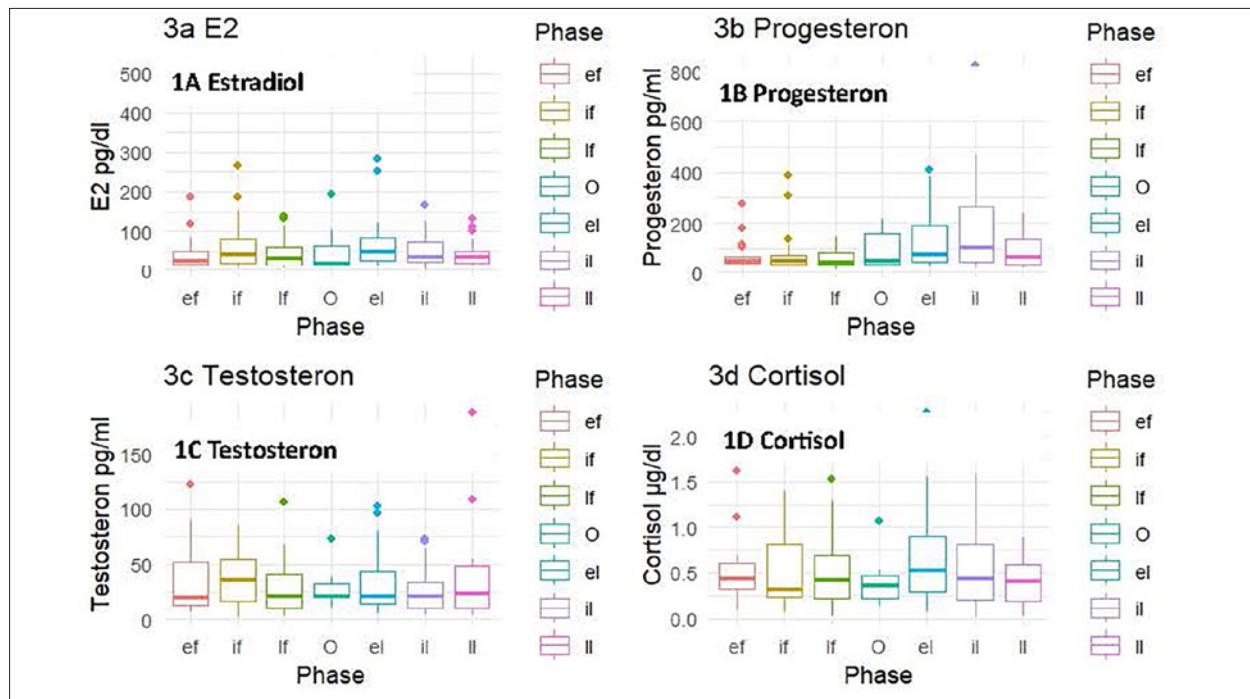


Abb.1: Hormonverläufe über Zyklusphasen

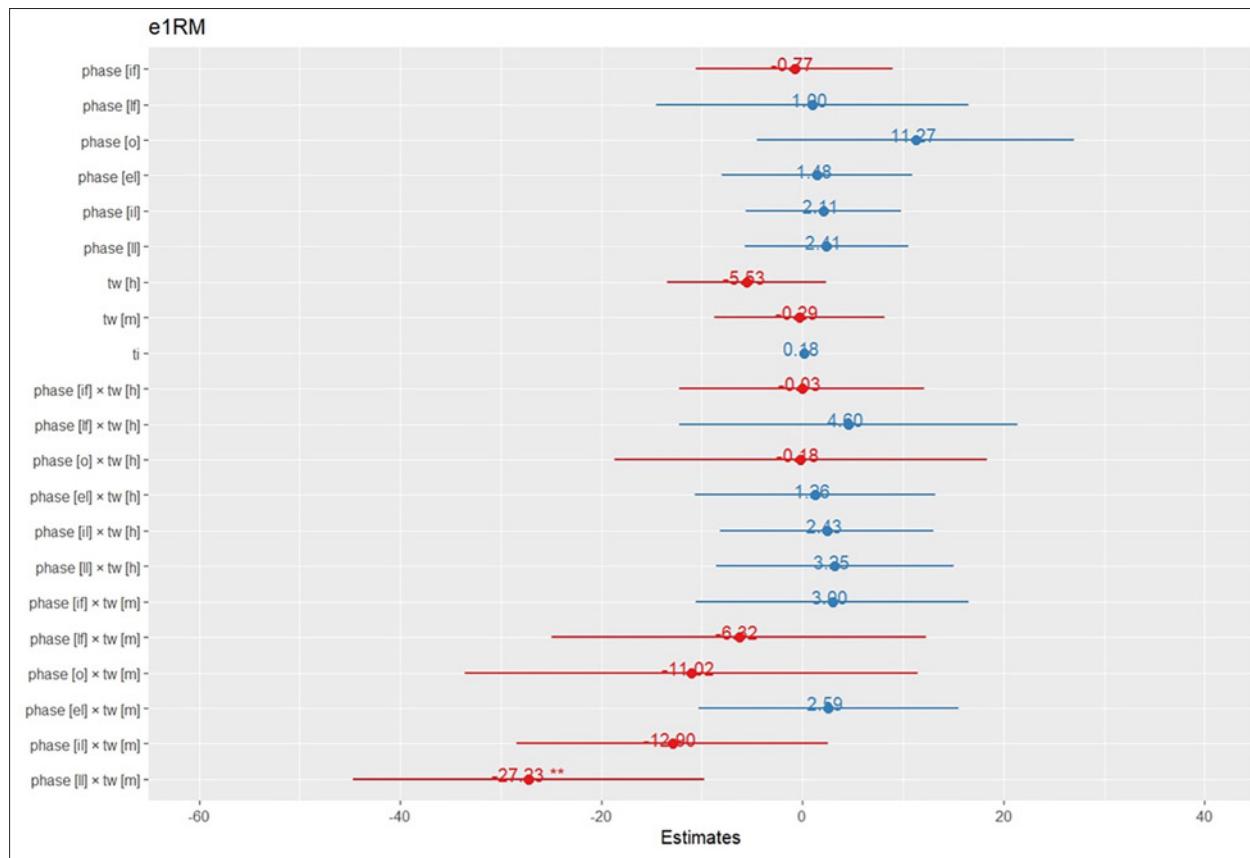


Abb. 2: Kraftfähigkeit in Abhängigkeit der Zyklusphase und Trainingswoche in Bezug auf die frühe Folikelphase und einer gesenkten Woche. Signifikanter Unterschied wurde mit \* markiert. ef = early follicle, if = intermittent follicle, lf = late follicle, o = Ovulation

### **Short recovery stress scale (SRSS)**

Es wurden keine signifikanten Veränderungen des SRSS zwischen den Zyklusphasen und Trainingswochen über den gesamten Untersuchungszeitraum festgestellt ( $p>.05$ ).

## Diskussion

Es konnte keine signifikante Veränderung der Kraftfähigkeit und des subjektiven Empfindens in Abhängigkeit vom Menstruationszyklus festgestellt werden. Eine signifikante Veränderung der Leistungsfähigkeit konnte nur in Abhängigkeit von der Zyklusphase und der Trainingswoche festgestellt werden. In der späten Lutealphase mit einer mittleren Trainingswoche war die Kraftfähigkeit signifikant geringer als in der frühen Folikelphase mit einer gesenkten Trainingswoche.

Vor allem Daten von Spitzenathletinnen und der Einfluss des Menstruationszyklus sind kaum vorhanden (Meigné et al., 2021). Ein signifikanter Einfluss des Menstruationszyklus auf die Kraftfähigkeiten konnte nicht beobachtet werden und steht im Einklang mit aktuellen Ergebnissen bei Nicht-SpitzenSportlerinnen (McNulty et al., 2020). Wird die Zyklusphase mit der Trainingswoche zusammen betrachtet, konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der späten Lutealphase mit einer mittleren Woche und der frühen Folikelphase mit einer gesenkten Woche festgestellt werden. Diese Beobachtung ist die erste, die sowohl die Zyklusphasen als auch die Trainingsplanung berücksichtigt. Vergleichbare Daten aus anderen Sportarten liegen derzeit nicht vor. Im Spitzensport ist es jedoch entscheidend, die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Faktoren wie Trainingsplanung, MZ und subjektivem Belastungsempfinden zu berücksichtigen. Im Vergleich zur Kraftfähigkeit unter Berücksichtigung der Trainingswoche konnte keine signifikante Veränderung des SRSS über den gesamten Untersuchungszeitraum festgestellt werden. Auch wenn die maximale Kraftfähigkeit physiologisch nicht durch den Menstruationszyklus beeinflusst wird, können verschiedene Symptome psychologische Aspekte wie die psychische Gesundheit oder

den Schlaf beeinflussen (Kullik et al, 2024). Diese Aspekte sind auch im Spitzensport von großer Bedeutung, um die maximale Leistungsfähigkeit abrufen zu können.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der Menstruationszyklus allein keinen Einfluss auf die Kraftfähigkeit und das Belastungs-Erholungs-Empfinden bei Elite-Gewichtsheberinnen hat, dass aber die Kraftfähigkeit in Verbindung mit der Trainingswoche einen Effekt haben kann. Die Ergebnisse des Menstruationszyklus zeigen jedoch, dass die Zykluslänge sowie die potenziellen Symptome in verschiedenen Phasen vielfältig und individuell sein können, sodass im Spitzensport ausschließlich eine individuelle Analyse durchgeführt werden sollte. Darüber hinaus ist es wichtig, diese ersten Ergebnisse durch weitere Untersuchungen zu bestätigen.

## Literaturverzeichnis

- Anckaert, E., Jank, A., Petzold, J., Rohsmann, F., Paris, R., Renggli, M., Schönfeld, K., Schietecatte, J., & Kriner, M. (2021). Extensive monitoring of the natural menstrual cycle using the serum biomarkers estradiol, luteinizing hormone and progesterone. *Practical Laboratory Medicine*, 25, e00211. <https://doi.org/10.1016/j.plabm.2021.e00211>.
- Costello, J. T., Bieuzen, F., & Bleakley, C. M. (2014). Where are all the female participants in Sports and Exercise Medicine research? *European Journal of Sport Science*, 14(8), 847–851. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.911354>.
- García Ramos, A., & Jaric, S. (2017). Two-Point Method: A Quick and Fatigue-Free Procedure for Assessment of Muscle Mechanical Capacities and the One-Repetition Maximum. *Strength and conditioning journal*, 40. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000359>.

Kullik, L., Stork, M., Kiel, A., Kellmann, M., & Jakowski, S. (2024). The prevalence of menstrual cycle symptoms and their association with mental health and sleep in German exercising women and athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 27(6), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2024.02.008>.

McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., Thomas, K., & Hicks, K. M. (2020). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 50(10), 1813–1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>.

Meignié, A., Duclos, M., Carling, C., Orhant, E., Provost, P., Toussaint, J.-F., & Antero, J. (2021). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Elite Athlete Performance: A Critical and Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 12, 654585. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654585>.

Nässi, A., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Kellmann, M. (2017). Development of two short measures for recovery and stress in sport. *European Journal of Sport Science*, 17(7), 894–903. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1318180>.

Thompson, B., Almarjawi, A., Sculley, D., & Janse de Jonge, X. A. K. (2020). The Effect of the Menstrual Cycle and Oral Contraceptives on Acute Responses and Chronic Adaptations to Resistance Training: A Systematic Review of the Literature. *Sports Medicine*, 50, 171–185.

# Reliabilität und Validität eines 12-m-Shuttle-Run-Tests zur Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Turnen

AZ 072019-23

*Lina Fay<sup>1</sup>, Steffen Held<sup>1,2</sup>, Ludwig Rappelt<sup>1,3</sup> und Lars Donath<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Abteilung für Trainingswissenschaftliche Interventionsforschung,  
Deutsche Sporthochschule Köln

<sup>2</sup> Fachbereich Sport und Management, IST University of Applied Sciences

<sup>3</sup> Institut für Bewegungs- und Trainingswissenschaften,  
Universität Wuppertal

## 1 Einleitung

Kraft und Schnelligkeit gelten als entscheidende allgemeine physische Voraussetzung im Gerätturnen, während die Ausdauerleistungsfähigkeit häufig vernachlässigt wird. Eine gute aerobe Kapazität beeinflusst allerdings die Trainingsbelastung und -qualität, was sich wiederum auf den sportlichen Erfolg auswirkt. Daher sollte die Bedeutung der Ausdauerleistungsfähigkeit als entscheidende Voraussetzung in der Trainingspraxis von Turnern und Turnerinnen anerkannt werden (Seemann-Sinn et al., 2021). Folglich ist es von wesentlicher Bedeutung, die aerobe Kapazität von Athleten und Athletinnen regelmäßig zu bewerten, zu überwachen und langfristig zu entwickeln, um den Fortschritt im Training zu fördern und eine effektive Erholung sicherzustellen (Mkaouer et al., 2023). Zahlreiche Studien bei Kindern und Jugendlichen zeigten, dass der 12-m-Shuttle-Run-Tests (SRT) als valider und zuverlässiger Feldtest zur Schätzung der  $\dot{V} \text{O}_{2\text{max}}$  dient (Castro-Piñero et al., 2010; Léger et al., 1988; Mayorga-Vega et al., 2015). Die infrastrukturelle Einschränkung erfordert jedoch eine Anpassung der SRT an die spezifischen Bedingungen in einer Turnhalle mit einem Schwingboden mit einer Fläche von 12 m x 12 m. Aufgrund des Mangels an verfügbaren Validitäts- und Reliabilitätsmessungen sollen die Validität sowie die absoluten und relativen Reliabilitätsdaten dieses 12-m-Shuttle-Run-Tests (12SRT) bei jungen Turnern und Turnerinnen bewertet werden.

## 2 Untersuchungsmethode

### 2.1 Probanden und Probandinnen

69 Turner und Turnerinnen ( $12,33 \pm 1,6$  Jahre;  $153,8 \pm 10,4$  cm;  $42,04 \pm 9,25$  kg; BMI:  $17,45 \pm 2,03$  kg/m<sup>2</sup>; Trainingserfahrung  $6,6 \pm 2,27$  Jahre) nahmen an der Validitätsstudie und eine Untergruppe von 39 Turnern und Turnerinnen ( $11,8 \pm 1,4$  Jahre;  $152,2 \pm 11,7$  cm;  $40,2 \pm 9,3$  kg; BMI  $17,1 \pm 1,82$  kg/m<sup>2</sup>) an der Reliabilitätsüberprüfung teil. Die Teilnehmenden treten auf regionaler bis internationaler Ebene bei Wettkämpfen an.

### 2.2 Diagnostik

Das Studiendesign beruht auf drei wiederholenden Messungen: Am ersten Tag erfolgt ein Laufbandtest im Labor (Start: 2,0 m/s, 1 % Steigung mit Erhöhung der Geschwindigkeit alle 60 s um 0,2 m/s; ab 3,8 m/s, Erhöhung der Steigung um 1 % alle 60 s), während an den Tagen 2 und 3 die Validitäts- und Reliabilitätsüberprüfung des 12SRT (Start: 7 km/h ; Erhöhung alle 30 s um 0,5 km/h) in der Turnhalle vorgenommen wurde. Zur Erfassung der kardiorespiratorischen Parameter wurden ein mobiles Spiroergometriesystem (COSMED K5 Cosmed SRL, Italien) und ein Brustgurt (Polar, Helsinki, Finnland) verwendet. Die  $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$  und  $\text{HF}_{\text{max}}$  werden definiert als die höchste Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz über einen Zeitraum von 30 s.

Zudem wurde die durchschnittliche Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der  $\dot{V}O_{2\max}$  ermittelt ( $v\dot{V}O_{2\max}$ ) sowie die maximale Geschwindigkeit im Test (vmax). Zusätzlich wurde das subjektiv empfundene Belastungsempfinden (RPE) anhand der RPE-Skala abgefragt. Die Blutlaktatwerte wurden am Ohrläppchen in Ruhe und unmittelbar nach der Belastung gemessen (EKF Diagnostic Sales, Magdeburg, Deutschland). Die Geschwindigkeit während des 12SRT wurde mittels der Web-Applikation des IAT Leipzig (IAT, 2018) über Lautsprecher vorgegeben und abgebrochen, wenn die Testperson zum zweiten Mal die Linie beim akustischen Signal nicht erreicht hat.

### 2.3 Statistik

Um Unterschiede zwischen dem Laufbandtest und dem 12SRT sowie die Reliabilität des 12SRT zu analysieren, wurde für jeden einzelnen Parameter eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung (rANOVA) berechnet. Die rANOVA Effektgröße wird als partielles Eta-Quadrat ( $\eta^2$ ) angegeben. Für eine paarweise Effektgrößenabschätzung wurde zudem die standardisierte Mittelwertdifferenz (SMD) bestimmt. Die Validität zwischen dem Laufbandtest und dem 12SRT und der Zwischen-Tag-Reliabilität werden grafisch durch mehrere Bland-Altman-Plots bewertet (Bland & Altman, 1986), indem die systematische Verzerrung (mittlere Differenz zwischen den Tests/Tagen) und die Grenze der Übereinstimmung (LoA:  $1,96 \times$  Standardabweichung der Differenz zwischen den beiden Tests/Tagen) unter Berücksichtigung einer 95-prozentigen Fehlerkomponente berechnet wird (Atkinson & Nevill, 1998). Der typische Messfehler (TEM), der Variationskoeffizient (CV) und die Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) werden zudem ermittelt. Um Unterschiede zwischen den Leistungsniveaus und Geschlechtern zu analysieren, wurde für jeden Parameter ein unabhängiger t-Test berechnet. Zur Schätzung der  $\dot{V}O_{2\max}$  anhand der Laufleistung werden einfache und multiple Regressionsmodelle mit verschiedenen Variablen (Alter, Geschlecht, BMI, Körperform) erstellt. Alle statistischen Analysen

wurden mit der Software R (Version 4.2.1) und RStudio (Version 2023.12.1 - 402) durchgeführt.

## 3 Ergebnisse

Der t-Test ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied in Bezug auf das Leistungsniveau (Kaderathleten und Kaderathletinnen gegenüber ambitionierten Breitensportlern und Breitensportlerinnen ( $t = 1,78$ ;  $p = 0,08$ )) und das Geschlecht ( $(t = -1,42$ ;  $p = 0,12$ )) für  $\dot{V}O_{2\max}$ .

### 3.1 Validität

Die einfaktorielle rANOVA mit Messwiederholung zeigt keinen statisch signifikanten Unterschied in Bezug auf  $\dot{V}O_{2\max}$ , relative  $\dot{V}O_{2\max}$ ,  $HF_{\max}$  und  $v\dot{V}O_{2\max}$  ( $p \geq 0,17$ ,  $\eta^2 \leq 0,04$ ,  $SMD \leq 0,09$ ) zwischen dem Laufbandtest und dem 12SRT. Für die Parameter RPE, Testdauer und  $V_{\max}$  wurden dagegen signifikante Unterschiede gefunden ( $p \geq 0,02$ ,  $\eta^2 \geq 0,09$ ).

Der ICC zwischen Laufbandtest und 12SRT für die absolute  $\dot{V}O_{2\max}$  [0,94 (95CI: 0,90 - 0,96)] und relative  $\dot{V}O_{2\max}$  [0,82 (95CI: 0,72 - 0,88)] wurde als ausgezeichnet beziehungsweise gut eingestuft. Zudem sind TEM ( $\leq 6,10\%$ ) und CV ( $\leq 9,04\%$ ) für  $\dot{V}O_{2\max}$ , relative  $\dot{V}O_{2\max}$  und  $HF_{\max}$  als niedrig einzuschätzen.

Für die deskriptive Überprüfung der Validität zwischen Laufbandtest und 12SRT werden Bland-Altman-Plots zur Veranschaulichung in der Abbildung 1 dargestellt. Der LoA der relativen  $\dot{V}O_{2\max}$  reicht von -10,7 bis 9,2 ml/kg/min mit einer kleinen minimalen systematischen Abweichung von 0,75 ml/kg/min.

### 3.2 Reliabilität

Die rANOVA ergab keinen signifikanten Effekt zwischen den Tagen für  $\dot{V}O_{2\max}$ , relative  $\dot{V}O_{2\max}$ , RPE, Anzahl der Shuttles, Testdauer und  $HF_{\max}$  ( $p \geq 0,55$ ,  $\eta^2 \leq 0,01$ ,  $SMD \leq 0,48$ ). Lediglich die  $HF_{\max}$  zeigte kleine Differenzen ( $p = 0,034$ ;  $\eta^2 = 0,03$ ;  $SMD = 0,38$ ). Der ICC für die rela-

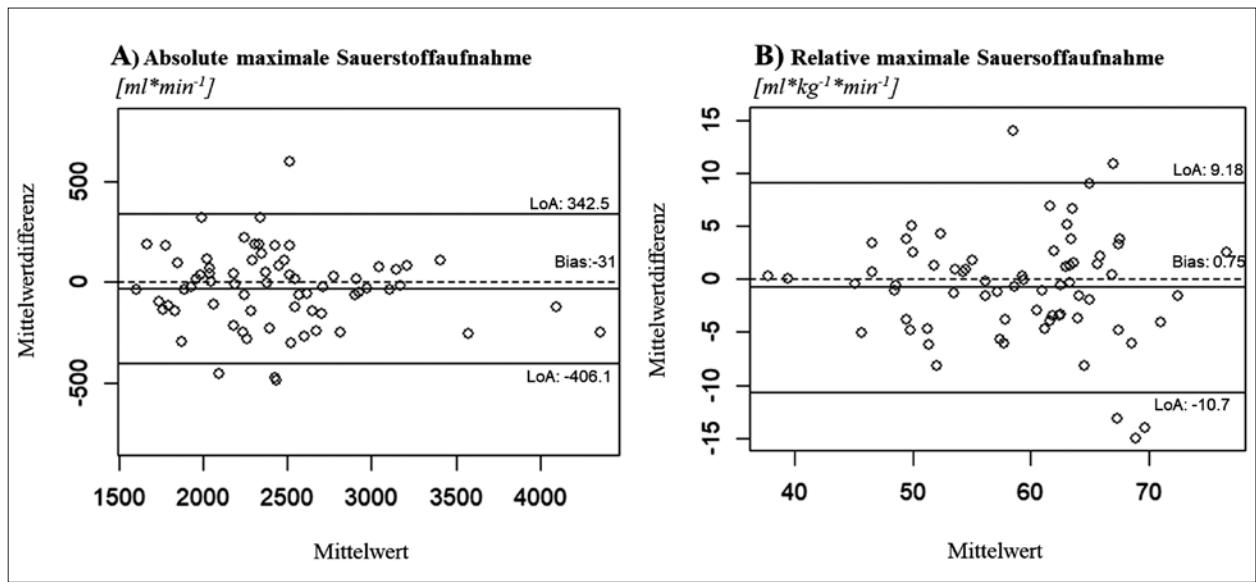


Abb. 1: Bland-Altman-Plots für die Validität des Laufbandtest und dem 12SRT: A) absolute maximale Sauerstoffaufnahme [ml/min]; B) relative maximale Sauerstoffaufnahme [[ml/kg/min]. Die durchgezogenen Linien zeigen die obere und untere 95 %-Übereinstimmungsgrenze (LoA). Die gestrichelte Linie stellt die Mittwertdifferenz, den systematischen Fehler beider Tests dar.

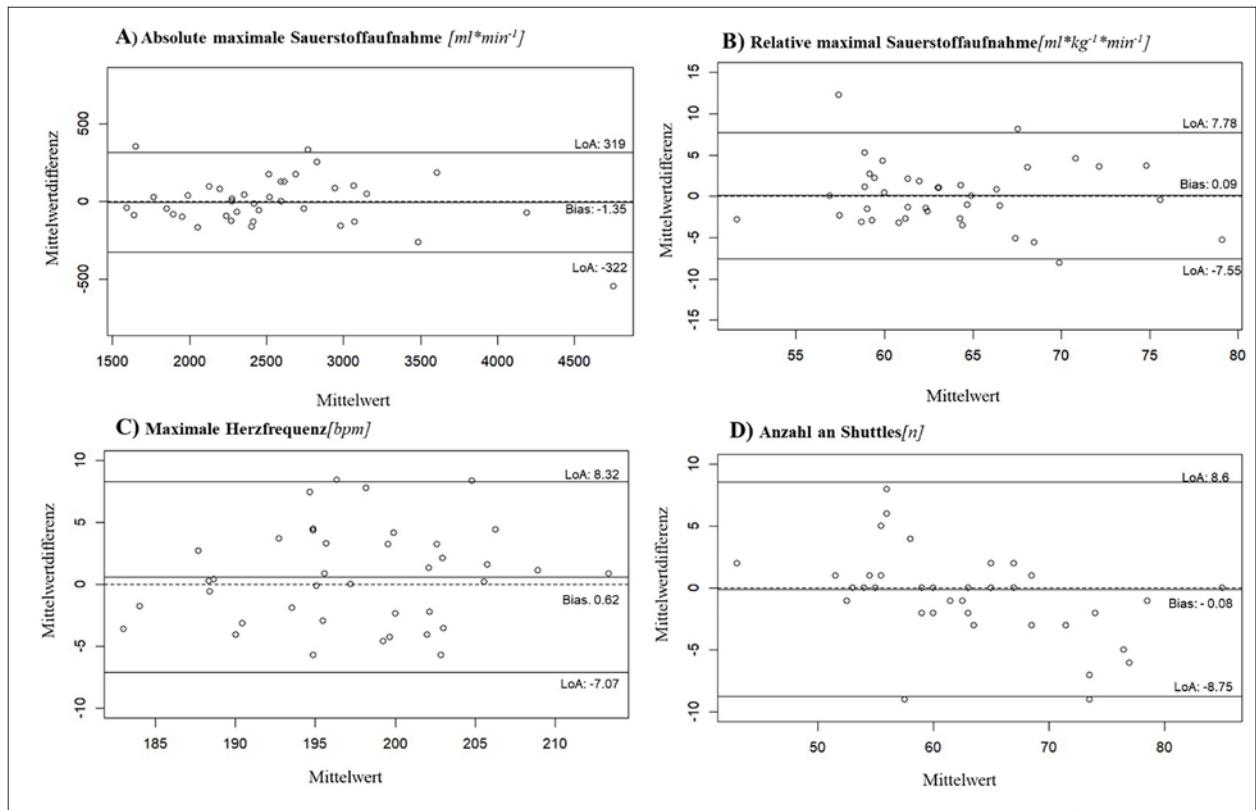


Abb. 2: Bland-Altman-Plots für die Reliabilität des 12SRT: A) absolute maximale Sauerstoffaufnahme [ml/min]; B) relative maximale Sauerstoffaufnahme [[ml/kg/min]; C) maximale Herzfrequenz [bpm] und D) Anzahl der Shuttles [n]. Die durchgezogenen Linien zeigen die obere und untere 95 %-Übereinstimmungsgrenze (LoA). Die gestrichelte Linie stellt die Mittwertdifferenz, den systematischen Fehler beider Tests dar.

tive  $\dot{V}O_{2\max}$  (0,79 (95CI: 0,64 - 0,89)) und  $HF_{\max}$  (0,85 (95CI: 0,73 - 0,92)) kann als gut, für  $\dot{V}O_{2\max}$  (0,97 (95CI: 0,95 - 0,99) und die Anzahl der Shuttles (0,89 (95CI: 0,79 - 0,94)) als ausgezeichnet bewertet werden. Darüber hinaus sind der TEM ( $\leq 4,49\%$ ) und der CV ( $\leq 6,43\%$ ) der Parameter  $\dot{V}O_{2\max}$ , relative  $\dot{V}O_{2\max}$ ,  $HF_{\max}$  gering. Die Analyse der deskriptiven Zuverlässigkeit übereinstimmung zwischen Test und Retest ist in den Bland-Altman-Diagrammen in Abbildung 2 dargestellt. Die LoA der relativen  $\dot{V}O_{2\max}$  reicht von -7,6 bis 7,8 ml/kg/min.

### 3.4 Regressionsmodelle

Die multiplen Regressionen zeigen, dass das Geschlecht, die Körpermasse und Laufleistung die besten Prädiktoren sind, um die  $\dot{V}O_{2\max}$  für Kinder zu schätzen. Das Alter hat einen geringeren Einfluss. Anhand der multiplen Regressionen resultieren folgende Regressionsgleichungen: maximale Laufgeschwindigkeit [km/h], Alter [Jahr], Geschlecht [0 = Jungen, 1 = Mädchen], Körpermasse [kg].

$$\dot{V}O_{2\max} = 12,60 + 7,62*(V_{\max}) - 3,26*(\text{Alter})$$

$$\dot{V}O_{2\max} = 33,51 + 4,13*(V_{\max}) - 0,37*(\text{Körpermasse}) - 8,10*(\text{Geschlecht})$$

$$\dot{V}O_{2\max} = 34,27 + 5,83*(V_{\max}) - 2,97*(\text{Alter}) - 6,99*(\text{Geschlecht})$$

Die rANOVA zeigt keinen statistischen Unterschied zwischen der geschätzten und gemessenen relativen  $\dot{V}O_{2\max}$  anhand der verschiedenen Formeln.

## 4 Diskussion

Aufgrund des niedrigen TEM und CV ( $< 10\%$ ), dem guten bis ausgezeichneten Interklassen-Korrelationskoeffizienten und des mäßigen bis kleinen LoA kann der 12SRT als gültiger und zuverlässiger diagnostischer Feldtest für junge Turner und Turnerinnen angesehen werden. Somit kann der adaptierte 12SRT zur regelmäßigen Beurteilung der aeroben Kapazität bei

jungen Turnerinnen und Turnern als Ersatz für komplexe und ressourcenintensive individuelle Laufbandtests eingesetzt werden.

Mayora-Vaga et al. (2015) berichteten in einer Meta-Analyse über eine mäßige bis hohe Korrelation ( $r = 0,66 - 0,84$ ) für die Schätzung der  $\dot{V}O_{2\max}$  über den 20SRT bei Kindern und Erwachsenen. Die Ergebnisse unserer Studie sind damit vergleichbar und zeigen sogar stärkere Korrelationen mit den  $\dot{V}O_{2\max}$ -Werten für den 12SRT. Die Zwischen-Tag-Reliabilität des 20SRT ist im Vergleich zu seiner Validität weniger häufig dokumentiert, wird aber als hoch bis ausgezeichnet (ICC = 0,78 und 0,93) beschrieben (Artero et al., 2011; Beets et al., 2005). Unsere Ergebnisse des 12SRT reihen sich hier ein und sind akzeptabel für Ausdauertest im Feld (ICC = 0,80) (Weir, 2005). Durch eine potenzielle Heterogenität zwischen den Probanden und Probandinnen kann ein hoher ICC eine schlechte Versuchs-zu-Versuchs Variabilität überdecken. Dies unterstreicht die Bedeutung der Betrachtung des SEM im Zusammenhang mit dem ICC (Weir, 2005). In der vorliegenden Studie deuten ein niedrigerer SEM von 2,25 ml/kg/min (3 %) und die Limits of Agreement innerhalb der Messvariabilität der K5-Spiroergometrie (Perez-Suarez et al., 2018) weiter auf die gute Reliabilität des 12SRT hin. Die Messung ist damit ausreichend sensitiv, um erwartbare Adaptationen in der  $\dot{V}O_{2\max}$  durch ein mehrwöchiges Ausdauertrainingsprogramm abzubilden (Bacon et al., 2013).

Im Vergleich zum Laufbandtest weist der 12SRT beträchtliche LoA auf, die nicht allein durch die Variabilität der Spirometrie und Trainingseffekte erklärt werden können. Die Schätzung von  $\dot{V}O_{2\max}$  mittels des 12SRT unter Verwendung einer Klassifizierung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist jedoch ausreichend. Die Klassifizierung der Ausdauerleistungsfähigkeit (vergleichbar mit einem Ampelsystem) kann als Instrument zur Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit beim Turnen dienen.

Auch der MDC unter 8,5 % in unserer Studie scheint ausreichend zu sein, um erwartete Leistungsänderungen bei jungen Turnerinnen und Turnern mit unterschiedlichem Leistungsni-

veau (z. B. Kaderniveau vs. ambitionierter Breitensport) zu erkennen. Der 12SRT ist somit ein praktisches Bewertungsinstrument für die Überprüfung der aeroben Ausdauerleistung bei jungen Turnern und Turnerinnen.

Für eine einfache Abschätzung der  $\dot{V}O_{2\max}$  anhand der Laufleistung zeigen multiple Regressionsgleichungen für Jugendliche eine moderate bis gute Korrelationen zwischen der gemessenen und geschätzten  $\dot{V}O_{2\max}$  ( $r = 0,66$  bis  $r = 0,84$ ) für den 20SRT (Barnett et al., 1993; Mayorga-Vega et al., 2015). Die Korrelation der gemessenen und geschätzten  $\dot{V}O_{2\max}$  des 12SRT ist vergleichbar und der ermittelte SEM deutlich geringer. Bei Betrachtung der Übereinstimmungsgrenzen liegen diese zwischen 24 und 29 ml/kg/min, was vergleichbar mit den LoA der Gleichungen des 20SRT ist (Melo et al., 2011; Silva et al., 2012). Nichtdestotrotz entsprechen die Übereinstimmungsgrenzen mehr als die Hälften der  $\dot{V}O_{2\max}$  und liegen außerhalb von Trainingseffekten und Variabilität des Messinstruments. Die Gleichungen zur Schätzung der  $\dot{V}O_{2\max}$  sind lediglich eine Abschätzung der  $\dot{V}O_{2\max}$ , kein direktes Maß zu Bestimmung der  $\dot{V}O_{2\max}$  und unterstützen die oben aufgeführte Klassifizierung der aeroben Kapazität.

## 5 Praktische Anwendung

Der 12SRT liefert ausreichend valide  $\dot{V}O_{2\max}$ -Schätzungen für Turner und Turnerinnen und kann zur Kategorisierung der Ausdauerleistungsfähigkeit durch die Kennzeichnung bestimmter Leistungsbereiche (z. B. Ampelsystem: grün, gelb und rot) verwendet werden. Weitere Studien sollten darauf abzielen, eine Normtabelle mit der Ausdauerleistungsfähigkeit von Turnern und Turnerinnen zu entwickeln, um Trainern und Trainerinnen altersspezifische Referenzwerte für die Beurteilung der  $\dot{V}O_{2\max}$  junger Sportler und Sportlerinnen zur Verfügung zu stellen.

## Literatur

- Artero, E. G., España-Romero, V., Castro-Piñero, J., Ortega, F. B., Suni, J., Castillo-Garzon, M. J., & Ruiz, J. R. (2011). Reliability of field-based fitness tests in youth. *International Journal of Sports Medicine*, 32(3), 159–169. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1268488>.
- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 26(4), 217–238. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826040-00002>.
- Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A., & Joyner, M. J. (2013).  $\dot{V}O_{2\max}$  Trainability and High Intensity. *Interval Training in Humans: A Meta-Analysis*. PLOS ONE, 8(9), e73182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073182>.
- Barnett, A., Chan, L. Y. S., & Bruce, L. C. (1993). A Preliminary Study of the 20-m Multistage Shuttle Run as a Predictor of Peak  $\dot{V}O_2$  in Hong Kong Chinese Students. *Pediatric Exercise Science*, 5(1), 42–50. <https://doi.org/10.1123/pes.5.1.42>.
- Beets, M. W., Pitetti, K. H., & Fernhall, B. (2005). Peak Heart Rates in Youth with Mental Retardation: Pacer vs. Treadmill. *Pediatric Exercise Science*, 17(1), 51–61. <https://doi.org/10.1123/pes.17.1.51>.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet (London, England)*, 1(8476), 307–310.
- Castro-Piñero, J., Artero, E.G., España-Romero, V., Ortega, F.B., Sjöström, M., Suni, J. & Ruiz, J.R. (2010). Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: a systematic review. *Br J Sports Med*. 44(13):934–43.

- IAT (2018). Bedienungsanleitung der Shuttle-Run-WebApp – turnspezifische Variante, [https://www.iat.uni-leipzig.de/datenbanken/dbturnen/shuttle-run-manual/Bedienungsanleitung\\_Shuttle-Run-App-Turnen.pdf](https://www.iat.uni-leipzig.de/datenbanken/dbturnen/shuttle-run-manual/Bedienungsanleitung_Shuttle-Run-App-Turnen.pdf) abgerufen am 20.08.2022.
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93–101. <https://doi.org/10.1080/02640418808729800>.
- Mayorga-Vega, D., Aguilar-Soto, P., & Viciiana, J. (2015). Criterion-Related Validity of the 20-M Shuttle Run Test for Estimating Cardiorespiratory Fitness: A Meta-Analysis. *Journal of Sports Science & Medicine*, 14(3), 536–547.
- Melo, X., Santa-Clara, H., Almeida, J. P., Carneiro, E. A., Sardinha, L. B., Bruno, P. M., & Fernhall, B. (2011). Comparing several equations that predict peak VO<sub>2</sub> using the 20-m multistage-shuttle run-test in 8–10-year-old children. *European Journal of Applied Physiology*, 111(5), 839–849. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1708-z>.
- Mkaouer, B., Amara, S., Bouguezzi, R., Ben Abderrahmen, A., & Chaabene, H. (2023). Validity of a new sportspecific endurance test in artistic gymnastics. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1159807. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1159807>.
- Perez-Suarez, I., Martin-Rincon, M., Gonzalez-Henriquez, J. J., Fezzardi, C., Perez-Regalado, S., GalvanAlvarez, V., Juan-Habib, J. W., Morales-Alamo, D., & Calbet, J. A. L. (2018). Accuracy and Precision of the COSMED K5 Portable Analyser. *Frontiers in Physiology*, 9, 1764. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01764>.
- Seemann-Sinn, A., Brehmer, S., Naundorf, F., & Wolfarth, B. (2021). Development of the routine duration in artistic gymnastics from 1997 to 2019. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 21(2), 250–262. <https://doi.org/10.1080/24748668.2021.1877601>.
- Silva, G., Aires, L., Mota, J., Oliveira, J., & Ribeiro, J. C. (2012). Normative and criterion-related standards for shuttle run performance in youth. *Pediatric Exercise Science*, 24(2), 157–169. <https://doi.org/10.1123/pes.24.2.157>.
- Weir, J. P. (2005). Quantifying Test-Retest Reliability Using the Intraclass Correlation Coefficient and the SEM. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 231. <https://doi.org/10.1519/15184.1>.

# Entwicklung und Implementation von Verhaltensregeln als Kernbaustein von Präventions- und Förderkonzepten: Gewaltprävention und Förderung pädagogischer Trainingsqualität im Deutschen Turner-Bund

AZ 072020/23

*Kathrin Kohake (Projektleitung), Alfred Richartz, Lena Henning und Malte Stoffers*

Universität Münster – Institut für Sportwissenschaft

## Problem

Gewalt in interpersonalen Beziehungen im Sport, bei denen auf der einen Seite Trainerinnen und Trainer oder weitere Verantwortliche, auf der anderen Seite Athletinnen und Athleten (Kinder, Jugendliche, junge Erwachsene) stehen, ist schon länger ein dringendes Thema im Leistungssport. Es steht außer Frage, dass geeignete Präventionsmaßnahmen auf verschiedenen verbandlichen Ebenen entwickelt und implementiert werden sollten; dies gilt für Deutschland ebenso wie international (International Safeguarding Children in Sport Working Group, 2016). Die Relevanz zeigt sich nicht nur in hochrangig angelegten Change-Prozessen (Deutscher Turner-Bund), sondern auch in der Etablierung eines übergreifenden Zentrums für Safe Sport in Deutschland.

Das vorliegende Projekt sollte sowohl unmittelbar unterstützend zur Entwicklung und Implementierung von besonders praxisnahen Präventionsmaßnahmen beitragen sowie durch empirische Begleitforschung auf einer breiteren Ebene nutzbare Erkenntnisse liefern. Im Fokus standen dabei Verhaltensregeln für Trainerinnen und Trainer, Athletinnen und Athleten, Eltern und Funktionärinnen und Funktionäre, die die allgemein-abstrakten Formulierungen im aktuellen Trainerinnen- und Trainer-Ehrenkodex auf einer praxisnahen Ebene konkretisieren und ergänzen. Solche Verhaltensregeln werden international als Präventionsmaßnahmen als dringlich eingeschätzt, denn sie können

durch ihre konkreten Vorgaben für alle Beteiligten klare Orientierungen geben und damit auch stärker verhaltenssteuernd wirken.

Es kann aber nur dann erwartet werden, dass Verhaltensregeln von den unmittelbaren Akteurinnen und Akteuren im Leistungssport (Trainerinnen und Trainer, Athletinnen und Athleten, Funktionärinnen und Funktionäre, Eltern) akzeptiert und normativ anerkannt werden, wenn die verschiedenen Stakeholder in die Entwicklung und Implementation partizipativ eingebunden werden. Das Problem der Spannung von partizipativer Entwicklung einerseits und verbandlicher Verbindlichkeit andererseits stellt sich auch im Hinblick auf verschiedene innerverbandliche Ebenen (zentrale und verschiedene lokale Ebenen). Es stellte sich deshalb die wichtige Aufgabe, eine Prozessstruktur und Einzelbausteine der Organisationsentwicklung zu entwickeln, die Top-down- und Bottom-up-Prozesse nachhaltig und wirksam verknüpfen.

Die Verhaltensregeln selbst dienen einerseits der Prävention jeglicher Form von Gewalt im Sport und unterstützen andererseits leistungs-, entwicklungs- und motivationsförderliche Verhaltensweisen. Die Projektleitung hat dabei für den organisationalen Entwicklungsprozess die Rolle einer Prozessbegleitung eingenommen, für den inhaltlichen Input zu Regelvorschlägen aber vor dem Hintergrund ihrer fachlichen Expertise die Rolle einer Fachberatung.

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Kata-logs von Verhaltensregeln im Deutschen Turner-Bund, der künftig von anderen Gliederungen für die eigene partizipative (Weiter-)Entwicklung genutzt werden kann. Die neu konzipierte, struk-turierte Vorgehensweise zur Weiterentwicklung solcher Regeln mit unterschiedlichen Stakehol-dern wurde im vorliegenden Projekt erprobt und mithilfe qualitativer Forschungsmethoden evaluiert. Begleitet wurde der Prozess von einem Projektbeirat mit Vertreterinnen und Vertretern aller Stakeholder-Gruppen. Auf diese Weise wur-den die Stakeholder nicht erst in die Umsetzung der geplanten Intervention integriert, sondern von Beginn fortwährend informiert und ihre Per-spektive bereits in den Prozess einbezogen. Auf diese Weise sollte einer Balance zwischen Top-down- und Bottom-up-Maßnahmen Rechnung getragen werden.

Als zusätzlicher Projektbaustein sollten Frage-bogeninstrumente entwickelt werden, mithilfe derer ein fortlaufendes Monitoring ermöglicht wird, das niederschwellige Zugänge zu Gewal-terfahrungen von Sportlerinnen und Sportlern liefert und damit frühe Indikatoren für Hand-lungsbedarfe aufzeigt. Im Fokus des Projektes standen vor allem die Erfahrungen von Kindern und Jugendlichen, weshalb zwei Fragebogenver-sionen für das Kindes- und für das Jugendalter entwickelt und ihr Einsatz erprobt wurden.

## Vorgehen

Das Projekt konnte auf umfangreichen Vorar-beite aufbauen, die im Hessischen Turnverband durch eigene Finanzierung ermöglicht wurden. Basierend auf internationalen Vorbildern sowie normativen und rechtlichen Standards wurden bereits Regelvorschläge entwickelt, die dem vorlie-genden Projekt zugrunde gelegt werden konnten. Die Regeln beinhalten Rechte und Pflichten für die vier am Sport beteiligten Akteursgruppen: Sportlerinnen und Sportler, Trainerinnen und Trainer (und weitere betreuende Personen), Erziehungsbe-rechtige und Funktionärinnen und Funktionäre.

Aus der Zielgruppe der Trainerinnen und Trai-nern haben alle Chef- und Bundesnachwuch-

strainerinnen und -trainer sowie weitere Bun-desstrainerinnen und -trainer zunächst an einem Online-Auftakt-Workshop und später an einem Präsenzworkshop teilgenommen ( $N = 8$ , je zwei pro olympische Sportart: Turnen weib-lich, Turnen männlich, rhythmische Sportgym-nastik und Trampolin). Darüber hinaus wurden fünf Elternteile für einen Präsenzworkshop in Frankfurt am Main gewonnen, zwei weitere haben ihre Rückmeldungen und Anmerkungen online/asynchron eingebracht. An dem Funkti-onärinnen- und Funktionärs-Workshop haben Präsidiumsmitglieder, der Sportdirektor, wei-tere DTB-Referentinnen und -Referenten, Bun-desstützpunktleiterinnen und -leiter sowie ein Geschäftsführer eines Landesverbands teilge-nommen ( $N = 9$ ). Zum Sportlerinnen- und Sport-ler-Workshop wurden die vier Athletenspreche-rinnen und -sprecher eingeladen, die jeweils eine zusätzliche Person aus ihrer Sportart benennen konnten ( $N = 5$ ). Alle Teilnehmenden wurden für einen gemeinsamen Online-Workshop zum Ende des Projekts eingeladen, woran  $N = 12$  Per-sonen teilnahmen.

In den insgesamt sechs Workshops (2 online, 4 in Präsenz) wurde zunächst ein Überblick über das Gesamtprojekt und die Ziele gegeben. Im Anschluss wurden rechtliche und normative Grundlagen zum Thema Gewalt im (Leistungs-) Sport geklärt (u. a. UN-Kinderrechtskonvention, Recht auf gewaltfreie Erziehung, sozialwissen-schaftliche Definition von Gewalt). Im Anschluss wurden die Regelvorschläge vorgelegt und indi-viduelle Rückmeldungen, Zustimmungen und mögliche Fragen eingeholt. Die Rückmeldungen wurden im Plenum diskutiert.

Der Regelkatalog wurde nach Abschluss der Sta-keholder-Workshops auf Grundlage der Rück-meldungen und Nachfragen sprachlich und for-mal überarbeitet. Für Regeln, die besonders viel Diskussionsbedarf aufgezeigt haben, wurden darüber hinaus Erläuterungen verschriftlicht. Dieser Katalog wurde an alle Beteiligten verse-ndet und im abschließenden Workshop wurden erneut Rückfragen und weiterer Klärungsbe-darf gesammelt. Der Regelkatalog wurde mit-hilfe dieser Rückmeldungen finalisiert und die Erläuterungen zur Klärung von Hintergründen

und Vorbeugung von Missverständnissen weiter ergänzt. Inhaltlich bezogen sich diese vor allem auf befürchtete Konflikte, die aus Missinterpretationen entstehen könnten – vor allem wenn Rechte von anderen Stakeholdern als überzogen befürchtet wurden. Durch die Erläuterungen konnten gewisse Ansprüche gedämpft werden, was wesentlich zur Akzeptanz durch die beteiligten Stakeholder beigetragen hat.

Die Zufriedenheit der beteiligten Akteurinnen und Akteure mit dem Prozess und dem Produkt des Projektes wurde mithilfe eines kurzen Fragebogens sowie leitfadengestützter Interviews evaluiert. Dabei sollte insbesondere überprüft werden, ob die Beteiligten einen fairen Ausgleich der verschiedenen Rollen, Rechte und Pflichten wahrnehmen.

## Ergebnisse

Ergebnis des Projektes ist ein Regelkatalog, der Rechte und Pflichten für Athletinnen und Athleten (26 Regeln), Trainerinnen und Trainer (33 Regeln), Erziehungsberechtige (21 Regeln) und FunktionärInnen (14 Regeln) formuliert. Beispiele für Regeln der vier Akteursgruppen sind in Tabelle 1 dargestellt. Zu 32 Regeln wurden wie oben beschrieben zusätzliche Erläuterungen ergänzt, sodass der finale Regelkatalog in einer Kurz- und einer Langversion vorliegt. Die Verhaltensregeln stehen Interessierten auf der Projekthomepage unter folgendem Link zum Download zur Verfügung: [uni.ms/pvg-sport](http://uni.ms/pvg-sport).

Die Evaluationsergebnisse zeigen ein sehr positives Bild: Die Rückmeldungen zu den geschlossenen Fragen zur Zufriedenheit mit dem Prozess der Regelentwicklung sowie dem Ergebnis der Regelentwicklung sind von den Teilnehmenden aller Stakeholder-Gruppen sehr positiv. Auch bestätigen die Befragten, dass sie sich ausreichend in den Prozess einbringen konnten, dass ihre Anliegen ernst genommen wurden und sie ein gutes Klima der Zusammenarbeit erlebten ( $M > 4,0$  für alle Items auf einer 5-stufigen Skala).

Die vorläufigen Auswertungen der acht Interviews bestätigen dieses positive Bild: Anfäng-

lich hatten fast alle Teilnehmenden ( $k = 7$ ) Vorbehalte, weil sie unfruchtbare Beratungen und Arbeitsüberlastungen erwarteten, waren dann aber insgesamt mit dem Prozess sehr zufrieden ( $k = 7$ ). Ein Interviewpartner sagte auf die Frage, was ihm zu Projektbeginn durch den Kopf ging: „Ein Unsicherheitsgefühl. Werden wir es wirklich schaffen, in diesem Thema weiterzukommen? Auch ein bisschen sorgenvoll, dass es ein großes Projekt wird, mit ganz viel Arbeit, aber das uns in der Praxis dann doch nicht weiterbringt.“ Alle Teilnehmenden ( $k = 8$ ) fanden die Verknüpfung von fachlichem Input und Prozessmoderation besonders hilfreich, insbesondere da dies durch die Projektleitung als Externe realisiert wurde. Die Beteiligten betonen besonders die Bedeutung der partizipativen, offenen und respektvollen Zusammenarbeit, in der die Anliegen der Beteiligten ernsthaft aufgenommen und umgesetzt wurden. Sie schätzen sehr, dass sie ihre Perspektive, ihre Befürchtungen und ihre Forderungen wirksam einbringen, sich mit Vertreterinnen und Vertreter der eigenen und anderer Akteurinnen- und Akteurgruppen austauschen und offen über mögliche Schwierigkeiten sprechen konnten (Partizipationsmöglichkeiten;  $k = 8$ ). Sowohl der Austausch innerhalb der Statusgruppen als auch die gemeinsame Diskussion trugen aus ihrer Sicht dazu bei, dass viele Perspektiven berücksichtigt wurden: „Allein, dass der Prozess alle Zielgruppen an einen Tisch gebracht hat und die Diskussion über Verhaltensrichtlinien oder Regeln geführt hat, das war schon extrem wertvoll und muss auch außerhalb des Projekts weitergeführt werden.“ Im Ergebnis sehen die Teilnehmenden ( $k = 8$ ) einen fairen Ausgleich für alle Gruppen durch die Formulierung von Rechten und Pflichten nicht nur für Trainerinnen und Trainer, sondern für alle am Sport Beteiligten. Vielen Teilnehmenden ( $k = 6$ ) war es besonders wichtig, dass die Regeln alltagstauglich sind, ohne den Trainingsbetrieb zu sehr einzuschränken. Dies gelte es nun in der Praxis zu erproben. Ein Teilnehmer resümiert: „Ich habe gemerkt, dass man versucht hat, auf die Bedürfnisse oder auf die Lebenswelten der Trainer und die Trainingssituation viel mehr Rücksicht zu nehmen, als das vorher der Fall war. Also aus der Sicht sehe ich diese Verhaltensregeln als, ja, aktuell schon sehr erfolgreich an.“

**Tabelle 1: Auszug aus dem Vorschlag für Verhaltensregeln im DTB (Kohake & Richartz, 2024)**

Sportlerinnen und Sportler
Alle Kinder, Jugendlichen und erwachsene Sportlerinnen und Sportler haben das Recht, ... von allen fair, freundlich, respektvoll und mit Verständnis und Unterstützung behandelt zu werden.
Alle Kinder, Jugendliche und erwachsene Sportlerinnen und Sportler haben die Pflicht, ... alle Unfälle, Verletzungen und andauernde Schmerzen der Trainerin oder dem Trainer sowie den Erziehungsberechtigten mitzuteilen.
Allen Kindern, Jugendlichen und erwachsenen Sportlerinnen und Sportler ist nicht erlaubt, ... sich an Gewalt oder Mobbing zu beteiligen – das gilt sowohl im persönlichen Kontakt als auch über soziale Medien.
Alle Kinder, Jugendliche und erwachsene Sportlerinnen und Sportler sollten ... Nein! sagen zu allem, was ihnen schlechte Gefühle macht und bei dem sie sich unwohl fühlen.
Trainerinnen und Trainer
Alle Trainerinnen und Trainer als verantwortliche Leitungspersonen im Sport haben das Recht, ... vor körperlicher oder emotionaler Gewalt vonseiten der Sportlerinnen und Sportler, Eltern, Trainerinnen und Trainer oder Funktionärinnen und Funktionären angemessen geschützt zu werden und Unterstützung bei Konfliktlösungen zu erhalten. Dies beinhaltet auch den Schutz vor Mobbing, unberechtigten Anschuldigungen und persönlichen Herabsetzungen.
Alle Trainerinnen und Trainer als verantwortliche Leitungspersonen im Sport haben die Pflicht, ... alle Berührungen von Kindern und Jugendlichen im Hinblick auf die jeweilige Situation, die Körperzone sowie die Alters-, Geschlechts- und Rollenkonstellation angemessen zu gestalten. Körperliche Berührungen bei Hilfestellungen können notwendig sein, um Kinder und Jugendliche zu schützen, ihnen wichtige Bewegungshilfen zu geben oder Feedbackinformation zu geben. Solche Berührungen sind (auf jeden Fall beim ersten Mal) anzukündigen, ihr Zweck ist zu erläutern und es ist zu fragen, ob Kinder und Jugendlichen mit der Berührung einverstanden sind.
Trainerinnen und Trainer als verantwortliche Leitungspersonen im Sport ist nicht erlaubt, ... Sportlerinnen und Sportler zu Übungen zu zwingen.
Alle Trainerinnen und Trainer als verantwortliche Leitungspersonen im Sport sollten, ... mehr Wert auf die Entwicklung von Fähigkeiten, Fertigkeiten und Fortschritten legen als auf die Platzierungen im Wettkampf und deshalb Anstrengung ebenso wertschätzen wie Resultate.
Erziehungsberechtigte
Erziehungsberechtigte von Kindern und Jugendlichen im Sport haben das Recht, ... über alle Probleme und Sorgen, die mit ihrem Kind zusammenhängen, informiert zu werden.
Erziehungsberechtigte von Kindern und Jugendlichen im Sport sollten ... ihr Kind anhören und altersangemessen mitentscheiden lassen, welche Ziele und Arten des Sportengagements sie gemeinsam für ihr Kind auswählen.
Funktionärinnen und Funktionäre
Personen mit institutionellen Leitungsaufgaben (Funktionärinnen und Funktionäre) im Sport haben die Pflicht, ... die Gesundheit, Sicherheit und positive Entwicklung der Athletinnen und Athleten an erste Stelle zu setzen.
Personen mit institutionellen Leitungsaufgaben (Funktionärinnen und Funktionäre) im Sport sollten ... wenn sie von Konflikten erfahren oder selbst darin verwickelt sind, sorgfältig abwägen, ob sie zuerst das Gespräch mit den Beteiligten suchen oder externe Hilfe hinzuziehen.

<b>Feedback der Workshop-Teilnehmenden (N = 11)</b>	<b>M</b>	<b>SD</b>
Ich bin mit dem Prozess der Regelentwicklung zufrieden.	4,45	0,50
Ich bin mit dem Ergebnis der Regelentwicklung zufrieden.	4,09	0,79
Ich konnte mich ausreichend in den Prozess einbringen.	4,73	0,62
Das Klima der Zusammenarbeit war gut.	4,82	0,39
Meine Anliegen wurden ernstgenommen.	4,82	0,39

Bemerkung: Skala von „trifft gar nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5)

## Diskussion und Ausblick

Die Verhaltensregeln wurden in der Zwischenzeit von beiden beteiligten Verbänden (Hessischer Turnverband und Deutscher Turner-Bund) formal implementiert. Die Regeln müssen nun in der Praxis erprobt und immer wieder auf ihre Wirksamkeit hin geprüft werden. Eine Interviewpartnerin beschrieb treffend: „Das ist ja auch das Schöne daran, dass so ein Prozess ja auch eigentlich nie so richtig für beendet erklärt sein muss, sondern stets irgendwie Türen öffnet für weitere Anpassungen.“ Als nächster Schritt ist die Erarbeitung niederschwelliger Interventionsmöglichkeiten zur Vermeidung von Konflikten bei Regelverstößen im Rahmen eines jüngst angelaufenen Transferprojektes geplant. Hierbei ist die Entwicklung gestufter Interventionsverfahren wünschenswert. Außerdem sollen verschiedene Disseminationsmaterialien entwickelt werden, die von den Stakeholder-Gruppen im Projektverlauf gewünscht wurden (Broschüren für Sportlerinnen und Sportler und Eltern, Fortbildungsmodule für Trainerinnen und Trainer etc.).

## Literatur

International Safeguarding Children in Sport Woking Group. (2016). International Safeguards for Children in Sport. <http://downloads.unicef.org.uk/wp-content/uploads/2014/10/International-Safeguards-for-Children-in-Sport-version-to-view-online.pdf>.

Kohake, K. & Richartz, A. (2024). Vorschlag Verhaltensregeln Deutscher Turner-Bund/Hessischer Turnverband vom 04.03.2024. [https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/sportwissenschaft2/arbeitsbereiche/bildungundunterricht/forschung/vorschlag\\_verhaltensregeln\\_dtb\\_htv\\_mit\\_erklaerungen2024-03-04.pdf](https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/sportwissenschaft2/arbeitsbereiche/bildungundunterricht/forschung/vorschlag_verhaltensregeln_dtb_htv_mit_erklaerungen2024-03-04.pdf).

# Identifizierung geeigneter Parameter für ein praxistaugliches Ermüdungs- und Erholungsmonitoring beim Athletenpferd in der Disziplin Vielseitigkeit

AZ 072026-22

*Heidrun Gehlen (Projektleitung), Charlotte Frenzel, Johanna Giers, Katharina Böhm, Insa Rump, Katharina Kirsch und Stephanie Horstmann*

Freie Universität Berlin, Tierklinisches Zentrum

Das Ziel dieses Studienprojektes war es, Frühindikatoren bzw. Prädiktoren des „Overreaching“ zu identifizieren, Methoden für die Bestimmung individueller Referenzwerte zu etablieren und Systematiken für ein praxistaugliches „individuelles Athletenmonitoring“ von Hochleistungssportpferden zu erarbeiten, die Reiterinnen und Reiter und Trainerinnen und Trainer zeitnah in ihrer Trainingssteuerung aktiv unterstützen. Dazu wurden 20 Vielseitigkeitssportpferde über ein Jahr lang zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahresverlauf untersucht und die Wettkampfkondition, das Training sowie die Regeneration beurteilt und objektiv gemessen.

Ein objektives Regenerationsmanagement kann dazu beitragen (1) durch ein zielgerichtetes Training eine möglichst hohe Leistungsfähigkeit zu erreichen und gleichzeitig Trainingsausfälle durch Verletzungen oder Erkrankungen zu reduzieren und (2) Hochleistungssportpferde im Sinne des Tierschutzes vor negativen Langzeitfolgen des Trainings und Wettkampfeinsatzes zu schützen und ihr Wohlergehen langfristig sicherzustellen. Als Untersuchungsmethoden sollen die Gewebedopplerechokardiographie, die Elektrokardiographie mit Analyse der Herzfrequenzvariabilität und spezifische Biomarker zu unterschiedlichen Zeitpunkten (vor/nach Training/Wettkampf, Regeneration; vor/während/Ende Saison) ermittelt werden.

Dazu wurden im Rahmen dieses Projektes trainierte Vielseitigkeitspferde nach einer standardisierten Galoppbelastung bezüglich der

links- und rechtsventrikulären systolischen und diastolischen Funktion mithilfe der 2D-Echokardiographie, dem gepulsten Gewebedoppler sowie dem 2D-Speckle-Tracking untersucht. Des Weiteren wurden zu allen Untersuchungszeitpunkten ein EKG zur Bestimmung der Herzfrequenzvariabilität (HRV) sowie Blutdruckmessungen durchgeführt. Zudem erfolgte die Bestimmung verschiedener kardiale Biomarker wie das ADMA, SDMA, kardiales Troponin-I, die Lactat-Dehydrogenase-1 und 2, die Aspartat-Aminotransferase und die Kreatinkinase Isoenzyme MM und MB. Zusätzlich wurden die Nierenfunktion über eine Bestimmung des Kreatinins und des Harnstoffs überprüft und der oxidative Stress über die NADPH-Oxidase und andere Laborwerte gemessen.

Die GPS-Daten, Herzfrequenz und Beschleunigungsdaten während der standardisierten Belastung wurden zeitgleich erfasst und somit die Intensität des Trainings beurteilt.

Über regelmäßig auszufüllende Fragebögen bezüglich der Fitness der Reiterinnen und Reiter und der Pferde wurden zusätzliche Informationen gesammelt.

Ziel dieser Studie war es, die belastungsinduzierte Ermüdung, insbesondere die Herzermüdung („cardiac fatigue“) bei Vielseitigkeitspferden tiefergehend zu untersuchen und Einblicke in die Pathogenese sowie den Effekt der Regeneration zu ermöglichen.

Ziele der Studien waren somit im Detail:

1. Untersuchung der Myokardermüdung bei Vielseitigkeitssportpferden hinsichtlich der myokardialen Deformation und der Myokardgeschwindigkeiten des rechten und linken Ventrikels nach Belastung.
2. Untersuchung der Myokardermüdung hinsichtlich der am stärksten betroffenen myokardialen Wandschichten nach Belastung.
3. Untersuchung auf eine ungleichmäßige bzw. zeitversetzte Ermüdung des rechten versus linken Ventrikelmyokards.
4. Messung herzspezifischer Biomarker nach einer standardisierten Belastung, die auf eine Kardiomyozytenschädigung, Endothelschädigung und Druck- bzw. Belastungsveränderungen im Herzen hinweisen können.
5. Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen echokardiographischen Parametern und Herzrhythmusstörungen resp. Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität.
6. Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen echokardiographischen Parametern und kardialen Biomarkern.
7. Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen kardialen Biomarkern und Herzrhythmusstörungen resp. Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität.
8. Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen kardialen Biomarkern, Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität, echokardiographischen Parametern und Fitnessindizes (Herzfrequenz, Laktat)
9. Früherkennung von Vielseitigkeitssportpferden, die Zeichen einer kardialen Ermüdung entwickeln und aus Tierschutzaspekten die Saison vorzeitig beenden sollten.
10. Prävention und Früherkennung des plötzlichen Herztones bei und nach sportlichen Wettkämpfen.

Das gesamte Studienprojekt setzte sich aus vier Teilprojekten zusammen. Die Ergebnisse wurden bereits veröffentlicht. Die Promotionen sind abgeschlossen, die Ergebnisse publiziert und als Vorträge und Poster der Öffentlichkeit vorgestellt worden. Die Promotionen und Publikationen sind im Internet frei zugänglich, sodass ein breiter Wissenstransfer möglich ist. Nachfolgend sind die Promotionen, Vorträge und Publikationen aufgeführt.

## Fertige Promotionen

Abgeschlossene Promotionsarbeit von Charlotte Frenzel: „Untersuchung der Myokardfunktion und kardialen Ermüdung („cardiac fatigue“) beim Vielseitigkeitssportpferd“, online zugänglich.

Abgeschlossene Promotionsarbeit von Johanna Giers: „Ermüdungs- und Erholungsmonitoring bei Vielseitigkeitssportpferden nach Geländeprüfungen.“

Eignung blutbasierter Biomarker für die Leistungsdiagnostik“, online zugänglich.

## Publikationen

Giers, J.; Bartel, A.; Kirsch, K.; Müller, S.F.; Horstmann, S.; Gehlen, H. (2023): Blood- Based Markers for Skeletal and Cardiac Muscle Function in Eventing Horses before and after Cross-Country Rides and How They Are Influenced by Plasma Volume Shift. *Animals* 2023, 13, 3110. <https://doi.org/10.3390/ani131931103.2>.

Giers, J.; Bartel, A.; Kirsch, K.; Müller, S.F.; Horstmann, S.; Gehlen, H. (2024): Blood-based assessment of oxidative stress, inflammation, endocrine and metabolic adaptations in eventing horses accounting for plasma volume shift after exercise, *Veterinary Medicine and Science*, 10, e1409. <https://doi.org/10.1002/vms3.1409>.

Charlotte Frenzel, Katharina C. Jensen und Heidrun Gehlen: Gewebedopplerechokar-

diographische Untersuchung der Myokardfunktion und kardialen Ermüdung (cardiac fatigue) beim Vielseitigkeitspferd. Pferdeheilkunde – Equine Medicine 40 (2024) 5 (September/Oktober) 1–9.

Insa Rump-Dierig, K. Charlotte Jensen, Anna Liedtke und Heidrun Gehlen: Auswertung von Selbstberichtsmessungen von Reitern: Herausforderungen bei der Überwachung der Anpassung von Pferden an Training und Wettkampf in der Vielseitigkeit, Pferdeheilkunde – Equine Medicine 40, 2024.

## Poster

Ergebnisse des Projektes wurden in Form von Postern auf der folgenden Fortbildungsveranstaltung für Tierärztinnen und -ärzte vorgestellt:

- DVG Kongress in Berlin vom 23.11. bis zum 25.11.2023

## Vorträge

Ergebnisse des Projektes wurden in Form von Vorträgen auf der folgenden Fortbildungsveranstaltung für Tierärztinnen und -ärzte vorgestellt:

- Nindorfer Fortbildung für Tierärzte (16.06.2023) Berliner Turnierärztinnen- und -ärztemeeting (15.12.2023)

Ergebnisse des Projektes wurden in Form von Vorträgen auf der folgenden Informationsveranstaltungen für Vielseitigkeitsreiterinnen und -reiter vorgestellt:

- Task Force Vielseitigkeit – Meeting (09.02.2023) Informationsveranstaltung für ReiterInnen (23.03.2023)

Die 4 Teilprojekte sind nachfolgend nochmals in Kurzform erläutert.

## 1. Teilprojekt Echokardiographische Untersuchung

**Methode:** Bei dieser longitudinalen Studie fand die Datenerhebung zwischen Dezember 2021 und September 2022 statt. Es wurden hierfür 19 Pferde echokardiographisch mit dem Gewebedoppler und 2D-Speckle-Tracking untersucht. Die Untersuchungszeitpunkte waren jeweils vor dem Gelände, 30 Minuten danach sowie am nächsten Morgen.

**Literatur:** Mit dem Gewebedoppler, dem sogenannten „Tissue Doppler Imaging“, können maximale Geschwindigkeiten bestimmter Myokardbereiche zu einem Zeitpunkt festgestellt werden. Das Verfahren dient der Einschätzung der globalen systolischen und diastolischen Funktion des linken Ventrikels sowie der Feststellung von regionalen Myokardbewegungsstörungen. Es können asymptomatische Myokarderkrankungen frühzeitig erkannt werden. Das 2D-Speckle-Tracking untersucht wiederum Verformungen des Myokards. Die Verformungen des Myokards können dabei in drei Dimensionen betrachtet werden und tragen somit zur Ermittlung von subklinischen Einschränkungen der Funktion des Myokards bei.

**Ergebnisse:** Die Gewebedoppleruntersuchungen haben ergeben, dass 30 Minuten nach der Belastung, eine Verschlechterung der Variablen vorlag. Zum größten Teil befanden sich die Werte nach 24 Stunden bereits wieder auf Ausgangsniveau. Bei der maximalen fröhdiastolischen Geschwindigkeit waren der 30-Minuten-Wert und der 24-Stunden-Wert reduziert. Im Laufe der Saison war jedoch eine Verbesserung der einzelnen Variablen zu erkennen. Das 2D-Speckle-Tracking zeigte eine Verbesserung der einzelnen Variablen nach 30 Minuten. Im Laufe der Saison konnte eine Verschlechterung der Variablen beobachtet werden.

**Diskussion:** Die Ergebnisse der Gewebedoppleruntersuchungen zeigen, dass die Belastung einen geringen negativen Einfluss auf die Funktion des Myokards hat, die Verbesserung im Laufe der Saison jedoch auf einen Trainingseffekt bzw. eine trainingsbedingte kardiale Hyper-

trophe zurückzuführen sein könnte. Die Resultate des Speckle Trackings lassen vermuten, dass die erhöhten Werte auf eine erhöhte Kontraktilität nach der Belastung zurückzuführen sind. Im Laufe der Saison kann der Einfluss des Parasympathikus trainingsbedingt zunehmen und diese Veränderungen erklären.

## 2. Teilprojekt Elektrokardiographische Untersuchung

Die Datenerhebung für dieses Teilprojekt fand zwischen Dezember 2021 und September 2022 statt. Im Winter 2021/2022 wurden 27 Basisuntersuchungen durchgeführt, davon sind 20 Pferde weiter über den Verlauf der Turniersaison beprobt worden. Neun konnten über die gesamte Saison in allen drei eingeteilten Zeitpunkten (Frühjahr, Sommer, Herbst) teilweise mehrfach beprobt worden, sechs Pferde wurden zumindest zu zwei Zeitpunkten, weiter sechs lediglich zu einem Zeitpunkt beprobt. Die Pferde wurden dabei morgens vor dem Geländeritt, während des Geländerittes und am Morgen danach mit einem EKG-Gerät (Arioneo Equimetre) ausgestattet.

Insgesamt wurden neun Turniere und zwei Galopptrainings beprobt, wodurch 65 Beprobenungen à drei EKGs zustande gekommen sind. Somit sollten in Summe 222 EKGs zur Auswertung vorliegen, davon 157 Ruhe-EKGs von der Grunduntersuchung, vor und 24h nach dem Geländeritt und 65 Belastungs-EKGs, die während der jeweiligen Ritte aufgezeichnet worden sind. Aufgrund diverser Gründe (begrenzte Anzahl an EKG-Geräten, sodass nicht jedes Pferd mit einem EKG ausgestattet werden konnte, oder etwa persönliche Präferenz der Reiterinnen und Reiter, während des Geländerittes ohne EKG zu reiten) fehlen ca. elf Aufzeichnungen.

Von den insgesamt vorhandenen 211 EKGs sind 181 (85%) durch die FN/DOKR zur Verfügung gestellt worden, wovon 136 (75%) bereits ausgewertet sind. Davon sind bisher sieben EKGs (3,31%) nicht auswertbar, drei öffnet die Software zur Auswertung nicht (vermutlich sind die Aufzeichnungen zu lang), die restlichen vier sind aufgrund der Qualität nicht auswertbar, da z. B.

während des Rittes der Gurt verrutscht war oder der Gurt nicht korrekt angebracht war, wodurch es zu deutlichen Artefakten bei der Aufzeichnung kam, bei denen es kaum möglich ist, die R-Zacken von Artefakten zu unterscheiden.

Zeitgleich mit den EKGs sind mittels der Arioneo-Geräte Beschleunigungsdaten und Schrittängenmessungen aufgezeichnet worden. Davon liegen 43 Datensätze vor (100%), bisher ist jedoch lediglich eine EKG-Auswertung erfolgt.

## 3. Teilprojekt: Blutbasierte Marker für periphere und kardiale Ermüdung, oxidativen und metabolischen Stress, Entzündung und hormonelle Anpassungen bei Vielseitigkeitspferden vor und nach Geländeritten

**Problem:** Um das Verletzungsrisiko zu verringern, ist die Bewertung des Ermüdungs- und Erholungszustands von Pferdesportlern wichtig. Da die Ermüdung nicht durch einen einzigen Indikator allein beurteilt werden kann, hat die Zusammenstellung eines Panels von belastungsabhängigen Biomarkern und die Festlegung individueller Referenzbereiche dazu beigetragen, diese Beurteilung des Erholungszustands im menschlichen Hochleistungssport zu erreichen.

**Methode:** Im Rahmen dieser prospektiven Längsschnittstudie wurden die Blutwerte von 20 Elite-Vielseitigkeitspferden vor und nach 2- bis 4-Sterne-Geländeritten und Galopptrainings untersucht. Ziel war es, herauszufinden, wie sich die Ermüdung nach einem Geländeritt in den Blutparametern widerspiegelt. Die Parameter wurden vor, eine bis 30 Minuten nach der Belastung und am nächsten Morgen gemessen und mithilfe eines gemischten Modells ausgewertet.

**Ergebnisse:** Kurz nach der Belastung veränderten sich die meisten Parameterkonzentrationen in Abhängigkeit von der Belastung. Am nächsten Morgen erholten sich die meisten trainingsbedingten peripheren Ermüdungsmar-

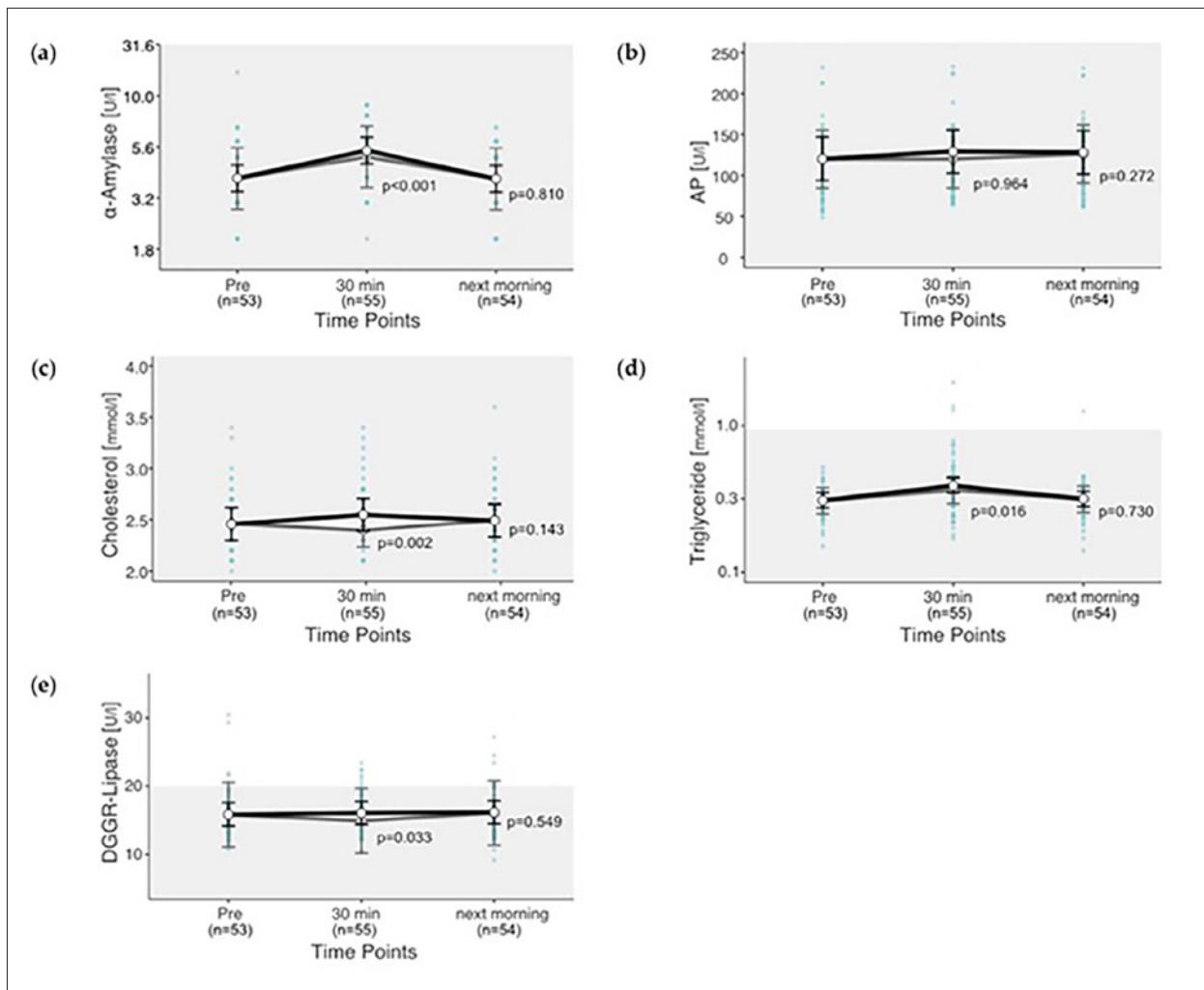


Abb 1 Blutwerte von 20 Elite-Viereckspringern vor, nach 30 min und am nächsten Morgen nach 2- bis 4-Sterne-Geländerritten und Galopptrainings.

ker rasch, die Kreatinkinase (CK) (20 % Anstieg;  $p=0,006$ ) und die Laktatdehydrogenase (LDH) (14 % Anstieg;  $p<0,001$ ) zeigten einen dauerhaften Anstieg. Das kardiale Troponin I stieg bei 38 von 64 Pferden (59 %) und bei 18 von 20 Pferden am Morgen nach dem Training über den Referenzbereich hinaus an. Cortisol, T3 und T4 zeigen einen kurzfristigen Anstieg nach dem Training, wobei nur Cortisol am nächsten Morgen gesenkt ist. SOD und Vitamin E zeigen einen kurzfristigen bzw. verzögerten geringen Anstieg. Die Leberwerte reagieren mit kurzfristigen (HGB, Globuline) oder anhaltenden Anstiegen (Bilirubin, GLDH, ALT). Die Verdauungsassoziierten Parameter reagieren mit kurzfristigen kleinen Erhöhungen ( $\alpha$ -Amylase, Triglyceride) oder Absenkungen (Cholesterin, Lipase). Zink zeigt eine kurzfristige Abnahme, Eisen eine verzögerte Abnahme. Die Blutkörperchen stiegen

nach dem Training dauerhaft an, während sich SAA nicht veränderte.

**Diskussion:** Relevante Veränderungen bei fast allen Muskelenzymen und Muskelmetaboliten unmittelbar nach der Belastung deuten auf ein hohes Maß an peripherer Müdigkeit im Vergleich zum nächsten Morgen hin. Nach einer Nacht der Erholung sind nur CK, LDH und cTnI signifikant erhöht, während alle anderen Parameter bereits auf die Werte vor der Belastung zurückgegangen sind. Nach dem Training kommt es zu einem leichten Anstieg der Muskelenzyme, der auf eine Schädigung der Muskelfasern hinweist, zu einer Laktatanreicherung, die eine Muskelazidose anzeigt, und zu Elektrolytverschiebungen, die auf einen Muskelspasmus hindeuten. Anzeichen von Muskelfaserschäden, Muskelazidose und Muskelkrämpfen deu-

ten darauf hin, dass nach dem Training DOMS (Delayed Onset Muscle Soreness) auftreten kann. Das Ausmaß der Muskelenzymerhöhung ist jedoch moderat und die schnelle Erholung von den trainingsbedingten Veränderungen deutet auf einen hohen Trainingszustand der getesteten Pferde hin. Der Anstieg von cTnI weist auf das Vorhandensein einer kardialen Ermüdung bei Vielseitigkeitspferden hin. Bei körperlicher Anstrengung werden die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (HPA) und die Hypothalamus-Hypophysen-Schilddrüsena Achse (HPT) aktiviert, und es gibt Hinweise auf eine antioxidative Aktivität. Der erhöhte Energiebedarf führt zu einer Mobilisierung der Energiereserven, und ein anhaltender Anstieg der Leberenzyme deutet auf eine hepatozelluläre Schädigung hin. Leichte Anzeichen einer Hämolyse spiegeln den erhöhten Muskelstoffwechsel wider. Die Anzeichen für eine Entzündung sind subtil. Parameter wie SAA könnten interessant sein, um subklinisch geschwächte Pferde vor dem Training zu erkennen und die Trainingsintensität anzupassen. Hier sind allerdings Folgeuntersuchungen mit größerer Stichprobengröße notwendig. Weitere Untersuchungen müssen außerdem klären, welche Pferde von den Durchschnittswerten abweichen.

#### **4. Teilprojekt: Untersuchung zur subjektiven Einschätzung von Reitern und Trainern zum Erholungszustand des Pferdes**

Die Datenerhebung für dieses Teilprojekt fand zwischen Dezember 2021 und September 2022 statt. Insgesamt wurden 120 Fragebögen in der Saison 2022 erfasst, die Fragen zur Trainingsgestaltung und zur Einschätzung des Fitnesszustandes des Pferdes und der Reiterin/des Reiters selbst beinhalteten. Die Fragen wurden mit 0-10 Punkten beantwortet, wodurch ein maximaler Score von 50 Punkten erreicht werden konnte. Im Schnitt haben die Reiterinnen und Reiter ihre Pferde mit einem Score von 37,9 (von max. 50) und sich selbst mit 38,1 (von max. 50) Punkten bewertet. Es wurde eine schwache Korrelation zwischen müden Pferden und müden Reitern

festgestellt. Die Scores sind jedoch nicht normalverteilt, die Reiterinnen und Reiter schätzen ihre Pferde also unabhängig von ihrer eigenen Fitness ein. Je fitter sich die Reiterin oder der Reiter fühlt, desto wahrscheinlicher empfindet er oder sie das Pferd sein Pferd auch als fit, da mit steigendem Score die Abhängigkeit steigt. Auffällig war, dass die Pferde in der Woche nach dem Turnier mit 43,7 Punkten am vierten Tag und 43,8 Punkten am fünften Tag nach dem Turnier als überdurchschnittlich fit bewertet wurden. Aus Sicht der Reiterinnen und Reiter wurden Geländetrainings am häufigsten mit Ermüdung des Pferdes assoziiert (30% der gesamten Trainingseinheiten), wobei Weide- oder Paddock-Zugang einen grundsätzlich positiven Effekt auf die Einschätzung der Fitness des Pferdes hatte. Im zeitlichen Verlauf der Saison wurde im Mai eine Ermüdung der Pferde festgestellt, während die Pferde im April und im September als besonders fit eingeschätzt wurden, die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Die Reiterinnen und Reiter schätzten sich selbst ebenfalls im April am fittesten ein und zeigten im Saisonverlauf eine abnehmende Tendenz.

Die subjektive Wahrnehmung der Fitness des Pferdes korreliert positiv mit der Leistung auf dem Turnier. Weniger gut bewertete Pferde zeigten weniger Erfolge auf Turnieren, als solche die von ihren Reitern als besonders fit beurteilt wurden.

#### **Literatur**

Barth, V., Käsbauer, H., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M., Hecksteden, A., and Meyer, T., Individualized Monitoring of Muscle Recovery in Elite Badminton. Front. Physiol., 2019. 10: p. 778. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00778>.

Blessberger H, Hackl M: Strain-Echokardiographie. Journal für Kardiologie 2018, 25:343-348. Pavlik G, Major Z, Csajági E, Jeserich M, Kneffel Z: The athlete's heart Part II Influencing factors on the athlete's heart: Types of sports and age. Acta Physiologica Hungarica 2013, 100(1):1-27.

- Delsmann, M.M., Stürznickel, J., Amling, M., Ueblacker, P., and Rolvien, T., Musculoskeletal laboratory diagnostics in competitive sport. *Orthopade*, 2021. 50(9): p. 700-712. <https://doi.org/10.1007/s00132-021-04072-1>.
- Hacker, S., Reichel, T., Hecksteden, A., Weyh, C., Gebhardt, K., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., Meyer, T., and Krüger, K., Recovery-Stress Response of Blood-Based Biomarkers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021. 18(11): p. 5776. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115776>.
- Hecksteden, A., Kraushaar, J., Scharhag-Rosenberger, F., Theisen, D., Senn, S., and Meyer, T., Individual response to exercise training – a statistical perspective. *J Appl Physiol*, 2015. 118(12): p. 1450-1459. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00714.2014>.
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Julian, R., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A., and Meyer, T., A New Method to Individualize Monitoring of Muscle Recovery in Athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 2017. 12(9): p. 1137-1142. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2016-0120>.
- Hecksteden, A. and Meyer, T., Personalized Sports Medicine – Principles and tailored implementations in preventive and competitive sports. *Dtsch Z Sportmed*, 2018. 2018: p. 73-80. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2018.323>.
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Rosenberger, F., and Meyer, T., Repeated testing for the assessment of individual response to exercise training. *J Appl Physiol* (1985), 2018. 124(6): p. 1567-1579. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00896.2017>.
- Julian, R., Meyer, T., Fullagar, H.H., Skorski, S., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A., and Hecksteden, A., Individual Patterns in Blood-Borne Indicators of Fatigue-Trait or Chance. *J. Strength Cond. Res.*, 2017. 31(3): p. 608-619. <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000001390>.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A.J., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, S.L., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, K.W., Meeusen, R., Mujika, I., Robazza, C., Skorski, S., Venter, R., and Beckmann, J., Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 2018. 13(2): p. 240-245. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2017-0759>.
- Santoro A, Alvino F, Antonelli G, Caputo M, Padeletti M, Lisi M, Mondillo S: Endurance and strength athlete's heart: analysis of myocardial deformation by speckle tracking echocardiography. *Journal of cardiovascular ultrasound* 2014, 22(4):196-204.
- Schwarzwald CC, Schober KE, Berli A-SJ, Bonagura JD: Left Ventricular Radial and circumferential Wall Motion Analysis in Horses Using Strain, Strain Rate, and Displacement by 2D Speckle Tracking. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 2009, 23(4):890-900.
- Voigt J-U: Gewebedoppler und regionale Funktionsanalyse. In: Praxis der Echokardiographie. Volume 2, edn.: Frank A. Flachskampf; 2007.

# Ermittlung von Einflussfaktoren auf die hämatologische Höhenanpassung bei Eliteschwimmerinnen und -schwimmern

AZ 072043-22

*Projektleitung: Dr. Nadine Wachsmuth*

*Projektmitarbeit: Sandra Haupt, Dr. Janis Schierbauer*

Universität Bayreuth, BaySpo – Bayreuther Zentrum für Sportwissenschaft,  
Abt. Exercise Physiology and Metabolism

## Einleitung/Hintergrund

Die Hämoglobinmenge (tHb) ist ein entscheidender Faktor für die Ausdauerleistungsfähigkeit, da sie den Sauerstofftransport im Blut und damit die Sauerstoffverfügbarkeit im Muskel limitiert. Schmidt und Prommer haben den Zusammenhang zwischen der tHb und der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) dargestellt und gezeigt, dass die Veränderung der tHb um 1 g mit der Veränderung der  $\dot{V}O_{2\max}$  um 4 mL einhergeht (Schmidt & Prommer, 2010). Aus diesem Grund nutzen viele Spitzensportlerinnen und -sportler Höhentrainingslager (HTL), um so ihre tHb zu erhöhen. Im Anschluss an Höhentrainingslager konnte in einer Metaanalyse trotz großer Streuung eine signifikante Beziehung zwischen der Steigerung der tHb und der  $\dot{V}O_{2\max}$  gezeigt werden (Saunders et al., n.d.). Ebenso können nach Höhenaufenthalten nicht immer homogene tHb-Anstiege gezeigt werden, sodass trotz Standardisierung mit einer gewissen interindividuellen Variabilität zu rechnen ist. Ursächlich hierfür können verschiedene Faktoren sein, die Einfluss auf die höheninduzierte Erythropoiese haben. Die Athletinnen und Athleten sollten dabei für mindestens 14 h/Tag mindestens zwei Wochen der Hypoxie ausgesetzt sein, um relevante hämatologische Anpassungen zu erzielen. (Gore et al., 2013). Die Empfehlungen für die optimale Höhe liegen zwischen ~1600 m und 2400 m (Chapman et al., 2014), wobei es hier sicher individuelle Unterschiede gibt. Ein ausreichendes Absinken der Sauerstoffsättigung könnte ein Indikator für einen adäquaten Höhenreiz sein (Goodrich et al., 2018). Ein weiterer entscheidender Einflussfaktor auf die Blutneubildung ist der

Eisenhaushalt der Sportlerinnen und Sportler vor und während eines Höhentrainingslagers. Eisen ist der Grundbaustoff des Hämoglobinmoleküls und somit essenziell für die Bildung neuer Erythrozyten. Auch der Trainingsumfang und die Intensität der Belastung könnten die Erythropoiese beeinflussen, wie erste Untersuchungen zeigen (N. Wachsmuth et al., 2014). Weitere Einflussfaktoren könnten zudem die Veränderungen der Körperzusammensetzung aufgrund eines veränderten Energiestoffwechsels, sowie die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln und Medikamenten sein. Ziel dieses Service-Forschungsprojekts war es, die Veränderung der tHb nach einem Höhentrainingslager zu bestimmen und zusätzlich zu den bekannten Faktoren mögliche neue zu identifizieren, die eine mangelnde hämatologische Anpassung hervorrufen können. Nach individuellen Anpassungen sollte überprüft werden, inwieweit sich diese auf eine bessere hämatologische Reaktion nach einem weiteren Höhentrainingslager auswirken.

## Methodik

### Studienpopulation

An der Studie nahmen insgesamt 15 Elitesportrinnen und -sportler des Deutschen Schwimmverbandes (DSV) teil, von denen elf zwei Höhentrainingslager absolvierten. Die Schwimmerinnen und Schwimmer mit internationalem Leistungsniveau hatten bereits Höhentrainingslagererfahrungen. Die Teilnahme war freiwillig, und die Probandinnen und Probanden konnten

jederzeit ohne Angabe von Gründen die Studie beenden. Alle Sportlerinnen und Sportler wurden über den Ablauf, die Anforderungen und Risiken der Studie informiert und gaben ihre

schriftliche Einwilligung. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Bayreuth genehmigt.

**Tabelle 1: ProbandInnencharakteristik**

	Teilnah- me an HTL	n	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	tHb (g)	rel. tHb (g/Kg)	Ferritin (ng/ml)
Frauen	2	3	19,7±1,2	177,3±4,2	67,4±1,8	724,3±32,4	11,0±0,2	49,4±6,4
	1	4	23,0±4,3	178,8±3,7	69,8±3,8	743,4±50,7	10,8±1,2	96,0±49,8
Männer	2	8	22,1±3,3	189,1±8,0	82,9±12,1	1185±159,4	14,4±0,6	91,7±14,3

HTL: Höhentrainingslager; tHb: Hämoglobinmenge

## Studiendesign

Im Rahmen von zwei geplanten Höhentrainingsmaßnahmen wurde die tHb jeweils vor und bis fünf Wochen nach den Trainingslagern untersucht. Gleichzeitig wurden vor, während und nach den Höhenaufenthalten mögliche Einflussfaktoren auf die tHb wie der individuelle Hypoxiereiz, der Eisenhaushalt, Trainingsintensität und -umfang und die Körperzusammensetzung bestimmt. Dabei sollten mögliche Erkenntnisse bezüglich der Einflussfaktoren bereits in die Umsetzung des zweiten Höhentrainingslagers einfließen. D.h., den Schwimmerinnen und Schwimmern wurden auf Grundlage der Ergebnisse aus dem ersten HTL individuelle Empfehlungen gegeben, was sie beim folgenden Höhenaufenthalt verändern sollten.

## Bestimmung der Hämoglobinmenge

Die tHb wurde mittels der optimierten CO-Rückatmungsmethode nach Schmidt & Prommer, 2005 und Prommer & Schmidt, 2007 bestimmt. Die Genauigkeit der Methode liegt in unserer Arbeitsgruppe bei 1,5%, sodass auch kleine oder ausbleibende Veränderungen sicher detektiert werden können.

## Bestimmung der Sauerstoffsättigung

Vor und während der Höhentrainingsmaßnahme trugen die Athletinnen und Athleten

an festgelegten Tagen in der Nacht einen Ring (O2Ring, Shenzhen Viatom Technology, Guangdong, China), um die Sauerstoffsättigung zu bestimmen.

## Venöse Blutentnahmen

Venöse Blutproben wurden vor Beginn des Höhenaufenthalts, wöchentlich während und nach fünf Wochen im Flachland entnommen. Pro Messzeitpunkt wurde ein EDTA-Röhrchen à 3 ml zur Analyse des kleinen Blutbildes und zwei Serum-Röhrchen à 8,5 ml entnommen, zentrifugiert und das Plasma bzw. Serum abpipettiert. Daraus wurden die Eisenspeicher (Ferritin, Transferrin, Transferrin-Sättigung und CRP) bestimmt und der Rest für spätere Analysen (Zytokine TNFα und IL6) eingefroren. Bei Ferritinwerten zum ersten Messzeitpunkt von < 30 ng/mL bei Frauen und < 40 ng/mL bei Männern wurde eine orale Eisensupplementation empfohlen, die von allen Athletinnen und Athleten umgesetzt wurde (Ferro Sanol Duodenal 50mg).

## Bestimmung der Trainingsintensitätsverteilung

Das Training im Wasser und an Land wurde durch die Trainer während des Höhentrainingslagers detailliert mit Angaben zu der zurückgelegten Strecke und der Belastungsintensität dokumentiert. Außerdem haben die Schwim-

merinnen und Schwimmer ihre Trainingsdaten und das subjektive Belastungsempfinden in das vom DSV bereitgestellte IDA-System (Online-Tool zur Trainingsdatenerfassung) eingetragen.

## Bestimmung der Körperzusammensetzung und Analyse von Stoffwechselveränderungen

Vor, während und nach dem Höhentrainingslager wurde mittels einer Bio-Impedanz-Analyse (MC-780 MA P, Tanita, Amsterdam, Niederlande) die Körperzusammensetzung, dabei insbesondere die Veränderung von Körpergewicht und der fettfreien Masse bestimmt. Zehn Tage vor und während des ersten Höhenaufenthalts wurden die Probandinnen und Probanden gebeten, freiwillig ein Ernährungstagebuch via Ernährungs-App zu führen und zusätzliche Supplamente und Medikamente anzugeben. Zudem haben sieben Schwimmerinnen und Schwimmer in dieser Zeit einen Glukosesensor (G6, DexCom Inc., San Diego, USA) getragen, welcher mithilfe einer fadenartigen Nadel den Glukosewert im Unterhautfettgewebe misst und die Werte automatisch an ein Auslesegerät überträgt. Bei den Sportlerinnen und Sportlern wurde außerdem vor und während des Höhentrainingslagers eine indirekte Kalorimetrie mit einer offenen Spirometrie (Cortex, Metamax 3B, Leipzig, Deutschland) durchgeführt, wobei die Atemgase zur Bestimmung des Grund- und Ruheumsatzes während einer 10-minütigen Ruhephase im Liegen über eine Atemmaske analysiert wurden.

## Statistische Auswertung

Nach Abschluss der Datenerfassung wurden die Daten in GraphPad Prism 8.0.2 (GraphPad Software) analysiert. Die Daten wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Um Veränderungen der tHb vor und nach dem Höhentrainingslager bewerten zu können, kamen ausgehend von einer Überprüfung auf Normalverteilung entweder parametrische oder nicht-parametrische Testverfahren zum Einsatz (Vari-

anzanalysen mit Messwertwiederholung oder Friedman-Test). Zudem wurden zur Beschreibung von Zusammenhängen Korrelations- und Regressionsanalysen durchgeführt.

## Ergebnisse

Nach dem ersten Höhentrainingslager konnte keine Veränderung der tHb (Post:  $-9 \pm 29\text{g}$ ,  $p=0,37$ ) bei den Schwimmerinnen und Schwimmern ermittelt werden. Hingegen erhöhte sie sich beim zweiten HTL um  $43 \pm 34\text{g}$ ;  $p \leq 0,01$ , wenn alle Teilnehmenden bzw. um  $36 \pm 29\text{g}$ ;  $p \leq 0,01$ , wenn nur die Schwimmerinnen und Schwimmer, die beide HTLs absolviert haben, berücksichtigt werden (siehe Abb. 1).

Folgende Faktoren, die Einfluss auf die hämatologische Anpassung haben können, wurden bei den Athletinnen und Athleten überprüft, die beide HTL absolvierten. Der Gesundheitszustand der Teilnehmenden unterschied sich in den beiden Trainingslagern. So erkrankten im ersten HTL insgesamt vier Athletinnen und Athleten, im zweiten keine(r). Die Sauerstoffsättigung sank in beiden Höhentrainingslagern gleichermaßen (HTL1:  $-4,4 \pm 1,1\%$ ,  $p \leq 0,001$ ; HTL2:  $-4,3 \pm 0,7\%$ ,  $p \leq 0,001$ ; siehe Abb. 2). Die Ferritinkonzentration verminderte sich deutlich bis zur vierten Woche in beiden HTL (siehe Abb. 3).

Sowohl das Körpergewicht als auch die fettfreie Masse (Lean body mass (LBM)) reduzierten sich nach dem ersten HTL signifikant; im Gegensatz dazu blieben sie im zweiten HTL stabil (Abb.4).

Es war ein Trend zu erkennen ( $p=0,06$ ), dass der Ruheumsatz um  $2,4 \pm 2,9\text{kcal/kg/d}$  in der ersten Woche des ersten Höhenaufenthalts anstieg und sich der Umsatz an Kohlenhydraten deutlich ( $p<0,05$ ) um  $52 \pm 52\%$  steigerte und auch im weiteren Verlauf des HTL erhöht blieb.

Der Trainingsumfang variierte zwar in den einzelnen Wochen, in der Summe unterschieden sich die zurückgelegten km während beider Höhentrainingslager aber nicht (HTL1:  $314 \pm 49\text{km}$ ; HTL2:  $334 \pm 47\text{km}$ ). Der Umfang in den einzelnen Belastungszonen unterschied sich

lediglich in Belastungszone 1 und 2. Dabei wurden im ersten Trainingslager 4% mehr in Belastungszone 2 und im zweiten HTL entsprechend in Belastungszone 1 absolviert. Die Athletinnen und Athleten schätzen ihre physische Leistungsfähigkeit im zweiten Trainingslager niedriger und ihre Beanspruchung höher als im ersten HTL ein, die mentale/emotionale Leistungsfähigkeit und Beanspruchung unterschieden sich in den beiden Trainingslagern nicht. Die Ergebnisse der Ernährungsanalyse und die Daten des kontinuierlichen Glukosemesssystems (Abb. 6) wurden individuell mit den Sportlerinnen und Sportlern besprochen.

## Diskussion

Nachdem sich nach dem ersten HTL die tHb nicht veränderte ( $-9 \pm 29\text{g}$ ), sollten mögliche Einflussfaktoren identifiziert werden. Die Ausgangswerte der relativen tHb lag bei den Männern bei 14,4g/kg und bei den Frauen bei 10,8g/kg. Im Vergleich zu anderen Studien fallen insbesondere die Werte der Männer hoch aus (m:12,7g/kg, w:10,7g/kg (N. B. Wachsmuth et al., 2013), m:12,6g/kg; w: 10,2gKg, (Rodríguez et al., 2015). Ausschlaggebend dafür könnte sein, dass es sich bei dem Probandenkollektiv dieser Studie überwiegend um Langstreckenschwimmerinnen und -schwimmer handelte, die eine höhere Ausdauerleistungsfähigkeit und folglich auch eine höhere tHb benötigen. Die Sauerstoffsättigung sank bei allen Schwimmerinnen und Schwimmern deutlich ab, was dafür spricht, dass der Hypoxiereiz für alle Sportlerinnen und Sportler ausreichend war (Mujika et al., 2019). Die Ferritinkonzentration reduzierte sich deutlich ( $p<0,001$ ) bis zur dritten Woche im ersten HTL und bis zur vierten Woche im zweiten HTL, was auf eine Neubildung von Erythrozyten aufgrund des Einbaus von Eisen in die tHb hindeutet. Ein entscheidender Faktor für den Erfolg eines HTL ist der Gesundheitszustand. So können Erkrankungen oder Verletzungen aufgrund der Produktion von proinflammatorischen Zytokinen, wie IL-6, IL-1 $\alpha$ , IL-1 $\beta$  und TNF $\alpha$  die Erythropoese unterdrücken (Moreau et al., 2009; Tanaka et al., 2014). Die vier erkrankten Athletinnen und Athleten des ers-

ten Höhentrainingslagers zeigten keine oder sogar eine negative Veränderung der tHb (0 bis -4,6%). Auffällig im ersten Höhentrainingslager war, dass sich sowohl das Körpergewicht als auch die fettfreie Masse signifikant reduzierten. Ein Verlust von Muskelmasse kann mit einer Reduktion der tHb einhergehen (Jesse Goodrich et al., 2020) und sich somit negativ auf die gewünschte Höhenanpassung auswirken. Der Zusammenhang konnte auch in Abbildung 5 gezeigt werden. Die Auswertung von einzelnen Ernährungstagebüchern und der CGM-Daten ergab, dass sowohl die gesamte Kalorienzufuhr als auch insbesondere der Anteil und die Qualität an aufgenommenen Kohlenhydraten zu gering war, um eine ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen. Nach Abschluss des ersten HTL wurden die Ergebnisse individuell mit jeder Athletin und jedem Athleten besprochen. Besonderer Fokus lag dabei auf der Ernährung und Supplementation von Kohlenhydraten auch während des Trainings. Dies wurde durch individuelle Gespräche mit einem Ernährungsberater unterstützt. Die Auswirkungen zeigten sich im zweiten HTL, da hier die Körperzusammensetzung im Zeitverlauf stabil blieb. Die tHb erhöhte sich im zweiten HTL signifikant. Die Athletinnen und Athleten waren weitestgehend gesund, die SO<sub>2</sub> sank entsprechend ab und die Ferritinkonzentration reduzierte sich ähnlich wie im ersten HTL, nur dass beim zweiten HTL trotz kontinuierlicher Eisensupplementation im HTL vereinzelt Ferritinwerte von <20ng/ml erreicht wurden. Daher sollte unbedingt auf ausreichend gefüllte Eisenspeicher vor dem HTL geachtet und gegebenenfalls mit einer Supplementation rechtzeitig vor dem HTL begonnen werden. Trotz der regelmäßigen Eiseneinnahme zeigten sich fünf Wochen nach dem HTL gleiche Ferritin-Werte wie vor dem HTL, sodass es trotz des Abbaus von Hämoglobin nicht zu einer „Überfüllung“ der Eisenspeicher kam. Der Trainingsumfang und die -intensität unterschieden sich in den HTLs nicht voneinander, auch wenn die AthletInnen die physische Beanspruchung im zweiten HTL subjektiv etwas höher einschätzten.

Schlussfolgernd kann festgestellt werden, dass die hämatologische Höhenanpassung sehr

individuell ausfällt und sensibel auf diverse Einflussfaktoren reagiert. Wichtig ist, dass alle Einflussgrößen wie Gesundheitszustand, Eisen-speicher, aber auch eine ausgeglichene Energiebilanzen der Sportlerinnen und Sportler bei einem Aufenthalt in der Höhe berücksichtigt und im besten Fall kontinuierlich gemonitor werden, um schnell Anpassungen vornehmen zu können.

## Literaturverzeichnis

- Chapman, R. F., Karlsen, T., Resaland, G. K., Ge, R., Harber, M. P., Witkowski, S., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (2014). Defining the “dose” of altitude training: how high to live for optimal sea level performance enhancement. *J Appl Physiol*, 116, 595–603. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00634.2013>.-Chronic.
- Goodrich, J., Ryan, B., & Byrnes, W. (2018). The Influence of Oxygen Saturation on the Relationship Between Hemoglobin Mass and VO<sub>2</sub>max. *Sports Medicine International Open*, 02(04), E98–E104. <https://doi.org/10.1055/a-0655-7207>.
- Goodrich, J., X. A., Frisco, D. J., Kim, S., Holliday, M., Rueda, M., Poddar, S., & Byrnes, W. C. (2020). The importance of lean mass and iron deficiency when comparing hemoglobin mass in male and female athletic groups. *J Appl Physiol*, 129, 855–863. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00391.2020>.-Hemoglobin.
- Gore, C. J., Sharpe, K., Garvican-Lewis, L. A., Saunders, P. U., Humberstone, C. E., Robertson, E. Y., Wachsmuth, N. B., Clark, S. A., Mclean, B. D., Friedmann-Bette, B., Neya, M., Pottgiesser, T., Schumacher, Y. O., & Schmidt, W. F. (2013). Altitude training and haemoglobin mass from the optimised carbon monoxide rebreathing method determined by a meta-Analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 47 (Suppl. 1). <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092840>.
- Morceau, F., Dicato, M., & Diederich, M. (2009). Pro-Inflammatory Cytokine-Mediated Anemia: Regarding Molecular Mechanisms of Erythropoiesis. Article ID, 405016, 11. <https://doi.org/10.1155/2009/405016>.
- Mujika, I., Sharma, A. P., & Stellingwerff, · Trent. (2019). Contemporary Periodization of Altitude Training for Elite Endurance Athletes: A Narrative Review. 49, 1651–1669. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01165-y>.
- Prommer, N., & Schmidt, W. (2007). Loss of CO from the intravascular bed and its impact on the optimised CO-rebreathing method. *European Journal of Applied Physiology*, 100(4), 383–391. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0439-2>.
- Rodríguez, F. A., Iglesias, X., Feriche, B., Calderón-Soto, C., Chaverri, D., Wachsmuth, N. B., Schmidt, W., & Levine, B. D. (2015). Altitude Training in Elite Swimmers for Sea Level Performance (Altitude Project). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(9), 1965–1978. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000626>.
- Saunders, P. U., Garvican-Lewis, L. A., Schmidt, W. F., Gore, C. J., & Saunders, U. (n.d.). Relationship between changes in haemoglobin mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092841>.
- Schmidt, W., & Prommer, N. (2005). The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *Eur J Appl Physiol*, 95, 486–495. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00421-005-0050-3>.
- Schmidt, W., & Prommer, N. (2010). Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO<sub>2</sub>max. *Exerc Sport Sci Rev*, 38(2), 68–75.

Tanaka, T., Narasaki, M., & Kishimoto, T. (2014). IL-6 in inflammation, Immunity, And disease. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. <https://doi.org/10.1101/csh-perspect.a016295>.

Wachsmuth, N. B., Völzke, C., Prommer, N., Schmidt-Trucksass, A., Frese, F., Spahl, O., Eastwood, A., Stray-Gundersen, J., & Schmidt, W. (2013). The effects of classic altitude training on hemoglobin mass in swimmers. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 113(5), 1199–1211. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2536-0>.

Wachsmuth, N., Kley, M., Feriche, B., Calderón, C., Iglesias, X., Rodríguez, F., & Schmidt, W. (2014). Influencing factors on the erythropoietic response during altitude training (Altitude Project). *Med Scie Sports Exerc*, 46 (5 Supp.), 428.

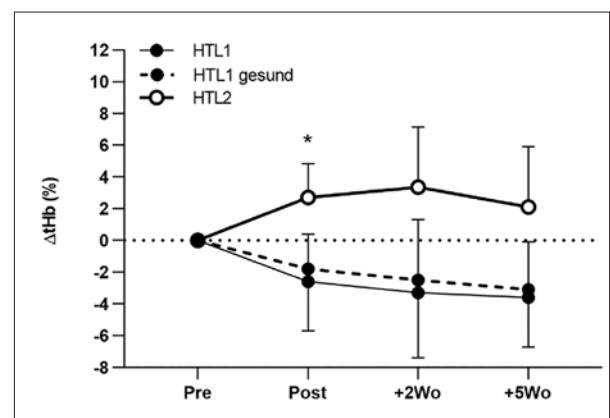
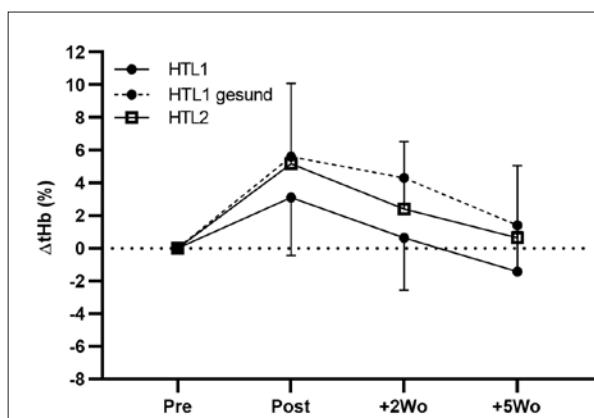


Abb. 1: Prozentuale Veränderung der Hämoglobinkonzentration ( $\Delta tHb$ ) nach beiden Höhentrainingslagern (HTL1, HTL2) der a) weiblichen und b) männlichen Athleten, die an beiden Höhentrainingslagern teilgenommen haben. Dargestellt sind die prozentualen Veränderungen zum Ausgangswert direkt nach sowie 2 und 5 Wochen nach Rückkehr aus dem Höhentrainingslager. Bei der gestrichelten Linie sind die erkrankten Sportlerinnen und Sportler ausgeschlossen. Signifikante Veränderungen zum Ausgangswert: \*  $p < 0,05$

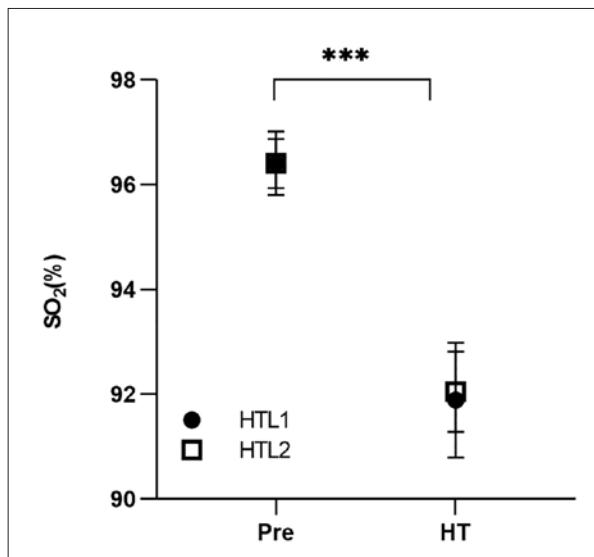


Abb. 2: Durchschnittliche Sauerstoffsättigung vor und während beider Höhentrainingslager (HTL1, HTL2). Signifikanter Unterschied zu Werten im Flachland (Pre): \*\*\*  $p < 0,001$

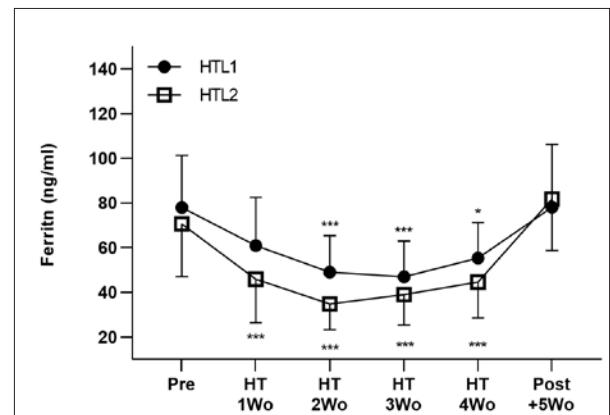


Abb. 3: Veränderung der Ferritinkonzentration während und 5 Wochen nach den Höhentrainingslagern (HTL1, HTL2). Signifikante Unterschiede zum Ausgangswert: \*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,001$

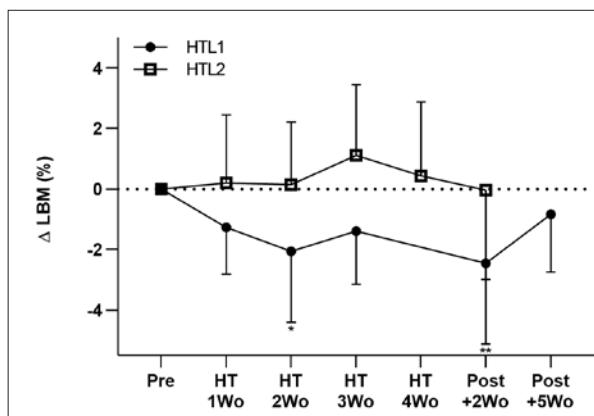


Abb. 4: Prozentuale Veränderung der fettfreien Masse (LBM) während und nach beiden Höhentrainingslagern (HTL1, HTL2). Signifikanter Unterschied zum Ausgangswert: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$

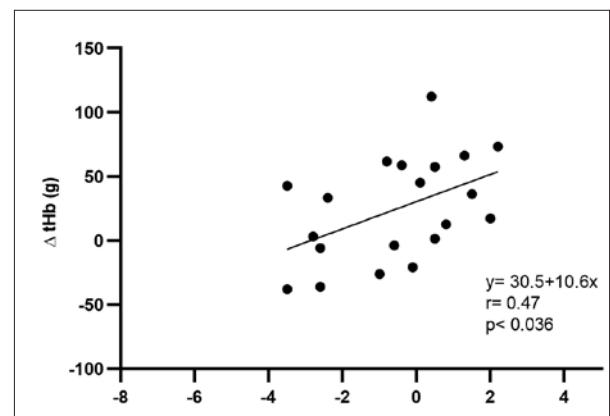


Abb. 5: Zusammenhang zwischen der Veränderung der fettfreien Masse (LBM) und der Veränderung der Hämoglobinkonzentration.

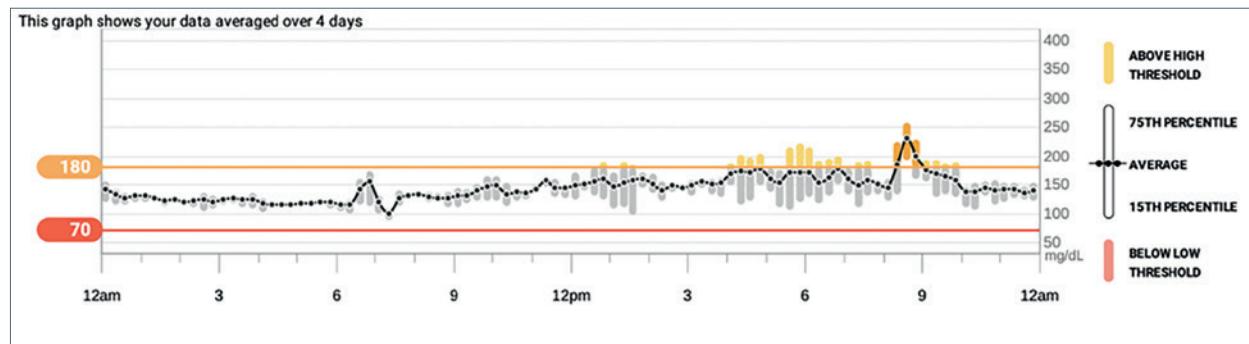
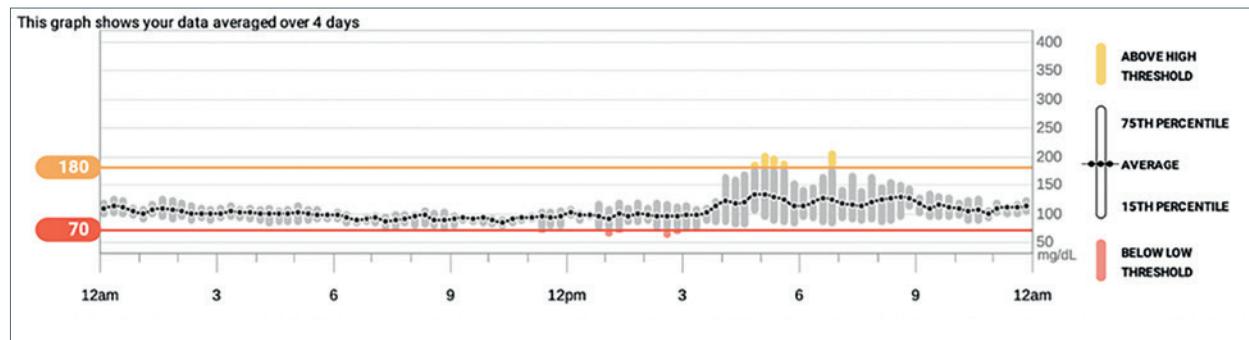


Abb. 6: Beispielhafte Darstellung der durchschnittlichen Glukosewerte (a im Flachland, b im Höhentrainingslager) eines einzelnen Athleten, die mit einem kontinuierlichen Glukosemesssystem (CGM) aufgezeichnet wurden.

# Okklusionstraining im Ski alpin

AZ 072048/22-23

*Christoph Henghuber<sup>1</sup>, Steffen Held<sup>1,2</sup>, Ludwig Rappelt<sup>1</sup> und Lars Donath<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Abteilung für Trainingswissenschaftliche Interventionsforschung, Deutsche Sporthochschule Köln

<sup>2</sup>Fachbereich Sport und Management, IST University of Applied Sciences, Düsseldorf

## 1 Einleitung

Im alpinen Skirennssport sind sowohl die Ausdauerleistungsfähigkeit (Neumayr, et al., 2003) als auch eine allgemein gut ausgeprägte Maximalkraft (MVC) in den unteren Extremitäten von großer Bedeutung (Berg, Eiken, & Tesch, 1995). Der wichtigste Prädiktor für eine hohe MVC ist in diesem Zusammenhang der Muskelquerschnitt (Koopman & van Loon, 2009). Um diesen zu vergrößern und Hypertrophie-Effekte zu initiieren, werden im konventionellen Krafttraining Intensitäten von >65% oder >70% des Einer-Wiederholungs-Maximums (1-RM) empfohlen (American College of Sports Medicine, 2009; Kraemer, et al., 1990; Kraemer, et al., 2002; Pearson & Hussain, 2015; Scott, Loenneke, Slattery, & Dascombe, 2015). In den letzten Jahren wurde jedoch immer intensiver an einer Low-Load-Trainingsmöglichkeit in Kombination mit Blutflussrestriktion (BFR) geforscht und trotz geringerer mechanischer Belastung auf den Bewegungsapparat eine Muskelhypertrophie und Muskelkraftzunahme in unterschiedlichen Settings und Probandinnen- und Probandengruppen nachgewiesen (Cerdeira, et al., 2021; Pearson & Hussain, 2015; Grønfeldt, Lindberg Nielsen, Mieritz, Lund, & Aagaard, 2020; Centner, Wiegel, Gollhofer, & König, 2019; Wilk, et al., 2018).

Bei Leistungssportlerinnen und -sportlern kommt es häufig zu Überlastungsbeschwerden, die unter anderem auch die Sehnenstrukturen betreffen (Nührenbörger, et al., 2017). Beim Skifahren spielen wiederkehrende exzentrische Belastungen eine prädominante Rolle (Phillipe,

2015; Berg, Eiken, & Tesch, 1995). Vermutlich auch deshalb gibt es im Deutschen Skiverband über die letzten Jahre eine Zunahme von Überlastungsbeschwerden an der Patellarsehne bei Athletinnen und Athleten im Skirennssport. Aktuelle Erkenntnisse deuten allerdings darauf hin, dass sich bei Low-Load-Training mit Blutflussrestriktion an der Patellarsehne sowohl morphologische als auch mechanische Adaptationen ergeben können (Centner, et al., 2022). Ziel dieser Untersuchung war es deshalb, die Wirksamkeit einer BFR-Intervention im Krafttraining während der schneefreien Trainingszeit im Sommer auf (i) die Kraftfähigkeiten zu überprüfen und zusätzlich (ii) mögliche Veränderungen in der Sehnenstruktur der Patellarsehne von Nachwuchsleistungssportlern in der Sportart Ski alpin zu untersuchen. Diese Ergebnisse könnten für zukünftige Trainingsinterventionen hilfreiche Ansätze bieten.

## 2 Methodik

### 2.1 Probanden

13 männliche Athleten aus dem offiziellen Kader des Deutschen Skiverband (DSV) wurden für diese Studie rekrutiert. Alle Rennläufer bestreiten Rennen auf internationalem Niveau im international offen organisierten Rennbetrieb des Internationalen Skiverbandes (FIS). Einige der Nachwuchsathleten hatten oder haben bereits Probleme mit der Patellarsehne ( $n = 6$ ). Zwei Athleten sind während der Interventionsphase durch einen Nationenwechsel und einer Verletzung nach einem Sturz beim Radtraining aus der Studie ausgeschieden.

**Tabelle 1: Probanden**

N	Alter	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Patella-Probleme
11	16,36 ( $\pm 0,81$ )	179,73 ( $\pm 5,57$ )	75,76 ( $\pm 6,68$ )	N = 6

## 2.2 Intervention

Die Trainingsintervention fand während der Sommerferien über sieben Wochen statt. Die Teilnehmer wurden angewiesen, das Blood-Flow-Restriction-Training (BFR) dreimal pro Woche im Rhythmus Montag, Mittwoch und Freitag eigenständig durchzuführen und so in das reguläre Trainingsprogramm zu integrieren. Durch die Schließung des Internats in den Sommerferien und das Heimtraining der Athleten ist kein Zugriff auf einheitliche Trainingsgeräte und -gewichte möglich und somit sind die Athleten zum Teil auf Training mit dem eigenen Körpergewicht angewiesen. Das Training umfasste drei Hauptübungen: Ausfallschritte, Kniebeugen und seitliche Ausfallschritte. Jede Übung wurde mit drei Sätzen durchgeführt, wobei zwischen den Sätzen eine Pause von 60 Sekunden und zwischen den Übungen eine Pause von drei Minuten eingelegt wurde. Während der Sätze wurde der Blutfluss mit einem Cuff eingeschränkt, der während der Übungen geschlossen blieb und nur zwischen den Übungen geöffnet wurde. Die Einstellung des Cuffs wurde bei der Pre-Diagnostik vorgenommen und erfolgte in mehreren Schritten: Zunächst wurde der Cuff auf maximalen Zug gebracht, um sicherzustellen, dass der Blutfluss vollständig unterdrückt war. Anschließend wurde mithilfe eines Ultraschall-Dopplers (vaskuläre Doppler-Sonde PD1 + Combi, Ultrasound Technologies Ltd, Caldicot, Vereinigtes Königreich) überprüft, ob tatsächlich kein Blutfluss mehr stattfand. Ausgehend von diesem maximalen Zug wurde der Zug der Cuffs auf 75% reduziert. Um den gleichen Zug über die gesamte Trainingsintervention reproduzieren zu können, wurden Markierungen auf dem Cuff angebracht.

## 2.3 Diagnostik

Im Monat vor dem Pre-Test durchliefen die Athleten ein umfassendes Familiarisierungsprogramm, das sich über mehrere Sitzungen

erstreckte. Um Lerneffekte zu minimieren, nahm jeder Athlet mindestens an einem bis zwei Übungstests teil, bevor die formale Diagnostik begann. Der Ablauf der Diagnostikbatterie war zum Pre- und Post-Zeitpunkt identisch: Zunächst absolvierten die Athleten eine 5-minütige Aufwärmphase auf dem Fahrrad (100 Watt bei 80 RPM). Nach diesem Aufwärmen wurden zwei Sätze Kniebeugen mit der Langhantel bei zehn Wiederholungen durchgeführt, um eine spezifische Erwärmung der Ziel-Muskulatur zu erreichen. Anschließend erfolgte per Ultraschall (Sonido SmartPro, SonoScape Medical Corp., Shenzhen, China) zunächst die Messung der Sehnendicke der Patellarsehne in Ruhe (Rückenlage) und im Anschluss während isometrischer Rampentests. Im Zuge der Rampentests wurde zudem die isometrische Maximalkraft erhoben. Aus diesen Parametern wurde im Anschluss die Sehnensteifigkeit ermittelt.

Für die Ultraschallmessungen zur Abschätzung der Sehnendicke wurden Bilder der Patellasehne in der longitudinalen Ebene aufgenommen. Die Teilnehmer wurden zunächst in Rückenlage positioniert, um eine gute Zugänglichkeit zu gewährleisten. Durch Aufstellen der Füße wurde eine Beugung im Kniegelenk von 45-Grad erzeugt (Klich et al., 2022). Zur Ermittlung der Dicke der Patellasehne wurden an vier verschiedenen Stellen (5, 10, 15 und 20 mm) unterhalb des Patellarhöckers jeweils drei Messungen durchgeführt (Klich et al., 2022). Die erste hyperechogene Region zwischen dem subkutanen Gewebe und der tiefen Faszienschicht wurde als unterer Rand der Sehne definiert (Klich et al., 2020). Von den drei Messungen an jeder Stelle wurden die beiden Aufnahmen mit der besten Bildqualität für die Analyse genutzt. Um zur Messung der Länge der Patellasehne in der sagittalen Ebene sowohl den Patellarhöcker als auch den Ansatz der Tibia bei allen Athleten schallen zu können, wurde ein modifizierter Ansatz gewählt, der darin bestand, während der Bildaufnahme einen externen Echo-absorbierenden Marker in der Mitte der

Entfernung zwischen Patella und Tibia zu positionieren. Der Patellarhöcker und der Marker dienten dabei als Referenzpunkte für die Messungen. Die Kraft während der isometrische Rampentests wurde mithilfe eines Bluetooth-fähigen Kraftaufnehmers (Tindeq Progressor 150-Dynamometers; Aufnahme mit 80 Hz) aufgezeichnet und über die zugehörige App ausgelesen. Für die Messung wurden die Athleten auf einem Stuhl platziert und der Kniegelenkswinkel wurde bei 90 Grad fixiert. Der Kraftaufnehmer wurde mit Karabinerhaken zwischen zwei Spanngurten angebracht. Die Rampentests dauert jeweils fünf Sekunden, während dieser die Probanden bis zu ihrem individuellen Maximum gegen den Spanngurt andrücken sollten. Dieses Vorgehen wurde 5-mal wiederholt, mit einem 30-sekündigen Ruheintervall zwischen den einzelnen Tests. Anschließend wurde der höchste Wert aus allen fünf Versuchen ermittelt und in allen weiteren Analysen als isometrische Maximalkraft definiert. Während der fünf isometrischen Rampentests wurden zudem wie oben beschriebenen Ultraschallbilder der Patellarsehne aufgezeichnet. Über den Parameter der Maximalkraft im Zusammenspiel mit den Ultraschallbildern konnte im Nachgang Youngs Modul berechnet werden (Kirk, Moore, Chater-Diehl, Singh & Rice, 2016). Über das Verhältnis der isometrischen Maximalkraft und der maximalen Verformung der Patellarsehne kann im Zuge dessen der Steifigkeitsparameter  $k$  berechnet werden. Die maximale Verformung der Patellarsehne wurde dabei

als Differenz der Strecke vom Patellarhöcker bis zum Echo-absorbierenden Marker in Ruhe und bei maximaler isometrischen Kontraktion berechnet.

## 2.4 Statistik

Zunächst wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet, um die Normalverteilung der Daten zu überprüfen ( $p > 0,05$ ). Zur Analyse der erhobenen Daten wurde dann ein abhängiger, einseitiger t-Test mit einem Signifikanzniveau von 0,05 durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die Mittelwerte der untersuchten Variablen zwischen den Gruppen signifikant verbessern. Zusätzlich zur Durchführung des t-Tests wurde Cohens  $d$  berechnet, um die Effektstärke der gefundenen Unterschiede zu bewerten.

# 3 Ergebnisse

## 3.1 Sehnendicke

Die Ergebnisse zu Sehnendicke sind in Tabelle 2 ersichtlich. Während bei 5 mm ( $t(10) = -0,34$ ,  $p = 0,37$ , 95%CI[-0,40, 0,29]), 10 mm ( $t(10) = -0,11$ ,  $p = 0,46$ , 95%CI[-0,37, 0,34]) und 15 mm ( $t(10) = -0,82$ ,  $p = 0,22$ , 95%CI[-0,35, 0,16]) keine signifikanten Unterschiede gefunden wurden, zeigten sich signifikante Unterschiede bei 20 mm Tiefe ( $t(10) = -2,07$ ,  $p = 0,03$ , 95%CI[-0,35, 0,13]).

**Tabelle 2: Veränderung Sehnendicke**

Abstand Patella	Pre-Test (mm)	Post-Test (mm)	Cohens d	p-Wert
5 mm	4,03 ( $\pm 0,82$ )	4,09 ( $\pm 0,51$ )	5 mm 0,09	0,37
10 mm	4,03 ( $\pm 0,82$ )	4,05 ( $\pm 0,82$ )	10 mm 0,03	0,46
15 mm	3,98 ( $\pm 0,82$ )	4,08 ( $\pm 0,82$ )	15 mm 0,14	0,22
20 mm	3,95 ( $\pm 0,82$ )	4,12 ( $\pm 0,82$ )	20 mm 0,24	0,03

## 3.2 Muskelkraft und Youngs Modul

Auch in Bezug auf die Veränderung der Maximalkraft ( $528 \pm 130$  N zu  $542 \pm 105$  N,  $t(10) = -0,73$ ,  $p = 0,24$ , 95%CI[-59,26, 29,95]) und auf den im Anschluss ermittelten Youngschen Modul

( $t(9) = -0,40$ ,  $p = 0,35$ , 95%CI[-10277,3, 7189,73]) konnten je keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3: Veränderung Muskelkraft und Youngs Modul**

	Pre-Test (mm)	Post-Test (mm)	Cohens d	p-Wert
Max.-Kraft	528 N ( $\pm 130$ )	542 ( $\pm 105$ )	Max Kraft 0,12	0,24
Youngs Modulus	5495 ( $\pm 3647$ )	7038 ( $\pm 10767$ )	Youngs M 0,19	0,35

## 4 Diskussion

Dies ist die erste Studie, die sich mit der Auswirkung von LL-BFR bei Nachwuchsleistungssportlern in der Sportart Ski alpin sowohl in der Muskelkraft wie auch in Sehneneigenschaften beschäftigt. Sowohl die Ergebnisse der Muskelkraft als auch der Sehnendicke zeigten keine signifikanten Verbesserungen über den Zeitraum der BFR-Intervention, auch wenn kleine bis moderate Effekt gefunden werden konnten.

Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu anderen vorangegangenen Studien, die trotz geringerer mechanischer Belastung auf den Bewegungsapparat eine Muskelhypertrophie und Muskelkraftzunahme in unterschiedlichen Settings und Probandinnen- und Probandengruppen durch LL-BFR-Training nachweisen konnten (Cerqueira, et al., 2021; Pearson & Hussain, 2015; Grønfeldt, Lindberg Nielsen, Mieritz, Lund, & Aagaard, 2020; Centner, Wiegel, Gollhofer, & König, 2019; Wilk, et al., 2018). Durch die Rücknahme der mechanischen Belastung bei geringeren Lasten spielen vermutlich metabolische Stressfaktoren eine dominantere Rolle bei Adaptationen der Muskelhypertrophie durch BFR-Training (Pearson & Hussain, 2015; Hughes, Paton, Rosenblatt, Gissane, & Patterson, 2017; Cerqueira, et al., 2021; Centner, Ritzmann, Schur, Gollhofer, & König, 2019). Deshalb kann spekuliert werden, dass die kurze BFR-Phase innerhalb der Trainingseinheiten sowie der geringe Load nicht ausreichend waren, um im leistungssportlich aktiven Probandenklientel eine Adaptation zu induzieren.

Ähnlich wie bei der Muskelkraft zeigten die Ergebnisse zum Youngschen Modul keine signifikanten Unterschiede vor und nach der BFR-Intervention, auch wenn kleine bis moderate positiven Effekt nachgewiesen werden konnten. Diese Effekt fügen sich in die heterogene Studienlage ein, in der sowohl vereinzelt signifikante

Veränderungen des Youngscher Moduls durch LL-BFR-Training induziert werden konnten (Centner, et al., 2022), aber auch kleine, nicht-signifikante Verbesserungen (Kubo et al, 2006).

Auch die Analyse der Sehnendicke ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vorher- und Nachher-Messungen bei den verschiedenen Tiefen (5 mm, 10 mm, 15 mm). Lediglich bei 20 mm Tiefe zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Sehnendicke nach der BFR-Intervention. Um eine morphologische und mechanische Anpassung der Sehnen zu erzielen, ist allerdings zusätzlich ein hohes Stress- und Belastungslevel notwendig (Bohm, Mersmann, & Arampatzis, 2015). So wird in einer Meta-Studie eine Trainingsintensität von  $\geq 70\%$  für eine optimierte Anpassung der Sehne empfohlen (Bohm, Mersmann, & Arampatzis, 2015). Auch hier könnte die zu geringe externe Last des eigenen Körpergewichts einen möglichen Einflussfaktor darstellen.

Wichtige Limitationen dieser Studie umfassen die begrenzte Stichprobengröße und die geringe Möglichkeit der Trainingskontrolle bzw. der Einflussmöglichkeit auf den Trainingsprozess. Darüber hinaus könnten individuelle Unterschiede in der Trainingsadaption sowie die Durchführung der Intervention ohne direkte Betreuung weitere Faktoren sein, die die Ergebnisse beeinflusst haben könnten.

Dennoch lässt sich zusammenfassend sagen, dass die BFR-Intervention trotz der verringerten Trainingsbelastung und Trainingshäufigkeit während der Sommerferien die Muskelkraft aufrechterhalten konnte, auch wenn trotz des signifikanten Anstiegs der Sehnendicke der Patellarsehne in größerer Tiefe keine signifikanten Veränderungen des Youngschen Moduls erzielt wurden. Somit kann BFR-Training in Trainingsphasen mit geringerer Intensität und Quantität wohl zum Erhalt der Muskelkraft bei alpinen Skirennläufern beitragen.

## 5 Literaturverzeichnis

- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(3), S. 687–708.
- Berg, H. E., Eiken, O., & Tesch, P. A. (1995). Involvement of eccentric muscle actions in giant slalom racing. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(12), S. 1666–1670.
- Bohm, S., Mersmann, F., & Arampatzis, A. (2015). Human tendon adaptation in response to mechanical loading. *Sports medicine - open*, 1(1), S. 7.
- Centner, C., Jerger, S., Lauber, B., Seynnes, O., Friedrich, T., Lolli, D., König, D. (2022). Low-Load Blood Flow Restriction and High-Load Resistance Training Induce Comparable Changes in Patellar Tendon Properties. *Medicine and science in sports and exercise*, 54(4), S. 582–589.
- Centner, C., Ritzmann, R., Schur, S., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Blood flow restriction increases myoelectric activity and metabolic accumulation during whole-body vibration. *European journal of applied physiology*, 119(6), S. 1439–1449.
- Centner, C., Wiegel, P., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(1), S. 95–108.
- Cerqueira, M. S., Maciel, D. G., Barboza, J. A., Centner, C., Lira, M., Pereira, R., & Brito Vieira, W. H. (2021). Effects of low-load blood flow restriction exercise to failure and non-failure on myoelectric activity. *Journal of athletic training*.
- Grønfeldt, B. M., Lindberg Nielsen, J., Mieritz, R. M., Lund, H., & Aagaard, P. (2020). Effect of blood-flow restricted vs heavy-load strength training on muscle strength. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 30(5), S. 837–848.
- Klich, S., Ficek, K., Krymski, I., Klimek, A., Kawczynski, A., Madeleine, P., Fernandez-de-las-Penas, C (2020). Quadriceps and Patellar Tendon Thickness and Stiffness in Elite Track Cyclists: An Ultrasonographic and Myotonometric Evaluation. *Front. Physiology*, 11:607208.
- Koopman, R., & van Loon, L. J. (2009). Aging, exercise, and muscle protein metabolism. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 106(6), S. 2040–2048.
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooley, C., Feigenbaum, M. S., Triplett-McBride, T. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(2), S. 364–380.
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., Fleck, S. J. (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 69(4), S. 1442–1450.
- Kubo, K., Komuro, T., Ishiguro, N., Tsunoda, N., Sato, Y., Ishii, N., Fukunaga, T. (2006). Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *Journal of applied biomechanics*, 22(2), S. 112–119.
- Neumayr, G., Hoertnagl, H., Pfister, R., Koller, A., Eibl, G., & Raas, E. (2003). Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *International journal of sports medicine*, 24(8), S. 571–575.

Nührenbörger, C., Seil, R., Ueblacker, P., HotfieI,  
T., Drews, B., Bloch, W., Engelhardt, M.  
(2017). Epidemiologie von Sehnenverlet-  
zungen im Sport. Sports Orthopaedics  
and Traumatology, 33(3), S. 241–247.

Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2015). A review on  
the mechanisms of blood-flow restric-  
tion resistance training-induced muscle  
hypertrophy. Sports medicine (Auckland,  
N.Z.), 45(2), S. 187–200.

Phillipe, M. (2015). Spezifische Belastungs-  
muster des Alpinsports. In B. Durrer, F.  
Berghold, G. Sumann, H. Brugger, M.  
Burtscher, P. Paal, W. Schobersberger, Al-  
pin- und Höhenmedizin, S. 15–25. Wien:  
Springer.

Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Das-  
combe, B. J. (2015). Exercise with blood  
flow restriction. Sports medicine (Auck-  
land, N.Z.), 45(3), S. 313–325.

# Untersuchungen zum Krafttraining mit runderspezifischen Bewegungsgeschwindigkeiten: Eine kontrollierte Interventionsstudie

AZ 072049/22-23

*Prof. Dr. Steffen Held, Ludwig Rappelt, Tim Wiedenmann, Jan-Phillip Deutsch und Prof. Dr. Lars Donath*

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, Abteilung Trainingswissenschaftliche Interventionsforschung

## 1 Einleitung

Neben einer hohen Ausdauerleistungsfähigkeit sind im Rudern auch die Kraftfähigkeiten von zentraler Bedeutung (Lawton et al., 2013). Im Deutschen Ruderverband (DRV) werden dazu überwiegend maximalkraftorientierte Krafttrainingsmethoden angewandt (Heyden, 2010; Schwarzrock et al., 2017) und in der Regel Lasten im Bereich von 80-95% des Einer-Wiederholungsmaximums (1RM) bewegt (McNeely, 2005; Schwarzrock et al., 2017). Bezogen auf die Kniebeuge resultiert aus einem Training im Maximalkraftbereich ( $>80\%$  1RM) entsprechend langsame Bewegungsgeschwindigkeiten ( $<0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (Dunst, 2022; Held, Hecksteden, et al., 2020). Während des Ruderwettkampfes erfolgt die Beinstoßbewegung jedoch deutlich schneller: Der Beinstoß männlicher Athleten (Schlagfrequenz 36-38 min $^{-1}$ ) erfolgt mit 0,8 bis 0,9 m $\cdot$ s $^{-1}$  (Held, Siebert, et al., 2020b). In diesem Kontext wird gerade eine schnelle Beinstoßbewegung während des Ruderns als relevanter Leistungsindikator angesehen (Kleshnev, 2021). Da Kraftanpassungen geschwindigkeitsspezifisch sein können (Kaneko, 1984; McBride et al., 2002), könnte diese Diskrepanz zwischen vergleichsweise langsamen Bewegungen im Krafttraining und den schnelleren Bewegungen im Wettkampf eine Leistungsreserve darstellen.

Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, ob der Übertrag des Krafttrainings auf relevante Leistungssurrogatparameter erhöht werden kann, wenn die mittlere konzentrische Geschwindigkeit (MCV) des Krafttrainings an die Beinstoßgeschwindigkeit im Ruderwettkampf

angepasst wird. Abhängig von den Ergebnissen könnte ein geschwindigkeitsbasiertes Krafttraining (VBT) ein geeignetes Tool sein, um den Übertrag vom Krafttraining auf die Ruderwettkampfleistung zu erhöhen.

## 2 Methodik

### Probanden

Es wurden insgesamt 25 Athleten rekrutiert. Durch primär krankheits- und organisatorisch bedingten Drop-outs absolvierten zwölf Athleten ( $20,3 \pm 1,5$  Jahre;  $86,0 \pm 8,6$  kg;  $1,88 \pm 0,05$  cm; Rudererfahrung:  $8,4 \pm 2,5$  Jahre; Trainingsvolumen:  $17,2 \pm 2,5$  Stunden pro Woche) die Studie. Insgesamt setzt sich das Probandenkollektiv aus aktiven Ruderleistungssportlern zusammen, die ein Leistungsniveau im Bereich U23-Nationalmannschaft aufweisen, eine Wettkampf- und Trainingserfahrung von mindestens vier Jahren haben, keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen haben, mindestens 18 Jahre alt sind und bereits umfangreiche Krafttrainingserfahrungen vorweisen.

### Forschungsdesign

Die Untersuchung erfolgte in einem kontrollierten Repeated-Measurement-Design. Alle Probanden absolvieren dabei insgesamt drei Diagnostiktermine: zu Beginn der Untersuchung, nach der 10-wöchigen Baseline-Phase und nach einer zweiten 10-wöchigen Interventionsphase. Im Zuge der drei Labortermine wurden jeweils ein

Rampentest zur Ermittlung der  $\dot{V}O_{2\max}$ , ein Stufentest zur Laktatschwellenbestimmung und ein 2000-m-Ausbelastungstest auf dem Ruderergometer (Concept2/Type D, Morrisville, USA) absolviert.

## Diagnostik

Nach einer 10-minütigen Aufwärmphase (Rudern mit einer Intensität <2 mmol $\cdot$ L $^{-1}$  Blutlaktat) wurde ein 20-sekündiger, maximaler Sprint auf dem Ruderergometer durchgeführt. Direkt vor und nach dem Sprint sowie jede Minute für 15 Minuten nach dem Sprint (passive Erholung, sitzend) wurde die Blutlaktatkonzentration durch Abnahme einer kapillaren Blutprobe von 20 µL am Ohr (C-Line, EKF, Barleben, Germany) bestimmt, um die maximale Laktatbildungsr率 ( $vLa_{\max}$ ) zu berechnen. Die  $vLa_{\max}$  wurde berechnet, indem das gebildete Lakatat in mmol $\cdot$ L $^{-1}$  durch die Differenz zwischen der Testzeit und der Zeit zu Beginn der Belastung, bei der keine Laktatbildung angenommen wird (alaktazide Dauer), dividiert wurde (Heck et al., 2003). Basierend auf vorherigen Simulationen wurde die alaktazide Dauer als vier Sekunden definiert, bezogen auf eine Testdauer von 20 Sekunden (Heck et al., 2003). Zusätzlich zu diesen berechneten  $VLa_{\max}$ -Werten wurden die mittleren Sprintleistungen (P20) in weitere Analysen einbezogen. Zur Bestimmung von Laktatschwellenwerten erfolgte anschließend ein 5×5-min-Stufenprotokoll (Inkremeante: 50 W, Start: 150-300 W). Anschließend wurde die fixe 4-mmol $\cdot$ L $^{-1}$ -Schwelle als anerkannter Leistungsindikator im Rudern bestimmt (Smith & Hopkins, 2012). Anknüpfend wurde direkt ein Rampentestprotokoll (30-40 W $\cdot$ min $^{-1}$  Erhöhung; abhängig vom Leistungsniveau) zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) absolviert. Alle spirometrischen Daten wurden mit einem Breath-by-breath-System (Zan 600, Zan Messgeräte, Oberthulba, Deutschland) erfasst. Die  $\dot{V}O_{2\max}$  ist definiert als die höchste (gemittelte) Sauerstoffaufnahme über einen Zeitraum von 30 Sekunden. Darüber hinaus wurde die PVO<sub>2MAX</sub> als durchschnittliche Ruderleistung während dieses 30-sekündigen Zeitintervalls ermittelt. Drei bis fünf Tage nach dieser Diagnostik erfolg-

ten die 2000-m-Ausbelastungstests. Während dieser 2000-m-Ausbelastungstests absolvierten die Probanden die virtuelle Distanz von 2000 m auf dem Ruderergometer (Concept2/Type D, Morrisville, USA) so schnell wie möglich (time trial). Während der Baseline- und Interventionsphase wurden jeweils die Aufzeichnung der Aufwärmssätze (Vitruve encoder, Vitruve, Madrid, Spanien) des Krafttrainings genutzt, um im Sinne eines Repeated-Measurement-Ansatzes Veränderung über den Zeitverlauf der Intervention hinweg zu objektivieren (Portney et al., 2009). Dazu wurde die mittlere konzentrische Geschwindigkeit (MCV) einer für jeden Athleten standardisierten Warm-up-Hantellast (für jede Trainingsübung) aufgezeichnet.

## Intervention

Angelehnt an Held und Kollegen (Held, Heckstedt, et al., 2020) wurden in der Baseline- und Interventionsphase jeweils die Übungen power clean, squat, bench row, deadlift und bench press absolviert. Während der Baseline-Phase erfolgte eine traditionelles Krafttraining (TRT), das sich an der trainingsmethodischen Grundkonzeption des DRVs orientiert (Schwarzrock et al., 2017). Diese klassische 1RM-basierte TRT wurde mit einer Last von 80-90% des 1RM und Wiederholungszahlen von 3-12 pro Satz absolviert. Im Kontrast dazu erfolgte während der anschließenden Interventionsphase ein geschwindigkeitsbasiertes Krafttraining (VBT). Dafür wurde eine Hantellast (für squat, bench row, deadlift und bench press) verwendet, die mit 0,8 bis 0,9 m $\cdot$ s $^{-1}$  bewegt werden konnte. Die entsprechende Hantellast wurde jeweils täglich basierend auf den Aufwärmssätzen (Jidovtseff et al., 2011) bestimmt. Beim power clean erfolgte die Belastungssteuerung mithilfe der peak velocity, wobei sich die Zielwerte an der Durchzugsgeschwindigkeit (handle speed; ~2.4 m $\cdot$ s $^{-1}$ ) beim Ruderwettkampf orientieren (Held, Siebert, et al., 2020b, 2020a). Die Probanden wurden aufgefordert, die konzentrische Phase aller Übungen mit der maximal intendierten konzentrischen Geschwindigkeit durchzuführen. Neben den zwei wöchentlichen Krafttrainingseinheiten wurden in beiden Phasen ein runderspezifisches Ausdauertraining mit

gleichem Trainingsumfang, gleicher Trainingsintensität -frequenz und -art durchgeführt.

## Statistische Analyse

Um auf mögliche Unterschiede in den Trainingsinterventionen zu testen, wurden mixed effects models genutzt (package: lme4), da so der individuellen Variabilität der Probanden Sorge getragen werden konnte. Um die Ergebnisse leichter präsentieren zu können, wurde das Modell mit ANOVA-wrappers (Type III Wald chi-square test) mithilfe des Pakets car zusammengefasst. Im Falle von signifikanten Effekten wurde in der Folge paarweise Vergleiche zwischen den einzelnen Zeitpunkten mithilfe des Emmeans-Pakets berechnet. Für den paarweisen Effektgrößenvergleich werden zudem standardisierte Mittelwertsunterschiede (SMD; Differenz zwischen den Mittelwerten geteilt durch die gepoolte Standardabweichung) berechnet (trivial:  $|SMD| < 0,2$ ; gering:  $0,2 \leq |SMD| < 0,5$ ; mittel:  $0,5 \leq |SMD| < 0,8$ ; groß:  $|SMD| \geq 0,8$ ) (Cohen, 1988). Zur Analyse der Wirkung der Trainingsphase auf die MCV-Werte wurde ein gemischtes lineares Modell mit autoregressiven Fehlern der ersten Ordnung (AR1) verwendet. Dieses Modell wurde

mit dem dem „nlme-Package“ in R erstellt (Pinheiro & Bates, 2000). Die Reihenfolge der Trainingseinheiten diente dabei als Zufallseffekt, um die wiederholten Messungen innerhalb derselben Phase zu berücksichtigen. Alle statistischen Berechnungen wurden mit der Software R (Version 4.0.5) und RStudio (Version 1.4.1106) durchgeführt.

## 3 Ergebnisse

Während die mixed effect models signifikante Effekte für P4, LT2, P2k und vLa<sub>max</sub> zeigten, konnten keine signifikanten Effekte für die VO<sub>2max</sub> und VLa<sub>max</sub> beobachtet werden (vgl. Tab. 1). Anschließend durchgeführte Post-hoc-Tests zeigten signifikante Steigerungen der LT2 in der Baseline-Phase ( $249 \pm 19$  vs.  $334 \pm 36$  W,  $p \leq 0,001$ ; SMD = 1,48) und signifikante Abnahmen der LT2 in der Interventionsphase ( $334 \pm 36$  vs.  $302 \pm 23$  W,  $p \leq 0,001$ ; SMD = -1,07). Die P2k dagegen erhöhte sich in der Interventionsphase ( $427 \pm 34$  vs.  $444 \pm 37$  W,  $p = 0,002$ , SMD = 0,49). Die VLa<sub>max</sub> zeigte eine Reduktion in der Baseline-Phase ( $0,50 \pm 0,12$  vs.  $0,40 \pm 0,10$  mmol·l<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>,  $p \leq 0,001$ ; SMD = -0,91).

**Tabelle 1: Analysis of deviance Tabelle (Type III Wald chi-square tests) mit den Effekten der main mixed-effects in Bezug auf die verschiedenen Ergebnisparameter.**

Parameter	Fixed effects	Chi-Square	Degrees of freedom	p-value
P4	(Intercept)	1492.95	1	< 0.001
	time	7.33	2	0.026
LT2	(Intercept)	1353.98	1	< 0.001
	time	42.67	2	< 0.001
VO <sub>2max</sub>	(Intercept)	1089.66	1	< 0.001
	time	0.95	2	0.623
P2k	(Intercept)	1861.34	1	< 0.001
	time	15.68	2	< 0.001
P20	(Intercept)	467.67	1	< 0.001
	time	5.24	2	0.073
vLAm <sub>ax</sub>	(Intercept)	254.62	1	< 0.001
	time	24.39	2	< 0.001

## Ergebnisse Monitoring

Die Datenerfassung im Kontext des Warm-ups war insgesamt stark eingeschränkt, mit vielen Datenverlusten aufgrund von Compliance-Problemen, Schwierigkeiten bei der Handhabung der Sensoren und technischen Ausfällen der Softwarelösung der Sensoren. So waren für die weitere Analyse nur etwa die Hälfte der Krafttrainingsdaten verfügbar (Abb. 1). Unter diesen Bedingungen war eine umfassende Auswertung der Daten für alle Athleten und Übungen nicht möglich. Exemplarisch (siehe „x“ in Abb. 1) wurde für die vier Übungen squat, bench press, deadlift und bench press jeweils für einen Ath-

leten (mit ausreichend großer Datenlage) die individuelle Trainingsreaktion bestimmt. Für die Übungen bench row und deadlift zeigten die Analyse keinen signifikanten Unterschied in den MCV-Werten zwischen den Phasen ( $p \geq 0,153$ ). Die MCV-Werte in der Interventionsphase waren durchschnittlich um 0,06 bzw. 0,45  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  höher als in der Baseline-Phase. Im Kontrast dazu, zeigten die Analyse der Übungen squat und bench press einen signifikanten Unterschied in den MCV-Werten zwischen den beiden Phasen ( $p \leq 0,030$ ). In der Interventionsphase waren die Werte durchschnittlich um 0,15 bzw. 0,10  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  höher als in der Baseline-Phase.

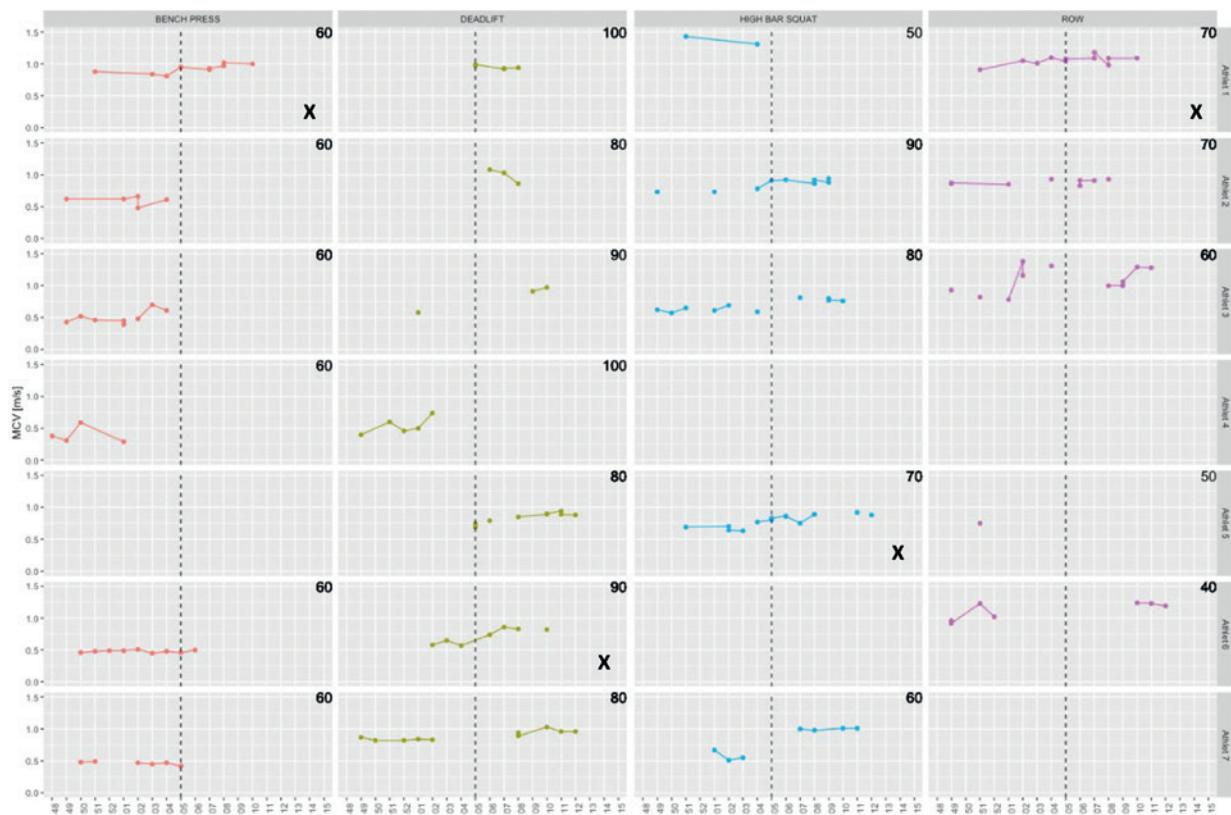


Abb. 1: Übersicht der VBT-Monitoring-Daten. Mit X gekennzeichnete Daten wurden im Rahmen der (exemplarischen) individuellen Analyse ausgewertet. Die Abbildung zeigt die geringe Datenmenge.

## 4 Diskussion

Die vorliegende Studie untersuchte den Einfluss von Velocity-Based-Training (VBT) auf verschiedene Leistungsparameter von gut trainierten Ruderern. Dabei sollte geklärt werden, ob die Angleichung der Bewegungsgeschwindigkeit im Krafttraining an die Ruderwettkampfbewegung (im Boot) zu einer Verbesserung der Ruderwettkampfleistung führen kann.

Die Analyse ergab signifikante Effekte für die Leistungen bei einer Laktatkonzentration von  $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  (P4), der individuellen Laktatschwelle (LT2), der Leistung beim 2000-m-Time-Trial-Test (P2k) und der maximalen Laktatbildungsr率e ( $vLa_{max}$ ), jedoch keine signifikanten Effekte für  $\dot{VO}_{2max}$  und  $vLa_{max}$ . Diese Ergebnisse könnten darauf hindeuten, dass VBT eher spezifische Parameter beeinflusst, die direkt mit der Wettkampfleistung in Verbindung stehen könnten. Trotz eines 20-wöchigen Trainings ergaben sich nur geringe Anpassungen, die teils nur geringfügig über dem Messfehler lagen. Dies legt nahe, dass das implementierte Training in der Baseline- sowie in der Interventionsphase nicht die gewünschten Anpassungen induzieren konnte, obwohl andere vergleichbare ruderspezifische Studien stärkere oder signifikante Anpassungen dokumentieren konnten (Held et al., 2019; Held, Hecksteden, et al., 2020).

In der aktuellen Studie wurde erstmals eine signifikante Abnahme der maximalen Laktatbildungsr率e ( $vLa_{max}$ ) im Rudern festgestellt. Die praktische Relevanz dieser Veränderung ist jedoch unklar, da es keine spezifischen Referenzwerte für das Rudern gibt (Held et al., 2023). Die  $vLa_{max}$ -Messung im Rudern (Held et al., 2023) zeigte jedoch exzellente Intraklassen-Korrelationen und einen geringen Messfehler, was auf eine hohe zwischentägliche Zuverlässigkeit hinweist. Die  $vLa_{max}$ -Werte im Rudern sind dabei generell niedriger als in anderen Sportarten, was unter anderem auf unterschiedliche Bewegungsfrequenzen, sportartspezifische Muskelrekrutierung oder die Trainingshintergründe der Teilnehmer zurückzuführen sein könnte (Held, Siebert, et al., 2020b). Die statistisch signifikante Abnahme der  $vLa_{max}$  im Laufe der Intervention

könnte auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein, etwa auf die Art der Intervention oder die spezifischen Trainingsbedingungen. Da jedoch keine Referenzwerte für das Rudern vorliegen, ist die Interpretation dieser Veränderungen schwierig. In anderen Sportarten wie Schwimmen, Radfahren und Laufen zeigen Trainingsinterventionen unterschiedliche Effekte auf die  $vLa_{max}$ : Hohe Intensitäten und Sprint-Intervall-Training führen zu einer Erhöhung, während langanhaltendes, gering intensives Training zu einer Reduktion führt (Sperlich et al., 2010). Zusammenfassend bietet unsere Interventionsstudie erste Einblicke in die Veränderungen der  $vLa_{max}$  im Rudern, deren praktische Relevanz durch das Fehlen von ruderspezifischen Referenzwerten ungeklärt bleibt.

Die Analyse der mittleren konzentrischen Geschwindigkeit (MCV) war durch den erheblichen Datenverlust stark eingeschränkt. Die Ergebnisse sind daher nicht repräsentativ, sondern bieten nur exemplarische Analysen, die aufzeigen, welche Erkenntnisse bei vollständiger Datenlage potenziell hätten gewonnen werden können. Die Studie zeigt, dass unter den aktuellen Bedingungen der Einsatz eines sensorbasierten Überwachungssystems im deutschen Ruderverband nicht empfehlenswert ist. Es wird empfohlen, die Handhabung der Sensortechnologie zu verbessern und die Akzeptanz bei Athletinnen und Athleten und Trainerinnen und Trainern zu erhöhen, um künftige Untersuchungen zu verbessern.

In dieser Studie konnten trotz eines 20-wöchigen Gesamtzeitraums keine relevanten Leistungsverbesserungen bei den untersuchten Ruderern festgestellt werden. Dies wirft Fragen zur Effektivität des implementierten Velocity-Based-Trainings (VBT) als auch der vorgeschalteten Baseline-Phase auf. Des Weiteren wurde die Analyse durch erhebliche Datenverluste kompliziert.

Dies deutet darauf hin, dass die Umsetzung eines solchen Trainings- und Monitoringsystems sich an den situativen Rahmenbedingungen der Standorte orientieren sollte, um die Nutzbarkeit (Usability) und die Anwendbarkeit (Applicabi-

lity) zu erhöhen. Technisch aufwendige Systeme, die in der Handhabung anforderungsvoll sind, können die Adhärenz und Compliance erheblich beeinflussen. Für eine erfolgreiche Implementierung sind finanzielle und personelle Ressourcen erforderlich, die es den Athletinnen und Athleten und Trainerinnen und Trainern ermöglichen, einfach und für die Trainingspraxis unkomplizierte Daten zu akquirieren, die einen Mehrwert für den Entscheidungsprozess im Training bedeuten.

## 5 Literatur

- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associates.
- Dunst, A. K. (2022). Trends und Perspektiven im Radsport: Geschwindigkeitsbasiertes Training in der Praxis. Leistungssport, 52(1), S. 43-46.
- Heck, H., Schulz, H., & Bartmus, U. (2003). Diagnostics of anaerobic power and capacity. European Journal of Sport Science, 3(3), 1-23. <https://doi.org/10.1080/17461390300073302>.
- Held, S., Behringer, M., & Donath, L. (2019). Low intensity rowing with blood flow restriction over 5 weeks increases  $\dot{V}O_{2\max}$  in elite rowers: A randomized controlled trial. Journal of Science and Medicine in Sport. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.10.002>.
- Held, S., Hecksteden, A., Meyer, T., & Donath, L. (2020). Improved strength and recovery after velocity-based training: A randomized controlled trial. International Journal of Sports Physiology and Performance.
- Held, S., Rappelt, L., Brockherde, J., & Donath, L. (2023). Reliability of the maximal lactate accumulation rate in rowers. International Journal of Sports Medicine.
- Held, S., Siebert, T., & Donath, L. (2020a). 10% Higher Rowing Power Outputs After Flexion-Extension-Cycle Compared to an Isolated Concentric Contraction in Sub-Elite Rowers. Frontiers in Physiology, 11, 521. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00521>.
- Held, S., Siebert, T., & Donath, L. (2020b). Changes in mechanical power output in rowing by varying stroke rate and gearing. European Journal of Sport Science, 1-9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1628308>.
- Heyden, G. (2010). Krafttraining beim Rudern. Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Trainingsmethoden. <http://www.hs.tudortmund.de/rudersymposium/abstracts/pdf-dateien/3-8-heyden-kraft-training-beimrudern.pdf>.
- Jidovtseff, B., Harris, N. K., Crielaard, J.-M., & Cronin, J. B. (2011). Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. Journal of Strength and Conditioning Research, 25(1), 267-270. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f>.
- Kaneko, M. (1984). Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. Scandinavian Journal of Sports Sciences, 5(2), S. 50-55.
- Kleshnev, V. (2021). The Biomechanics of Rowing: A Unique Insight Into the Technical and Tactical Aspects of Elite Rowing (2nd Edition). Crowood Press.
- Lawton, T., Cronin, J., & McGuigan, M. (2013). Strength, power, and muscular endurance exercise and elite rowing ergometer performance. Journal of Strength and Conditioning Research, 27(7), 1928-1935. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182772f27>.

McBride, J., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. (2002). The Effect of Heavy- Vs. Light-Load Jump Squats on the Development of Strength, Power, and Speed. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 75. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2002\)016<0075:TEOHVL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2002)016<0075:TEOHVL>2.0.CO;2).

McNeely, E. (2005). Building Strength. In V. Nolte (Hrsg.), *Rowing Faster* (S. 87–89). Human Kinetics.

Pinheiro, J., & Bates, D. (2000). Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. Springer.

Portney, L. G., Watkins, M. P., & others. (2009). Foundations of clinical research: Applications to practice (Bd. 892). Pearson/Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.

Schwarzrock, M., Treff, G., Viedt, C., Bielig, B., Wick, J., Reyher, D., & Amort, M. (2017). Trainingsmethodische Grundkonzeption 2017-2020. Deutscher Ruderverband.

Smith, T. B., & Hopkins, W. G. (2012). Measures of Rowing Performance. *Sports Medicine*, 42(4), 343–358. <https://doi.org/10.2165/11597230-00000000-00000>.

Sperlich, B., Zinner, C., Heilemann, I., Kjendlie, P.-L., Holmberg, H.-C., & Mester, J. (2010). High-intensity interval training improves VO<sub>2peak</sub>, maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9-11-year-old swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 110(5), 1029–1036. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1586-4>.

# Monitoring der Leistungsvariabilität der Ruderinnen des Bundesstützpunkt Berlin entlang des Menstruationszyklus (LeRuMe)

AZ 072050/22-23

*Lars Claußen<sup>1</sup>, Nikolai Böhlke<sup>2</sup> und Kirsten Legerlotz<sup>3</sup> (Projektleitung)*

<sup>1</sup>Sportmedizin, Institut für Sportwissenschaft, Humboldt-Universität zu Berlin

<sup>2</sup>Olympiastützpunkt Berlin

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

## 1 Einleitung

Die im Verlaufe des Menstruationszyklus auftretenden charakteristischen Schwankungen der Sexualhormone (Elliott-Sale et al., 2021; McNulty et al., 2020) können sich auf die Leistungsfähigkeit der kardiovaskulären, respiratorischen, metabolischen, thermoregulatorischen und neuromuskulären Systeme von Sportlerinnen auswirken (Platen, 2023). Nicht bekannt ist, ob bei einer Sportlerin, deren Leistungsvermögen im Verlauf des Zyklus messbar schwankt, sowohl Kraft- als auch Ausdauerleistungsfähigkeit gleichermaßen vom Zyklus betroffen sind. Auch wurde unseres Wissens noch nicht betrachtet, ob bei einer betroffenen Sportlerin die unterschiedlichen Aspekte der Leistungsfähigkeit im gleichen Rhythmus mit dem Zyklus schwanken oder ob Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit unterschiedlich im Zyklusverlauf schwanken.

Das olympische Rudern ist durch sehr hohe Anforderungen sowohl an die Ausdauer- wie auch die Kraftleistungsfähigkeit gekennzeichnet, wobei das gleichzeitige Trainieren beider Leistungskomponenten zu einem hohen physiologischen Stress führt (Volianitis and Secher, 2009). Das Grundlagentraining der Vorbereitungsphase der Saison (Oktober bis Januar) ist durch hohe Trainingsvolumina charakterisiert, die im Kraftraum und auf Ruderergometern absolviert werden. Entsprechend schien ein standardisiertes Monitoring einer Kohorte von Ruderinnen während ihrer Vorbereitungsphase

geeignet, um Leistungsschwankungen sowohl der Kraft wie auch der Ausdauer zu beobachten.

Ziel der Studie war die Identifikation von individuellen Schwankungen der Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit der teilnehmenden Ruderinnen entlang ihres Menstruationszyklus. Dabei sollten eventuelle Systematiken der Schwankungen der einzelnen Leistungsparameter herausgearbeitet werden. In Hinblick auf diese möglichen Schwankungen sollten darüber hinaus Sportlerinnen identifiziert werden, bei denen die Berücksichtigung des Menstruationszyklus eine bisher vernachlässigte Leistungsreserve darstellen könnte.

## 2 Methode

Über einen Zeitraum von drei Monaten (Oktober 2022 bis Ende Januar 2023) wurden acht volljährige, gesunde Bundeskader-Ruderinnen (Skull und Riemen;  $24 \pm 1$  Jahre;  $180 \pm 4$  cm;  $77 \pm 5$  kg) einem engmaschigen Monitoring mit zweimal wöchentlichen Messungen ihrer Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit, Körperzusammensetzung und Hormonkonzentration unterzogen. Alle Messungen wurden an der Trainingsstätte der Athletinnen vor Beginn des Trainingstages zwischen 7:15 Uhr bis 8:15 Uhr absolviert. Darüber hinaus wurde das allgemeine Wohlbefinden täglich abgefragt und die Körperkerntemperatur kontinuierlich und automatisiert mittels eines Temperatursensors erfasst. Die Athletinnen traten zu einem zufälligen Zeitpunkt ihres

Menstruationszyklus der Studie bei. Vereinbartes Ziel zwischen Forschungsteam, Verband, Trainern und Sportlerinnen war es, bis zu drei komplette, zusammenhängende Zyklen zu beschreiben. Vor dem Beginn des eigentlichen Monitorings durchliefen die Sportlerinnen eine Gewöhnungsphase, in der sie mit den Testinhalten vertraut gemacht wurden. Fünf Athletinnen nutzen keine exogenen Hormone zur Empfän- nisverhütung und drei verhüteten mit Hormon- spiralen (Mirena, Kyleena), die laut Herstelleran- gaben lokal und nicht ovulationsunterdrückend wirken. Innerhalb dieser Studie nahmen weitere sechs Athletinnen an dem Monitoring teil. Diese nutzten jedoch allesamt eisprungunterdrückende hormonelle Kontrazeption, weshalb sie in dieser Auswertung nicht berücksichtigt werden. Die Ethikkommission der Kultur-, Sozial- und Bildungswissenschaftlichen Fakultät der Humboldt Universität erteilte ein positives Ethikvotum und alle Athletinnen stimmten der Teilnahme an der Studie schriftlich zu.

**Wohlbefinden:** Die Athletinnen füllten jeden Morgen einen einseitigen Fragebogen aus, der sich an der Kurzskala Erholung und Beanspruchung (KEB) orientierte (Kellmann, 2010) und um Fragen nach der Trainingsmotivation und zum Auftreten der Menstruation und menstruationsbegleitender Symptome ergänzte wurde. Das Ausfüllen des Fragebogens nahm ca. 2 Minuten in Anspruch.

**Hormonkonzentration:** Vor dem Ausdauertest gaben alle Athletinnen eine Speichelprobe ab (ca. 1ml). Die Proben wurden zunächst in einem Gefrierschrank (-20°C) aufbewahrt, bevor sie in ein medizinisches Diagnostiklabor geschickt wurden, wo die Hormonkonzentration von Testosteron, Cortisol, Estradiol und Progesteron mittels Festphasen-Enzymimmunoassays analy- siert wurde. Eine weitere Speichelprobe wurde als „Post-Test“ zehn Minuten nach dem Ausdau- ertest abgegeben. Da sich bisher keine aussage- kräftigen Ergebnisse aus diesen Proben ergeben haben, werden diese in diesem Bericht nicht weiter thematisiert.

**Körperzusammensetzung:** Vor Beginn des Monitorings bzw. Trainings und mit standardi-

sierter, minimaler Bekleidung (Sporteinteiler) wurden Körpergewicht und Körperzusam- men- setzung erfasst. Die Messung wurde mit einer Säulenwaage (Seca 704) und einem mobilen Bioimpedanzsystem (Inbody S10) durchgeföhrt. Da sich keine aussagekräftigen Ergebnisse aus diesen Messungen ergeben haben, werden die Ergebnisse in diesem Bericht nicht weiter the- matisiert.

**Körpertemperatur:** Die Körperkerntemperatur steigt mit dem Eisprung (Ovulation) im Mittel um 0,5 °C an und sinkt zur Menstruation wieder ab. Damit kann der Anstieg der Körperkerntem- peratur als Indikator für den Eisprung genutzt werden. Da die Körpertemperatur jedoch auch im Tagesverlauf zyklisch schwankt, wurde sie bei den Athletinnen kontinuierlich mittels Ovu- laRing (VivoSensMedical GmbH, Leipzig) erfasst. Der Sensor zeichnete die Temperatur alle 5 min auf und speicherte die Temperaturdaten bis zur Entnahme und dem daran anschließenden Aus- lesen per Bluetooth.

**Ausdauerleistungsfähigkeit:** Zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit wurde ein sub- maximaler Rudertest (SmRT) auf Concept2- Model-D-Ruderergometern (FA Cocept2, USA) durchgeföhrt . Das Design von Otter et al. (2015) wurde angepasst (die letzte Stufe wurde gekürzt), um die Adhärenz der Sportlerinnen für die häu- figen Messungen zu sichern. Nach dem Auf- wärmen auf dem Ruderergometer wurden drei Stufen durchlaufen, deren Intensität sich nach der maximalen Herzfrequenz (HFmax) richtete: eine Minute hochfahren auf 70% der HFmax und diese dann fünf Minuten halten, dann wie- der innerhalb einer Minute hochfahren auf 80% der HFmax und diese Stufen dann wieder fünf Minuten halten und schließlich eine Minute hochfahren auf 90% der HFmax und diese Inten- sität dann wieder eine Minute halten. In jeder Stufe wurden die Sportlerinnen angehalten, die Herzfrequenz möglichst konstant zu halten (+/- 1 Schläge pro Minute). Pro Stufe wurde die mittlere Wattleistung und Herzfrequenz (Polar H10 Herzfrequenzsensor) erfasst. In den letzten 30 Sekunden jeder Stufe wurden die Teilnehmerin- nen bzgl. ihrer individuell wahrgenommenen Erschöpfung (RPE) (Borg 10-Skala) befragt und

die Herzfrequenz wurde notiert. Die zur Steuerung des SmRT nötige maximale Herzfrequenz wurde für jede Sportlerin aus Leistungstests der vorangegangenen zwölf Monate ermittelt und während des Studienzeitraums konstant gehalten.

**Kraftfähigkeit:** Die Schnell- und Maximalkraft wurde über Vertikalsprünge und isometrische Oberschenkelzüge (isometric midthigh pull = IMTP) erfasst. Nach einem strukturierten Aufwärmprogramm führte jede Teilnehmerin auf einer Kraftmessplatte (vald performance), Brisbane, Australien) zwei maximale Vertikalsprünge mit Umkehrbewegung (Counter Movement Jumps; CMJ) und ohne Armeinsatz (akimbo) durch. Anschließend führten die Teilnehmerinnen zwei maximale IMTPs durch, für die ein Diagnostikrahmen zur Verfügung stand, auf dessen Bodenplatte das Kraftmessplattensystem zur Messung der erreichten Bodenreaktionskraft gelegt wurde. Die individuell eingestellte Höhe der Zugstange wurde während der Eingewöhnungsphase für jeder Sportlerin festgelegt und so gewählt, dass sich eine Körperposition vergleichbar zur zweiten Zugphase des Umsetzens ergab (Comfort et al., 2019). Nach Einstellung der Stangenhöhe stellte sich die jeweilige Athletin auf die Kraftmessplatte und führte einen submaximalen Probezug durch. Danach folgte ein maximalkräftiger Zug. Die Züge sollten für 2-3 Sekunden gehalten werden. Zwischen den Zügen sollte eine Minute Pause sein. Sollten die erreichten Maximalkraftwerte der zwei gemessenen Züge an einem Testtag um mehr als 150 N voneinander abweichen, wurden die Sportlerinnen gebeten einen dritten Zug zu absolvieren.

**Statistik:** Die Statistik wurde mittels SPSS (IBM, Stanford, USA) durchgeführt und das Signifikanzniveau mit  $p < 0,05$  festgelegt. Um die Zusammenhänge zwischen Ausdauer- und Kraftleistungsfähigkeit sowie der Cortisolkonzentration und der Ausdauerleistungsfähigkeit jeder individuellen Sportlerin zu analysieren, wurden Pearson-Korrelationskoeffizienten berechnet. Um die möglichen Zusammenhänge von nominal skalierten Variablen mit intervallskalierten Variablen zu analysieren, wurde der  $\eta^2$ -Koeffizient berechnet (Zyklusphase und

Kraftleistungsfähigkeit; Zyklusphase und Ausdauerleistungsfähigkeit). Für die Auswertung möglicher Zusammenhänge von ordinal skalierten Variablen mit intervallskalierten Daten (Zusammenhang Trainingsmotivation und Testosteronkonzentration) wurden die Rangkorrelationskoeffizienten Spearmans  $\rho$  und Kendalls  $\tau$  berechnet. Unterschiede des Verhältnisses der Erholungs- und Beanspruchungswerte in den einzelnen Zyklusphasen wurden mittels des Friedmann-Tests untersucht.

### 3 Ergebnisse

Zunächst ist festzuhalten, dass das Ziel, drei Zyklen pro Sportlerin komplett und zusammenhängend zu dokumentieren, nicht erreicht werden konnte. Im Mittel konnten hinsichtlich der Befindlichkeit und Körperkerntemperatur zwei Zyklen erfasst werden, hinsichtlich der Kraftfähigkeit anderthalb Zyklen und hinsichtlich der Ausdauerleistungsfähigkeit nur ein zusammenhängender Zyklus. Von den acht untersuchten Athletinnen zeigten zwei Athletinnen (A & E) durchgehend normgerechte ovulatorische Zyklen (27-32 Tage lang). Athletin B zeigte einen verkürzten Zyklus (23 Tage lang), gefolgt von zwei normgerechten ovulatorischen Zyklen (je 26 Tage lang). Athletin C hatte zunächst einen deutlich verlängerten, aber ovulatorischen ersten Zyklus (60 Tage lang), gefolgt von einem normgerechten ovulatorischen Zyklus (29 Tage lang). Athletin D zeigte einen normgerechten ovulatorischen Zyklus, gefolgt von einem verkürzten 21 Tage langen anovulatorischen Zyklus, auf den ein ovulatorischer Zyklus folgte. Athletin F hat den OvulaRing nicht getragen, sodass keine Verifizierung des Eissprungs möglich war. Niedrige Progesteronkonzentrationen lassen jedoch vermuten, dass die Zyklen anovulatorisch waren. Athletin G zeigte zwei normgerechte ovulatorische Zyklen, gefolgt von einem entweder anovulatorischen oder oligomeorrhoeischen Zyklus mit deutlich verlängerter ersten Zyklushälfte.

Das Verhältnis von Erholung zu Beanspruchung aus der KEB war mit  $2,3 \pm 1,8$  Punkten in der Ovulationsphase im Mittel am höchsten, unterschied sich jedoch nicht signifikant von

den anderen Zyklusphasen (frühe Follikelphase  $1,5 \pm 0,6$ ; späte Follikelphase  $1,7 \pm 0,9$ ; frühe Lutealphase  $2,1 \pm 1,2$ ; späte Lutealphase  $1,9 \pm 1,0$ ).

Bei keiner Athletin konnten signifikanten Zusammenhänge zwischen Testosteronkonzentration und Trainingsmotivation im Zyklusverlauf erkannt werden (Abb. 1). Bei Athletin A konnte keine Korrelationsanalyse durchgeführt werden, da diese Athletin an Zeitpunkten, an denen die Hormonmessung durchgeführt wurde, immer das gleiche Niveau der Trainings-

motivation mit 4 Punkten angab. Die individuellen Level der Testosteronkonzentration und deren Schwankung im Verlaufe des Zyklus variierten zwischen den Sportlerinnen stark. Eine zyklusabhängige Schwankung der Testosteronkonzentration war bei keiner der Sportlerinnen deutlich zu erkennen. Allerdings dokumentierten vier von sieben Sportlerinnen, bei denen eine Ovulationsphase bestimmbar war, um die Ovulation im Mittel die höchste Trainingsmotivation (B, C, D & E).

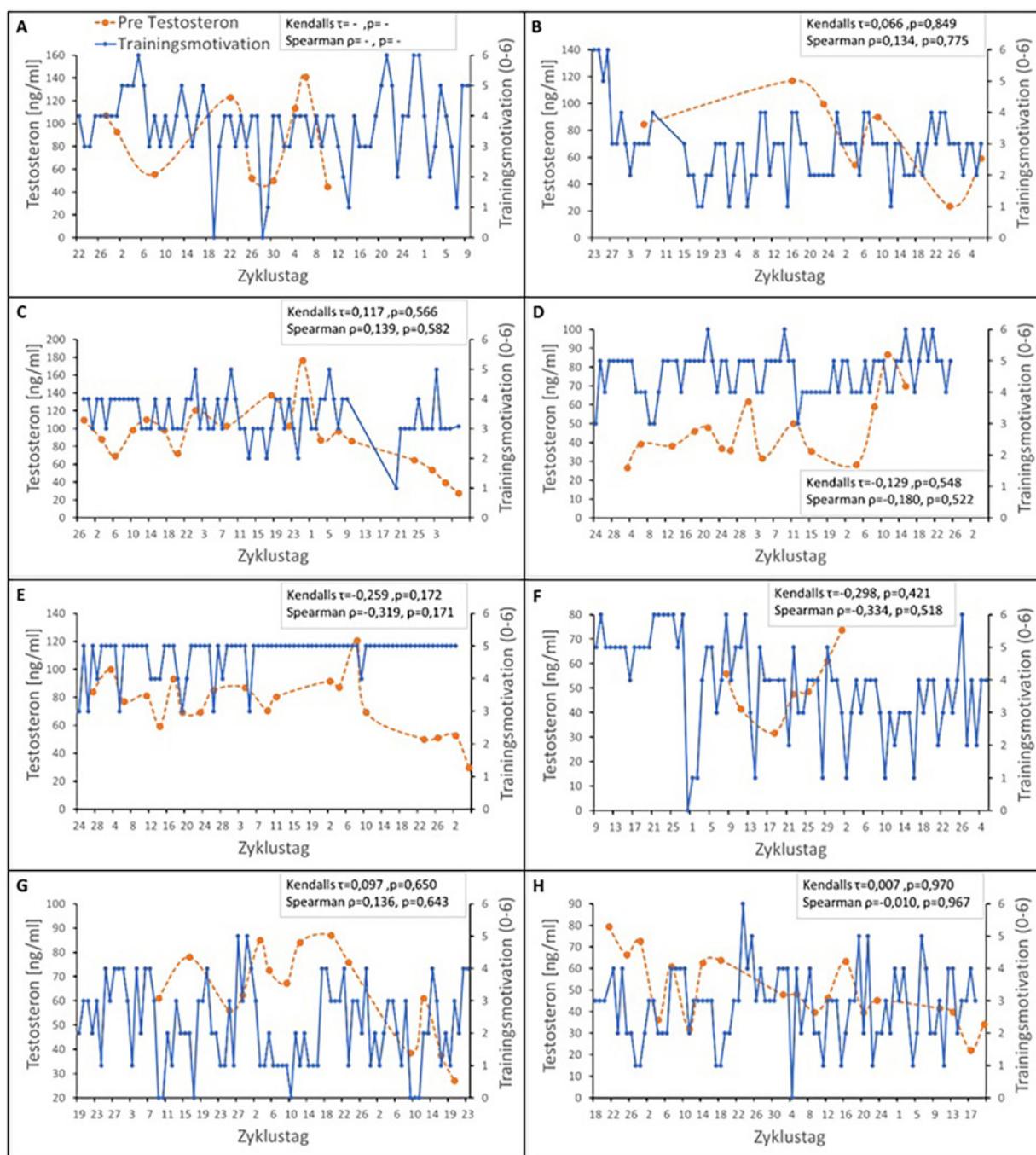


Abb. 1: Trainingsmotivation und Testosteronkonzentration im Zyklusverlauf

Hinsichtlich der Sprunghöhe beim CMJ und der Bodenreaktionskraft beim IMTP konnten keine deutlichen Zusammenhänge mit dem Zyklusverlauf erkannt werden (Abb. 2). Bei den Athletinnen A und E lässt sich ein zyklisches Verhalten der Kraftleistung erahnen, mit erhöhten Kraftwerten um die Zyklusmitte.

Die Leistung beim Ausdauertest, insb. die mittlere Leistung in der 3. Belastungsstufe (90% HFmax) scheint bei den Athletinnen A und G zyklisch zu schwanken mit erhöhten Leistungen um die Zyklusmitte. Hinsichtlich der Cortisolwerte und der erreichten Leistung im SmRT kann bei Athletin A ein möglicher Zusammenhang der Corti-

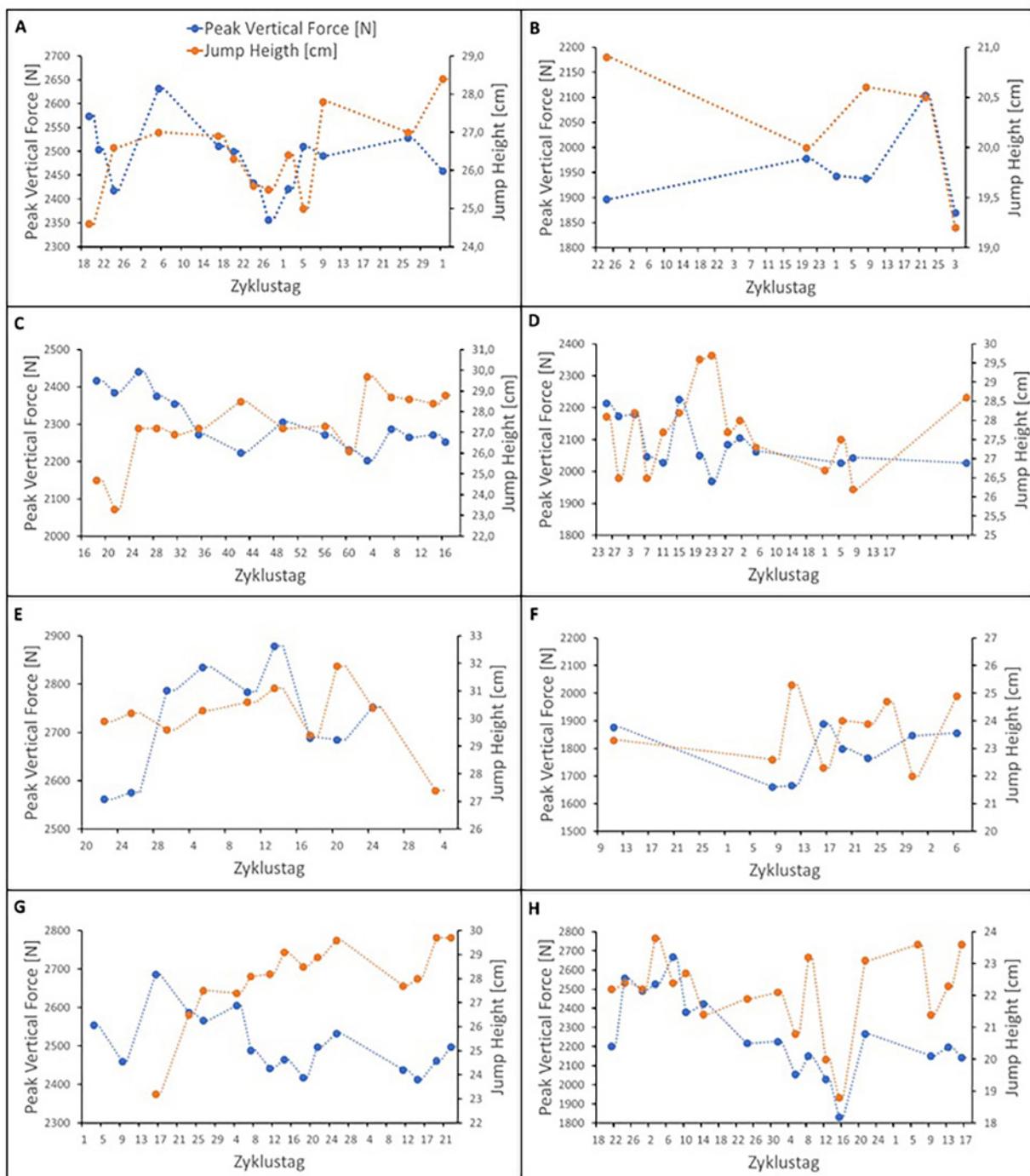


Abb. 2: IMTP Peak Vertical Force und CMJ-Sprunghöhe im Zyklusverlauf

solvante und der erreichten Leistung vermutet werden (Abb. 3). Die Sportlerin zeigt bei hohen Cortisolwerten eine eher niedrige Leistung und an Tagen mit niedrigen Cortisolwerten eine erhöhte Leistung. Bei allen anderen Athletinnen kann kein deutlicher Zusammenhang der Parameter Ausdauerleistung und Cortisolkonzentration beobachtet werden.

Hinsichtlich zyklusabhängiger Schwankungen in der Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit (Abb. 4) zeigte sich, dass eine Sportlerin (G) von signifikanten zyklusabhängigen Schwankungen der Leistungsfähigkeit betroffen ist. Die  $\eta^2$ -Koeffizienten zeigen, dass sich die Varianz der maximalen Kraft (Peak Vertical Force im IMTP) sowie der Ausdauerleistungsfähigkeit

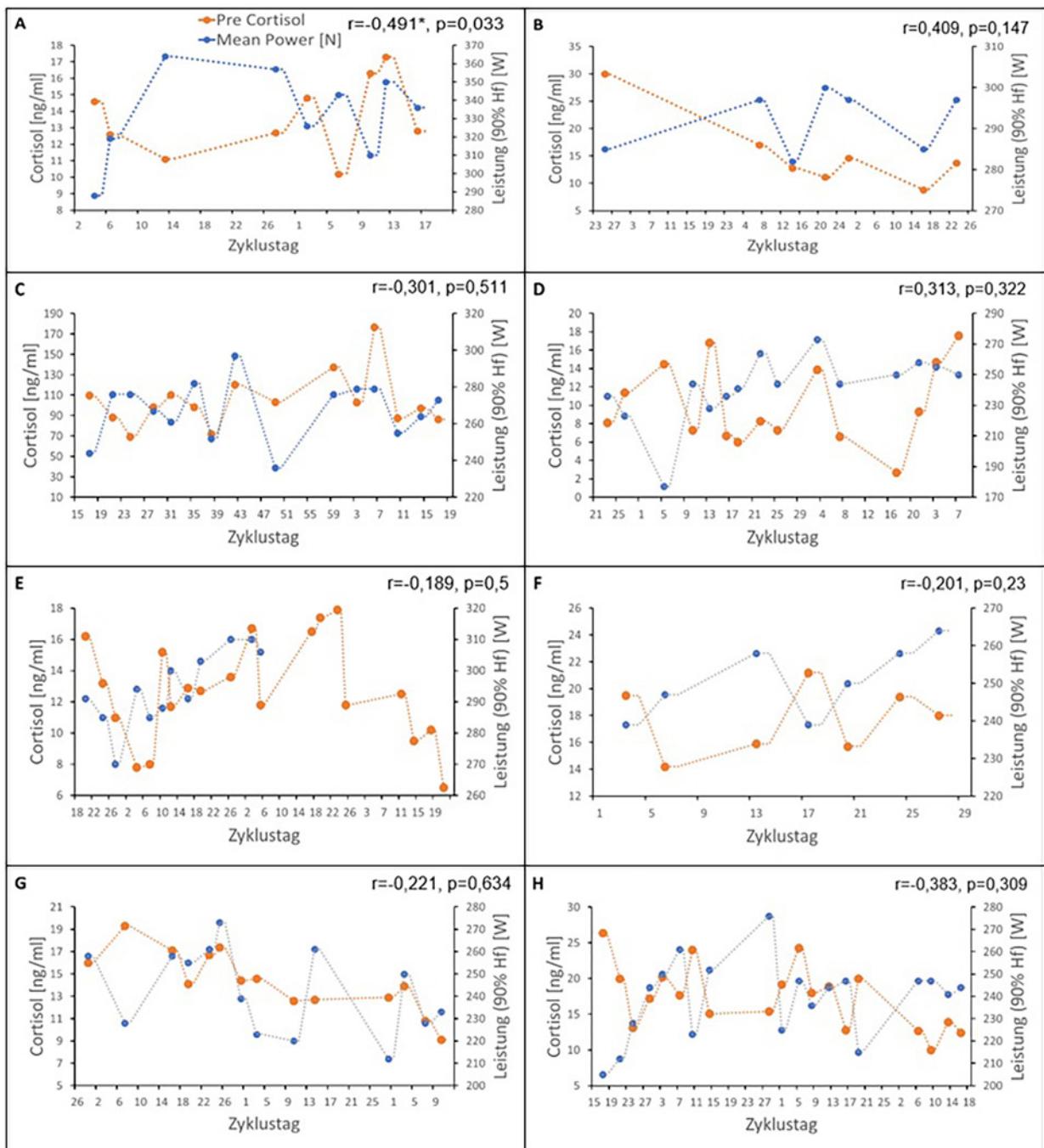


Abb. 3: Leistung bei 90%Hf des SmRT und Cortisol-Konzentration im Zyklusverlauf

(Mean Power 90%HF) teilweise mit der dazugehörigen Zyklusphase erklären lassen kann. Der Zusammenhang zwischen Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit an sich war hier allerdings nicht-signifikant. Bei Athletin (F) schwanken Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit signifikant im gleichen Rhythmus, wobei die Kraftfähigkeit hoch

ist, wenn die Ausdauerleistungsfähigkeit hoch ist und umgekehrt. Allerdings ist die Datendichte bei dieser Athletin besonders gering. Bei allen anderen Athletinnen zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit.

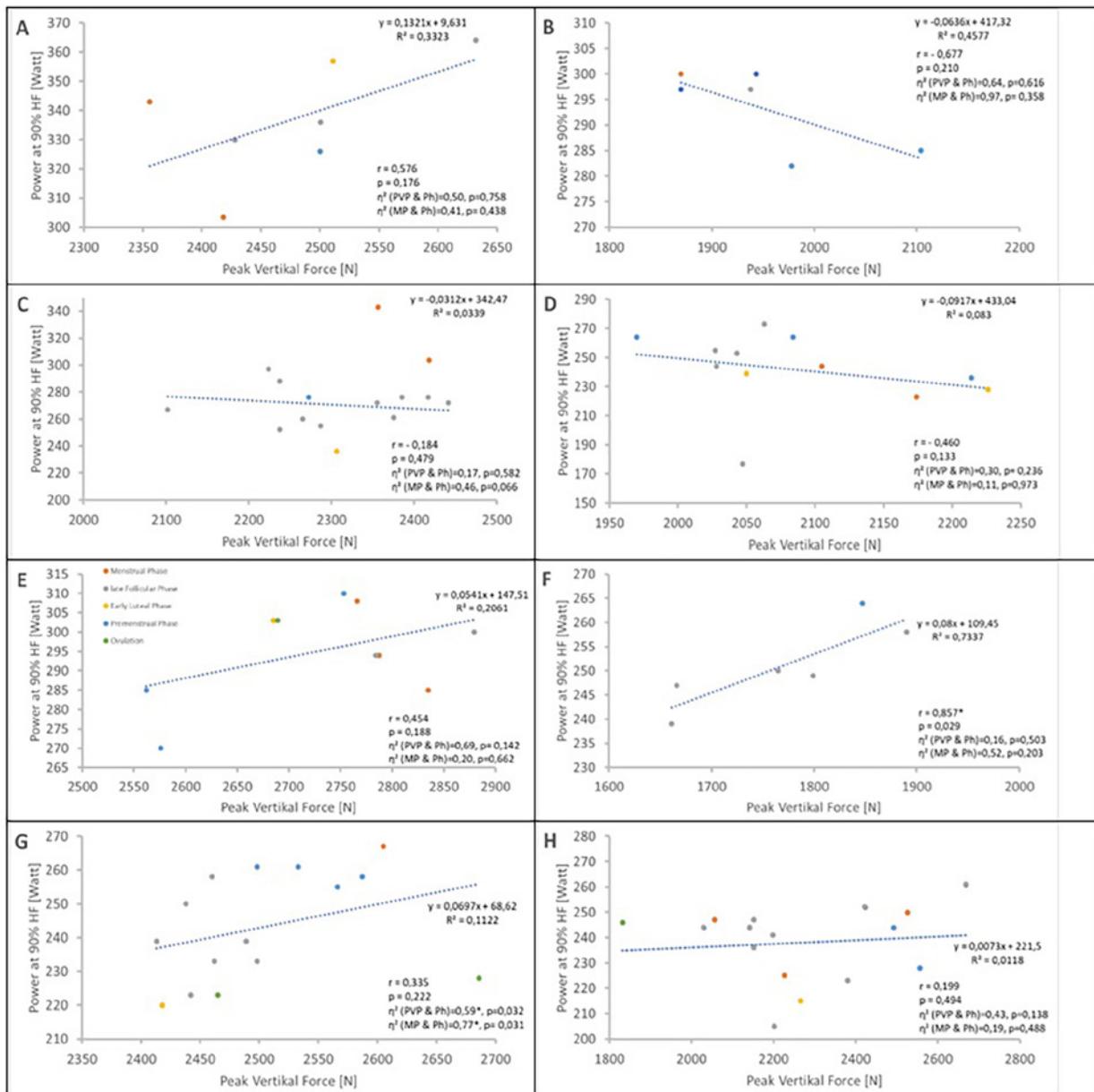


Abb. 4: Lineare Regression der Ausdauer- und Kraftleistungsfähigkeit (Datenpunkte farblich nach Zyklusphase gekennzeichnet: Rot=Menstruationsphase (frühe Follikelphase), Grau=späte Follikelphase, Grün=Ovulationsphase, Gelb=frühe Lutealphase, Blau=prämenstruale Phase (späte Lutealphase)); r: Pearson Korrelationskoeffizient (Peak Vertical Force (PVP) & Mean Power (MP));  $\eta^2$ : Eta-Koeffizient (Zyklusphase (PH) & PVP und PH & MP).

## 4 Diskussion

Bei einzelnen Athletinnen konnten zyklusabhängige Schwankungen der Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit beobachtet werden. Somit konnten Sportlerinnen identifiziert werden, bei denen die Berücksichtigung des Menstruationszyklus in der Trainingsplanung evtl. sinnvoll erscheint. Große intraindividuelle Schwankungen der erfassten Parameter sowie eine deutlich geringere Messdatendichte als antizipiert erschweren die Beobachtung systematischer Leistungsschwankungen. Entsprechend ist die Beantwortung der ursprünglichen Frage dieses Projekts nur unzureichend gelungen. Sechs von acht Athletinnen zeigten zyklusbezogene Aufälligkeiten wie anovulatorische Zyklen oder abnormal kurze oder lange Zyklen, was auf Störungen der hormonellen Regulation hindeutet. Zyklusstörungen treten gerade bei Leistungssportlerinnen sehr häufig auf, da hohe körperliche Anforderungen, unzureichende Erholung, dauerhaft unzureichende Nahrungsaufnahme und psychischer Stress neuroendokrine Regulationsprozesse der Hypothalamus-Hypophysen-Eierstock-Achse stören können (Gimunova et al., 2022). Diese Symptome endokriner Dysregulation können neben negativen Effekten auf die Leistungs-, Regenerations- und Anpassungsfähigkeit auch vielfache unerwünschte gesundheitlichen Konsequenzen haben, wie reduzierte Knochendichte, erhöhtes Risiko für Ermüdungsbrüche und erhöhte Infektanfälligkeit (Mountjoy et al., 2018). Eine Lutealphaseninsuffizienz (verkürzte Lutealphase) sowie anovulatorische Zyklen (Zyklen ohne Eisprung) stellen dabei subtile Störungen der Eierstockfunktion dar, die langfristig zu einer Oligomenorrhoe oder sekundären Amenorrhoe führen können (Taim et al., 2023). Auch diese Zyklusstörungen treten bei intensiv sporttreibenden Frauen deutlich häufiger auf als bei wenig oder nicht sportlich aktiven Frauen (De Souza et al., 2010). Zyklusstörungen machen es jedoch je nach Stärke der Ausprägung schwer bis unmöglich, systematische Schwankungen der sportlichen Leistungsfähigkeit entlang ihres Menstruationszyklus aufzudecken. Die Häufigkeit der Zyklusstörungen in der untersuchten Kohorte ist insofern alarmierend, als dass der Untersu-

chungszeitraum in die Vorbereitungsphase fiel, in der die Athletinnen verhältnismäßig ausgeruht hätten sein sollen. Es ist zu erwarten, dass die physische und psychische Belastung in der Wettkampfphase steigt und die Häufigkeit der Zyklusstörungen damit eher zunimmt.

Neben den intraindividuellen Schwankungen zeigten sich ebenfalls sehr große interindividuelle Unterschiede, sodass keine allgemeingültigen für alle Athletinnen geltenden Aussagen hinsichtlich des Einflusses des Zyklus getroffen werden können. Dies unterstützt die Forderung aktueller Reviews, personalisierte Ansätze in der Trainingssteuerung zu verfolgen, um die interindividuell unterschiedlichen Auswirkungen des Menstruationszyklus angemessen berücksichtigen zu können (McNulty et al., 2020, Meignie et al., 2021). Die für die personalisierte Trainingssteuerung erforderliche Erstellung eines Zyklus-Leistungs-Profiles scheint jedoch in der Praxis des deutschen Sportsystems schwer umsetzbar zu sein. Bei den in dieser Studie untersuchten Leistungssportlerinnen konnten zahlreiche Messtermine aufgrund von Krankheiten, Verletzungen, Leistungsdiagnostikterminen und Abwesenheiten aufgrund von Trainingslagern, Wettkämpfen sowie Fortbildung, Ausbildung oder Lehrgängen nicht wahrgenommen werden. Die Kombination von unzureichender Messdichte und hoher Variabilität der Daten, verursacht durch Zyklusstörungen sowie Krankheiten, Verletzungen, Leistungsdiagnostiken und Wettkämpfe, erschwert die Erkennung zyklusabhängiger Schwankungen der individuellen Leistungsfähigkeit massiv.

## 5 Schlussfolgerung und Transfer in die Praxis

In Anbetracht der vorliegenden Ergebnisse schlussfolgern wir, dass in der aktuellen leistungssportlichen Trainingspraxis der Fokus primär auf die Feststellung der Zyklusgesundheit gelegt werden sollte sowie auf die Aufdeckung von Zyklusstörungen, die von den Athletinnen häufig nicht wahrgenommen werden (Taim et al., 2023). Ein kontinuierliches Zyklusmonito-

ring, das insbesondere die Länge des Zyklus, Vorhandensein und Länge der Menstruationsblutung sowie das Vorhandensein des Eisprungs erfasst, scheint umsetzbar und würde TrainerInnen und Athletinnen ermöglichen, frühzeitig mit geeigneten Gegenmaßnahmen (z. B. Ernährungsanpassung, Regenerationsmanagement) auf hormonelle Dysbalancen zu reagieren und so Trainingsanpassung und Gesundheit zu verbessern. Um den Anschluss an die internationale Leistungssportpraxis nicht zu verlieren, wo die Berücksichtigung des Zyklus im Trainingsalltag bereits gelebte Praxis ist, sollten neue Individualisierungsansätze im Training von Sportlerinnen angedacht und validiert werden. Trainerinnen und Trainer und Sportlerinnen brauchen Handwerkszeug, um entsprechende Ansätze eines zyklusorientierten Trainings auch ohne das in dieser Studie geplante ressourcenintensive Monitoring zu erproben.

## 6 Literatur

- Comfort, P., Dos'santos, T., Beckham, G. K., Stone, M. H., Guppy, S. N. & Haff, G. G. 2019. Standardization and Methodological Considerations for the Isometric Midthigh Pull. *Strength & Conditioning Journal*, 41, 57-79.
- De Souza, M. J., Toombs, R. J., Scheid, J. L., O'donnell, E., West, S. L. & Williams, N. I. 2010. High prevalence of subtle and severe menstrual disturbances in exercising women: confirmation using daily hormone measures. *Hum Reprod*, 25, 491-503.
- Elliott-Sale, K. J., Minahan, C. L., De Jonge, X., Ackerman, K. E., Sipila, S., Constantini, N. W., Lebrun, C. M. & Hackney, A. C. 2021. Methodological Considerations for Studies in Sport and Exercise Science with Women as Participants: A Working Guide for Standards of Practice for Research on Women. *Sports Med*, 51, 843-861.

- Gimunova, M., Paulinyova, A., Bernacikova, M. & Paludo, A. C. 2022. The Prevalence of Menstrual Cycle Disorders in Female Athletes from Different Sports Disciplines: A Rapid Review. *Int J Environ Res Public Health*, 19.
- Kellmann, M. 2010. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sports*, 20 Suppl 2, 95-102.
- Mcnulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ans dell, P., Goodall, S., Thomas, K. & Hicks, K. M. 2020. The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 50, 1813-1827.
- Meignie, A., Duclos, M., Carling, C., Orhant, E., Provost, P., Toussaint, J. F. & Antero, J. 2021. The Effects of Menstrual Cycle Phase on Elite Athlete Performance: A Critical and Systematic Review. *Front Physiol*, 12, 654585.
- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Ackerman, K. E., Blauwet, C., Constantini, N., Lebrun, C., Lundy, B., Melin, A., Meyer, N., Sherman, R., Tenforde, A. S., Torstveit, M. K. & Budgett, R. 2018. International Olympic Committee (IOC) Consensus Statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): 2018 Update. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 28, 316-331.
- Otter, T. A., Brink, M. S., Lamberts, R. P. & Lemmink, A. P. M. 2015. A new submaximal rowing test to predict 2000m rowing ergometer performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 8.
- Platen, P. 2023. Leistungsfähigkeit und Trainierbarkeit in Abhängigkeit von der Zyklusphase. *Leistungssport*, 53, 42-45.

Taim, B. C., C. O. C., Renard, M., Elliot-Sale, K. J.,  
Madigan, S. & Ni Cheilleachair, N. 2023.  
The Prevalence of Menstrual Cycle Disorders and Menstrual Cycle-Related Symptoms in Female Athletes: A Systematic Literature Review. *Sports Med.*

Volianitis, S. & Secher, N. H. 2009. Rowing, the ultimate challenge to the human body – implications for physiological variables. *Clin Physiol Funct Imaging*, 29, 241-244.

Bundesinstitut für Sportwissenschaft  
Graurheindorfer Str. 198 · 53117 Bonn  
Telefon +49 (0) 228 99 640-9001  
Telefax +49 (0) 228 99 640-9008  
[info@bisp.de](mailto:info@bisp.de)  
[www.bisp.de](http://www.bisp.de)

ISBN 978-3-96523-104-7