



Bundesinstitut
für Sportwissenschaft



Wir helfen
dem Sport

BISp-Jahrbuch

Forschungsförderung 2020/21

2020/21

Bundesinstitut für Sportwissenschaft

BISp-Jahrbuch

Forschungsförderung 2020/21

Impressum

Herausgeber

Bundesinstitut für Sportwissenschaft
Graurheindorfer Straße 198 · 53117 Bonn
info@bisp.de
www.bisp.de

Ansprechpartner

Elke Hillenbach
Tel.: 0228 99 640 9052
E:Mail: elke.hillenbach@bisp.de

Stand

Dezember 201x

BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2020/21

ISBN 978-3-96523-056-9

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

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

Editorial

Laut Errichtungserlass des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI) ist es eine der Hauptaufgaben des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp), Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des Leistungssports in Deutschland zu initiieren, zu fördern und zu koordinieren. Die Auswertung der Forschungsergebnisse erfolgt mit dem Ziel, eine kontinuierliche Sicherung, Erweiterung und Vertiefung von Wissen zu gewährleisten. Ein besonderer Schwerpunkt wird dabei auf den Transfer von (sport)wissenschaftlichen Erkenntnissen in die (Sport)praxis gelegt. Seit 1997 erscheinen regelmäßig Jahrbücher, in denen abgeschlossene Forschungsvorhaben des BISp in Kurzform vorgestellt werden. „Abgeschlossen“ bezieht sich dabei stets auf das Ende der finanziellen Förderung durch das BISp. Der Transfer von Forschungsergebnissen reicht oft weit über diesen Zeitraum hinaus.

Die Forschungsförderung umfasst alle sportwissenschaftlichen Disziplinen. Da wir sportliche Leistungsfähigkeit ganzheitlich unterstützen, gehören Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die sich mit der sportlichen Leistungsoptimierung in Training und Wettkampf, mit Gesundheit und Persönlichkeitsentwicklung sowie den Rahmenbedingungen eines humanen Leistungssports beschäftigen, genauso selbstverständlich zu unseren Handlungsfeldern wie auch die Nachwuchsförderung und die (Weiter) Entwicklung von Sportgeräten, -technologien und Sportstätten über gesellschaftliche und ökonomische Aspekte bis hin zur Dopingbekämpfung.

Darüber hinaus versuchen wir, mit modernen Förderformaten wie den Service-Forschungs- oder Innovationsprojekten, die Bedürfnisse der Verbände bestmöglich zu adressieren und die engen Zeitpläne im Leistungssport zu berücksichtigen.

So wird insbesondere in Projekten der Service-Forschung ein kurzfristiger, dringlicher und sportartspezifischer Forschungs- und Entwicklungsbedarf eines olympischen Spitzenverbandes oder einer paralympischen Sportart mit dem Ziel einer zeit- und praxisnahen Umsetzung bearbeitet.

Der Bedarf für solche Projekte ist hoch, und dementsprechend ist auch die Anzahl der geförderten Service-Forschungsprojekte in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegen. Dies belegt auch in diesem Jahr die hohe Anzahl der Berichte für diesen Projekttyp. Weiterführende Informationen zu den einzelnen Projekttypen und ihrer formalen Abgrenzung finden sich auf der Homepage des BISp (https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Formularcenter/Projekttypen_des_BISp.pdf?__blob=publicationFile&v=12).

Auch im Jahrbuch 2020/21 wurde den Projektnehmerinnen und -nehmern, die Gelegenheit gegeben, ihre Projekte kurz zu umreißen, die (sport)wissenschaftlichen Erkenntnisse zu präsentieren und vor allem auch den Transfer in die Praxis des Leistungssports aufzuzeigen.

Obwohl die Laufzeiten einzelner Projekte bedingt durch die COVID-19-Pandemie verlängert werden mussten und die Durchführung vieler Projekte insgesamt erschwert war, enthält diese Ausgabe 36 Beiträge (nach Aktenzeichen sortiert) zu sportwissenschaftlichen Forschungs- und Transferprojekten, die die thematische Vielfalt der BISp-Forschungsförderung widerspiegeln:

- Medizin und Naturwissenschaften (16 Beiträge),
- Sozial- und Verhaltenswissenschaften (2 Beiträge),
- Sportanlagen und Sporttechnologie (4 Beiträge),
- Service-Forschung (14 Beiträge).

Bedanken möchte ich mich bei allen, die uns bei dieser Arbeit geholfen und unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt dabei den Gutachterinnen und Gutachtern und Mitwirkenden bei den Beratungsgesprächen sowie in den Projektbeiräten für ihr ehrenamtliches Engagement.

Bei Fragen und Anregungen stehen wie immer die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BISp zur Verfügung. Auf unserer Homepage www.bisp.de finden Sie die gewünschten Kontaktdaten sowie zusätzliche Informationen.

Ralph Tiesler

Direktor
Bundesinstitut für Sportwissenschaft

Inhalt

Medizin und Naturwissenschaften	9
Metabolomics im Leistungssport: Effekte von ausdauer- und kraftspezifischen Reizmustern auf das metabolische Profil von Leistungssportlern.....	11
<i>M. Parstorfer, G. Poschet & B. Friedmann-Bette (Projektleitung)</i>	
Prävention von Überlastungsverletzungen der Wurf Schulter im Handball.....	21
<i>Leonard Achenbach (Projektleitung) & Johannes Weber</i>	
Prävention von Dysbalancen der Muskel- und Sehnenadaptation im Jugendleistungssport	27
<i>Falk Mersmann & Adamantios Arampatzis (Projektleitung)</i>	
Einfluss der Alltagsaktivität auf die konditionelle Leistungsentwicklung von Hochleistungsrudern in Grundlagenausdauer- oder Intensitätsbetonten Trainingsmodellen	35
<i>Gunnar Treff (Projektleitung), Robert Leppich, Kay Winkert, Jürgen M. Steinacker, Benjamin Mayer & Billy Sperlich</i>	
Evaluation der Einsatzmöglichkeiten von GK-EMS in der Periodisierung des Hochleistungstrainings: Von der Struktur der Einzelwiederholung bis zur phasenspezifischen Belastungskonstellationen im Wettkampfsjahr.....	41
<i>Florian Micke, Ulrike Dörmann, Nicolas Wirtz & Heinz Kleinöder (Projektleitung)</i>	
Einsatz von Data Mining Verfahren in der Spielanalyse im Beach-Volleyball.....	49
<i>Daniel Link (Projektleitung), Steffen Lang & Raimund Wenning</i>	
Entwicklung und Evaluation einer kognitiv-motorischen Testbatterie zur Diagnostik der Antizipationsleistung im Nachwuchshandball	53
<i>Kevin Melcher, Matthias Hinz, Nico Lehmann & Marco Taubert (Projektleitung)</i>	
Evaluierung eines Laktat-Minimum-Tests/Reverse-Lactate-Threshold-Tests zur Bestimmung des MLSS und deren Vergleich mit Stufentests und etablierten Schwellenkonzepten im Schwimmen	59
<i>P. Wahl (Projektleitung), S. Keller & C. Manunzio</i>	
Spielanalyse im Eishockey (Deutschland-Cup 2019).....	69
<i>Andreas Hohmann (Projektleitung), Markus Hörburger, Mats Schwartje & Stefan Hochstein</i>	
Soll-Ist Bestimmung der Intensitätsverteilung spezifischer Trainingsinhalte im Kanurennsport	77
<i>Manuel Matzka, Philipp Kunz, Billy Sperlich (Projektleitung), Christoph Zinner</i>	
Evaluation eines 10-wöchigen stroboskopischen Trainings zur Verbesserung der visuellen und visuomotorischen Leistung von Nachwuchsbadmintonspielern	83
<i>Andreas Mierau (Projektleitung) & Thorben Hülsdünker</i>	

Biomechanische und neuromuskuläre Einflussgrößen auf die Dreisprungleistung jugendlicher Nachwuchssportler	91
<i>Daniel Hahn (Projektleitung), Alessa Jaspert & Janina Tennler</i>	
Feedback-Optimierung im Skisprung	101
<i>Jakob Ketterer, Benedikt Lauber & Albert Gollhofer (Projektleitung)</i>	
Wettkampfanalyse Taekwondo 2020.....	107
<i>Daniel Link (Projektleitung), Steffen Lang & Klaus Haggemüller</i>	
Wettkampfanalyse Badminton 2020.....	111
<i>Fabian Hammes, David Fischer-Eisentraut, Hannes Käsbauer & Daniel Link (Projektleitung)</i>	
Sozial- und Verhaltenswissenschaften	115
Optimierung von Ausdauerleistung durch psychologische Selbstregulationsstrategien.....	117
<i>Anna Hirsch, Maik Bieleke, Raphael Bertschinger & Wanja Wolff (Projektleitung)</i>	
Bekämpfung der Spielwettbewerbsmanipulation	125
<i>Daniel Memmert (Projektleitung), Christoph Breuer, Martin Nolte, Michel Brinkschulte, Sören Dallmeyer, Thomas Giel, Julia Bauer, Julian Ferber & Adrian Wassmuth</i>	
Sportanlagen und Sporttechnologie	129
Sicherheitstor (SiTor)	131
<i>Martin Thieme-Hack (Projektleitung), Laura Hahn & Thorsten Schmidt</i>	
Trainingsunterstützung im Snowboardsport durch Druckmesssohlen und Beschleunigungssensoren	137
<i>Stephan Odenwald (Projektleitung), Maja Neubert & Stefan Schwanitz</i>	
Grundlagen für einen digitalen Sportstättenatlas	143
<i>Lutz Thieme (Projektleitung) & Sören Wallrodt</i>	
Service-Forschungsprojekte.....	149
Entwicklung eines kognitiven Trainings zur Steigerung der Informationsverarbeitungskompetenz unter Belastung für den Deutschen Segler-Verband.....	151
<i>K.-M. Stadler, M. Bieleke, O. Benthien & W. Wolff (Projektleitung)</i>	
Zusammenhang von Blick- und Entscheidungsverhalten bei Strafecken-Schützzinnen und Schützen im Feldhockey	159
<i>Stefanie Klatt (geb. Hüttermann, Projektleitung), Benjamin Noël & Frowin Fasold</i>	
Aerodynamische Untersuchungen an Anzügen für Ski Alpin und Skeleton – „Aerostoffe“	165
<i>Veit Hildebrand (Projektleitung) & Sebastian Schubert</i>	

Entwicklung eines Instruments zur Bewertung der Technikqualität bei jungen Tischtennistalenten	169
<i>Till Koopmann, Irene Faber, Dirk Büsch & Jörg Schorer (Projektleitung)</i>	
Individualisiertes Feedbacktraining im Hochleistungsrudern	175
<i>Thomas Jaitner (Projektleitung), Eike Meyer & Kevin Nolte</i>	
Evaluation der Bedeutung akustischer Prozesse für Reaktionsgeschwindigkeit und Entscheidungsfindung im Badminton	179
<i>Andreas Mierau (Projektleitung) & Thorben Hülsdünker</i>	
Der Einfluss des Blickverhaltens in Zusammenhang mit sozialer Interaktion auf die Leistung von Beachvolleyball-Teams.....	189
<i>Stefanie Klatt (Projektleitung), Lisa-Marie Rückel, Benjamin Noël, Andre Nicklas, Matya Vargas & Benjamin Noël</i>	
Trainings- und wettkampfbegleitende Ernährungsbetreuung im Kanurennsport	193
<i>Dominik Sonnenburg, Johannes Buitenhuis & Frank Mayer (Projektleitung)</i>	
Entwicklung und Etablierung von Ganzkörper-Elektromyostimulationsinterventionen für Kaderathletinnen	205
<i>Florian Micke, Ulrike Dörmann & Heinz Kleinöder (Projektleitung)</i>	
Bewältigung von Satzverlusten und Niederlagen im Beachvolleyball	211
<i>Jürgen Beckmann (Projektleitung), Vanessa Wergin & Wiebke Hahl</i>	
Energiebilanz im Alpinen Skisport unter Berücksichtigung der Höhe (EBal-Ski).....	217
<i>Karsten Köhler (Projektleitung) & Helena Engel</i>	
Sondierung: Ersatz von synthetischen Zuschlagsstoffen durch biologische Zuschlagsstoffe für Reitböden im Spitzensport	223
<i>Olaf Hemker (Projektleitung), Charlotte Vornholt & Sigrid Bertelmann</i>	
Segel Richtung Zukunft! Entwicklung eines Programms zur Begleitung des Offboardings mit dem Deutschen Segler-Verband.....	229
<i>Nadine Thomas, Franziska Naumann, Ole Benthien & Ralf Brand (Projektleitung)</i>	
Entwicklung eines mobilen Sensorsystems zur Erfassung und Rückmeldung von Laufmündungsbewegungen beim Trockentraining im Biathlon	235
<i>Johannes Link, Nils Roth & Björn Eskofier (Projektleitung)</i>	

Medizin und Naturwissenschaften

Metabolomics im Leistungssport: Effekte von ausdauer- und kraftspezifischen Reizmustern auf das metabolische Profil von Leistungssportlern

AZ 070101/18-20

M. Parstorfer^{1,2}, G. Poschet³ & B. Friedmann-Bette¹ (Projektleitung)

¹Universitätsklinikum Heidelberg, Innere Medizin VII: Sportmedizin

²Olympiastützpunkt Rhein-Neckar, Heidelberg

³Centre for Organismal Studies, Heidelberg

1 Problem

Regelmäßiges Training bewirkt Veränderungen im Metabolismus (Lewis et al., 2010), die derzeit bei Sportlern durch biochemische, hormonelle und auch immunologische Parameter erfasst werden sollen (Lac & Maso, 2004; Rietjens et al., 2005). Bis heute ist es nicht möglich, mit konventionellen Leistungstests oder durch Bestimmung gängiger Blutparameter Unterschiede im Metabolismus zwischen Leistungssportlern und inaktiven Menschen sensitiv zu detektieren oder Veränderungen im Metabolismus von Sportlern in Abhängigkeit vom Trainingszustand oder Trainingsreiz zu erfassen (Lac & Maso, 2004; Yan et al., 2009).

Den interdisziplinären Forschungsansatz, der sich mit der quantitativen Untersuchung von metabolischen Reaktionen auseinandersetzt, bezeichnet man als „Metabolomics“ (Heaney, Deighton & Suzuki, 2019). Durch diesen Forschungsansatz können mit minimal-invasiven Methoden (Blutabnahmen) bzw. nicht invasiven Methoden (Urinprobe, Speichelprobe, Schweißprobe) eine große Anzahl an Metaboliten innerhalb einer einzelnen Analyse detektiert werden (Heaney, Deighton & Suzuki, 2019). Unter Metaboliten versteht man niedermolekulare organische oder anorganische Stoffwechselverbindungen, die Reaktanten, Intermediär- oder Endprodukte biochemischer Reaktionen sind (Dunn et al., 2011). Metabolite sind damit auch Marker der Energiestoffwechselwege und lassen u. a. Rückschlüsse auf ATP-Synthese, Glykolyse, Citratzyklus, β -Oxidation sowie den Purinmetabolismus zu (Schraner et al., 2020).

Die Ganzheit aller Metabolite in einem Organismus bilden das sog. Metabolom, welches wiederum den besten Indikator des Phänotyps darstellt (Tautenhahn et al., 2012).

Bei Leistungssportlern sind auf Grundlage ihres individuellen Phänotyps und der meist mehrjährigen chronischen Aussetzung des Organismus mit spezifischen Trainingsreizen charakteristische metabolische Veränderungen und Anpassungen erwartbar. Für die Sportmedizin und Sportwissenschaft stellt Metabolomics eine aktuelle Forschungsrichtung mit einem großen Potential für die routinemäßige Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung dar (Heaney, Deighton & Suzuki, 2019). Dabei ist insbesondere das Verständnis des menschlichen Metaboloms in Reaktion auf einen Trainingsreiz als praxisnahes als auch grundlagenorientiertes Wissen essentiell, um Veränderungen in den Energiestoffwechselwegen gezielt beurteilen und das Training optimal planen zu können. Untersuchungen des metabolischen Profils von Leistungssportlern über einen längeren Zeitraum, insbesondere während unterschiedlicher Trainingsphasen, wurden im Ausdauersport sowie im Kraftsport bisher nicht durchgeführt (Sakaguchi et al., 2019; Schraner et al., 2020).

Ziel der geplanten Studie war es daher, die akuten Effekte und langfristigen Anpassungsprozesse des Metaboloms von kraft- und ausdauertrainierten Leistungssportlern mit Hilfe des Forschungsansatzes Metabolomics umfassend zu untersuchen, und nach neuen physiologischen Markern zur Erfassung der Leistungsfähigkeit zu suchen.

Dazu wurde das Metabolom von kraft- und ausdauertrainierten Leistungssportlern sowie von Kontrollpersonen im Verlauf eines Trainingsjahres unter Ruhebedingungen und nach standardisierten Belastungen miteinander verglichen.

2 Methode

2.1 Studiendesign

Bei Ausdauer- und Kraftsportlern wurde das basale Metabolom zu drei Zeitpunkten eines Trainingsjahres, während des Grundlagentrainings (GL), in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung (UWV) und nach der Regenerationsphase (REG) im Anschluss an die Wettkampfphase untersucht und mit dem zu den gleichen Zeitpunkten bei einer Kontrollgruppe bestimmten basalen Metabolom verglichen. Weiterhin wurden in den drei Studiengruppen die akuten Veränderungen des Metaboloms auf einen spezifischen, standardisierten Trainingsreiz bestimmt. Alle Teilnehmenden gaben vor der Teilnahme an der Studie eine schriftliche Einverständniserklärung ab. Das Projekt wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Heidelberg genehmigt (S513/2018) und in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

2.2 Probandengruppe

Die beiden Sportlergruppen bildeten Krafttrainierte (KT; n = 12, Alter: 20,2 ± 2,6 Jahre, Körpergröße: 175,0 ± 9,0 cm, Körpergewicht: 80,3 ± 13,0 kg, VO₂max: 42,5 ± 4,7 ml*kg⁻¹*min⁻¹, 8 Gewichtheber der deutschen Junioren-Nationalmannschaft, 4 Gewichthebern der regionalen Spitzenklasse, Leistungssporterfahrung: 8 ± 3 Jahren, Saisonbestleistung 72 ± 12 % des Weltrekords) sowie Ausdauertrainierte (AT; n = 10, Alter: 24,0 ± 2,9 Jahre, Körpergröße: 176,8 ± 6,8 cm, Körpergewicht: 66,5 ± 9,2 kg, VO₂max: 65,1 ± 4,8 ml*kg⁻¹*min⁻¹, Mittel- und Langstreckenläufer, Leistungssporterfahrung: 9 ± 4 Jahre, Saisonbestleistung von 83 ± 5 % des Weltrekords). Die Kontrollgruppe umfasste nicht sportlich aktive, gesunde Teilnehmer (KG; n = 12, Alter: 24,8 ± 4,2 Jahre, Körpergröße: 180,8 ± 8,8 cm, Körpergewicht: 81,9 ± 18,4 kg, VO₂max: 41,2 ± 6,5 ml*kg⁻¹*min⁻¹, bisher kein systematisches Lauf- oder Krafttraining).

2.3 Studienablauf

Nach einer Gesundheitsuntersuchung führten alle Studienteilnehmer eine stufenweise Fahrradspiroergometrie (KT und KG, Excalibur Sport, Lode BV Medical Technology, Groningen, Niederlande) und/oder eine Laufbandspiroergometrie (AT und KG, ELG70, Woodway USA Inc., Waukesha, USA) durch. Beginnend bei 50 Watt bzw. 6 km/h wurde die Belastung alle 3 Minuten um 50 Watt bzw. 2 km/h bis zur subjektiven Erschöpfung gesteigert. Während jedes Tests wurden Sauerstoffaufnahme (VO₂), Kohlendioxidabgabe (VCO₂) und Ventilation (VE) mit einem Breath-by-breath-Spirometrie-System (Geratherm Respiratory GmbH, Bad Kissingen, Deutschland) und der dazugehörigen Software Blue Cherry unter Verwendung einer individuell angepassten Gesichtsmaske aufgezeichnet. Die Herzfrequenz wurde am Ende jeder Belastungsstufe aus dem kontinuierlich unter Verwendung der Amedtec ECGpro Software (AMEDTEC Medizintechnik Aue GmbH, Aue, Deutschland) registrierten EKG ermittelt.

In AT und KG wurden bei der Laufbandspiroergometrie innerhalb der 30 Sekunden Pausenzeit nach jeder Belastungsstufe kapilläre Blutlaktatproben aus dem Ohrläppchen entnommen und einem automatischen Messsystem (Biosen S-line, EKF Diagnostic, Barleben Deutschland) verarbeitet. Als metabolische Schwellen wurden die 4 mmol/l-Laktatschwelle (LT4) und die individuelle anaerobe Schwelle nach Simon und Dickhuth (IANS, Basislaktat + 1,5 mmol/l) mit Hilfe der Software Winlactat® (mesics GmbH, Münster, Deutschland) bestimmt.

An den drei Messzeitpunkten kamen die Probanden zu jeweils gleicher Zeit vormittags nüchtern zur Blutentnahme ins Labor. Danach wurde ein standardisiertes Frühstück gereicht. Eine Stunde später erfolgte – je nach Probandengruppe – entweder die standardisierte Kraft- oder Ausdauerbelastung. Die Probanden der KG führten zu allen Messzeitpunkten an zwei unterschiedlichen Tagen und in randomisierter Reihenfolge die Kraft- und die Ausdauerbelastung durch. Die zweite Blutentnahme wurde 5 Minuten nach Ende der spezifischen Belastung durchgeführt.

Die Studienteilnehmer wurden angewiesen, zwei Tage vor jeder Labormessung auf jegliche Medikamente, Genussmittel (z.B. Nikotin, Alkohol, Koffein), Softdrinks, spezielle Teesorten (grüner oder schwarzer Tee) sowie auf Nahrungsergänzungsmittel (z. B. Kreatinin, Rote Beete) zu verzichten und erhielten einen Plan für ein standardisiertes Abendessen vor jedem Laborbesuch. Ferner durften sie am Tag vor jedem Test keinen intensiven Sport betreiben. Die Teilnehmenden der Kontrollgruppe wurden zusätzlich angewiesen, ihre Lebensgewohnheiten, einschließlich der Fortbewegungsart, während der Studie nicht zu ändern.

2.4 Kraftbelastung

Die teilnehmenden Personen führten zu Beginn einen isometrischen Maximalkrafttest durch gefolgt von einem Konditionierungsprotokoll. Der isometrische Maximalkrafttest bestand aus drei maximalen isometrischen, willkürlichen Kontraktionen (MVIC) an der beidbeinigen Beinpresse (120° Kniebeugung, 90° Hüftbeugung) mit 1-minütiger Pause zwischen den Wiederholungen auf einem computergesteuerten isokinetischen Gerät (IsoMed 2000; D&R Ferstl, Hemau, Deutschland). Das Maximum aus den drei MVIC-Werten wurde für die weitere Analyse verwendet.

Das Konditionierungsprotokoll diente zum Setzen eines spezifischen Kraftreizes mit konditionellem Charakter. Es wurden fünf Sätze mit drei Wiederholungen bei 75 mm/s der gleichen Übung (10 bis 90° Kniebeugung, 90° Hüftbeugung) mit 30s Pause zwischen den Sätzen durchgeführt. Zur Sicherstellung der maximalen Anstrengung wurde die maximale Kraft jeder Wiederholung gemessen. Zwischen dem isometrischen Maximalkrafttest und dem Konditionierungsprotokoll erfolgte eine fünfminütige passive Pause.

2.5 Ausdauerbelastung

Die ausdauerspezifischen Reizmuster bestanden aus zwei aufeinanderfolgenden Lauftests. Zunächst erfolgte eine stufenweise ansteigende Belastung bis zu einer maximalen Intensität knapp über der Laktatschwelle von 4 mmol/l (LT4).

Danach erfolgte ein individueller Schwellenlauf über dreimal sechs Minuten mit 95 %, 100 % und 105 % der Geschwindigkeit an der IANS unterbrochen durch eine Pause von 30s. Zwischen beiden Laufbelastungen erfolgte eine 60-minütige passive Pause.

2.6 Probenverarbeitung

Bei allen Studienteilnehmern wurden vor und nach den spezifischen Belastungen venöse Blutentnahmen (4,9 mL S-Monovette, EDTA, Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland) aus einer Unterarmvene im Sitzen durchgeführt. Die Blutproben wurden nach der Entnahme direkt in zerstoßenem Eis (4° C) für maximal zwei Stunden gelagert. Die Blutproben wurden bei 4000 g bei 4° C für 10 Minuten zentrifugiert. Das Blutplasma wurde in Aliquotes aufgeteilt, in flüssigem Stickstoff bei -196° C schockgekühlt und bei -80° C bis zur Analyse gelagert.

2.7 Targeted Metabolomics Analyse

Die Analyse der Metabolite erfolgte mit dem Biocrates MxP® Quant 500 Kit, welches eine Analyse von bis zu 630 Metaboliten aus 26 Stoffklassen erlaubt. Alle Proben wurden gemäß den Herstellerangaben (Biocrates Life Sciences AG, Innsbruck, Österreich) weiterverarbeitet. Zur chromatografischen Trennung wurde ein UPLC I-Class PLUS (Waters, Milford, Massachusetts, USA) System in Kombination mit einem SCIEX QTRAP 6500+ Massenspektrometersystem (AB Sciex Germany GmbH, Darmstadt, Deutschland) genutzt, mittels der Analyst Software (AB Sciex Germany GmbH, Darmstadt, Deutschland) gemessen und in der MetIDQ Software (Biocrates Life Sciences AG, Innsbruck, Österreich) weiterverarbeitet.

2.8 Statistische Analyse

Alle Ergebnisse wurden mittels der Open-Source-Software R sowie MetaboAnalyst 4.0 (Chong et al., 2019) berechnet und dargestellt. Es erfolgte eine mehrstufige Vorverarbeitung der Daten in Anlehnung an Bijlsma et al. (2006) und Shah et al. (2017).

Die Proben der Kontrollgruppe vor dem Ausdauer- und Krafttest wurden als jeweils separate Gruppe in das Datenset einbezogen.

Zwei Sportler aus der Ausdauergruppe sind vorzeitig aus der Studie ausgeschieden, weshalb diese Proben exkludiert wurden. Zur Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Gruppen bzw. den Zeitpunkten wurde eine ANCOVA (Kovariate Frühstück) mit Messwiederholung und paarweisen Vergleichen (Bonferroni-Korrektur) durchgeführt. Die Ergebnisse der univariaten Analysen der Metabolite wurde durch sog. Volcano Plots unterstützt. Metabolite, welche in der univariaten Analyse als signifikant detektiert und deren Konzentration zwischen zwei Gruppen oder zwei Zeitpunkten zusätzlich einen $FC \geq 1,0$ oder $FC \leq 1,0$ aufwiesen, wurden als bedeutsam definiert. Zur Einbeziehung der Zusammenhänge von Metaboliten zwischen den Gruppen bzw. den Zeitpunkten wurden multivariate Verfahren (PLS-DA, log-Transformation, Autoskalierung) durchgeführt. Das statistische Signifikanzniveau wurde als $p < 0,05$ definiert. Die Daten sind dargestellt als Mittelwert (MW) \pm Standardabweichung (SD).

3 Ergebnisse

3.1 Krafttest

Zu allen Zeitpunkten waren die isometrischen Maximalkraftwerte in KT signifikant höher als in KG. In beiden Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten (Tab. 1).

3.2 Ausdauerstest

In AT waren im Vergleich zu KG die Herzfrequenzen und Laufgeschwindigkeiten an den berechneten Schwellen signifikant höher. Für alle an den Laktatschwellen bestimmte Parameter wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten festgestellt (Tab.2).

Tab. 1: Vergleich der leistungsbezogenen Daten im Krafttest über die drei Messzeitpunkte hinweg

	Zeitpunkt	KG		KT		P			KT vs. KG
		(n = 12)		(n = 12)		Zeit	Gruppe	Gruppe x Zeit	
	Regeneration	3749	\pm 1096	5656	\pm 1326				0,001
MVIC (N)	Grundlage	4001	\pm 809	6021	\pm 1484	0,725	0,000	0,810	0,000
	Wettkampf	3789	\pm 768	5871	\pm 1791				0,001

Tab. 2: Vergleich der leistungsbezogenen Daten im Ausdauerstest über die drei Messzeitpunkte hinweg

	Zeitpunkt	KG		AT		P			AT vs. KG
		(n = 12)		(n = 10)		Zeit	Gruppe	Gruppe x Zeit	
IANS (m/s)	Grundlage	2,52	\pm 0,34	4,84	\pm 0,35				0,000
	Wettkampf	2,62	\pm 0,41	4,86	\pm 0,38	0,794	0,000	0,291	0,000
	Regeneration	2,66	\pm 0,45	4,74	\pm 0,40				0,000
IANS (S/min)	Grundlage	160	\pm 11	172	\pm 11				0,022
	Wettkampf	161	\pm 12	169	\pm 11	0,427	0,001	0,919	0,122
	Regeneration	163	\pm 15	174	\pm 12				0,081
LT ₄ (m/s)	Grundlage	2,83	\pm 0,32	5,39	\pm 0,41				0,000
	Wettkampf	2,91	\pm 0,44	5,38	\pm 0,44	0,823	0,000	0,239	0,000
	Regeneration	2,94	\pm 0,43	5,20	\pm 0,46				0,000
LT ₄ (S/min)	Grundlage	169	\pm 8	180	\pm 9				0,006
	Wettkampf	170	\pm 10	177	\pm 12	0,343	0,001	0,718	0,144
	Regeneration	173	\pm 11	182	\pm 12				0,071

3.3 Basales metabolisches Profil

Es zeigte sich in der PLS-DA (Abb. 1A) eine Diskrimination zwischen KG-A und der AT sowie eine deutlichere Diskrimination zwischen der KG-K und der KT. Ebenfalls zeigte sich eine Diskrimination zwischen den beiden Sportlergruppen AT und KT. Die beiden Bestimmungen des basalen Metaboloms in der KG waren vergleichbar. Die höchsten und niedrigsten Konzentrationen wurden jeweils in den Sportlergruppen detektiert, während die KG vergleichsweise mittlere Konzentrationen in den Metaboliten aufwies (Abb. 1B).

Zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen den Gruppen in den 119 Metaboliten wurden Volcano-Plots dargestellt (Abb. 2). Betrachtet man den Unterschied in der mittleren Konzentration zwischen jeweils zwei Gruppen, sog. fold-changes auf einer log₂-Skala, so zeigten sich jeweils deutlich erniedrigte bzw. erhöhte Werte (Abb. 2, gestrichelte Linie als Grenze) verschiedener Metabolite.

Im Vergleich KG-AT (Abb. 2 links) wurden insgesamt 92 signifikante Metabolite detektiert, wovon sechs Metabolite bedeutsam erniedrigt waren und ein Metabolit bedeutsam erhöht war.

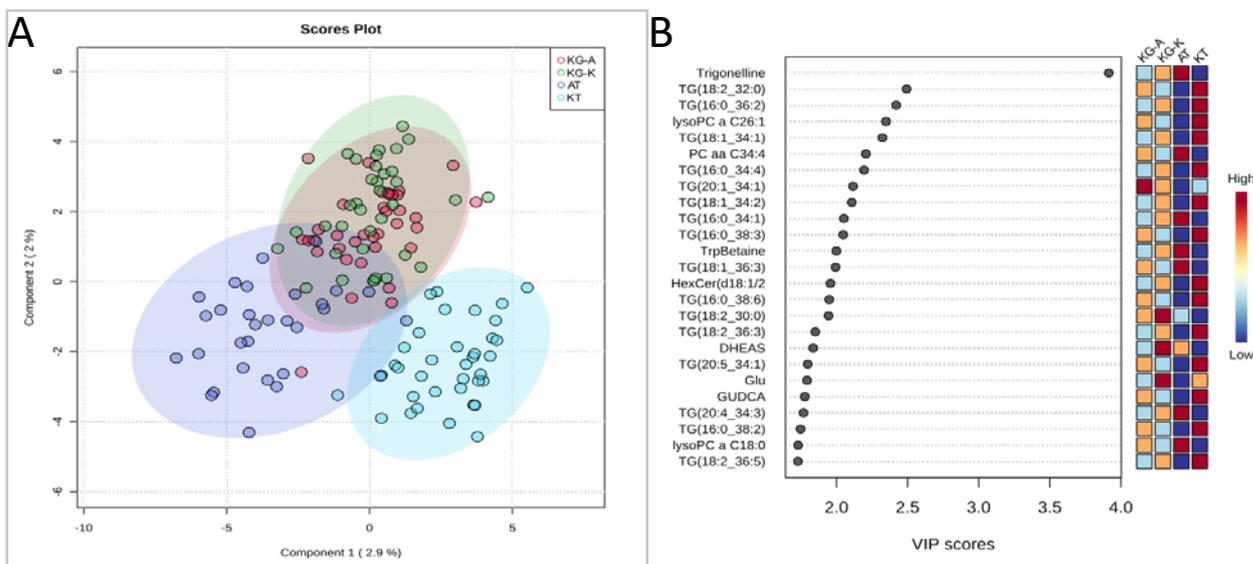


Abb. 1: Multivariate Diskriminanzanalyse des basalen metabolischen Profil. A, Scores Plot der Diskriminanzanalyse (PLS-DA). B, VIP-Scores der PLS-DA.

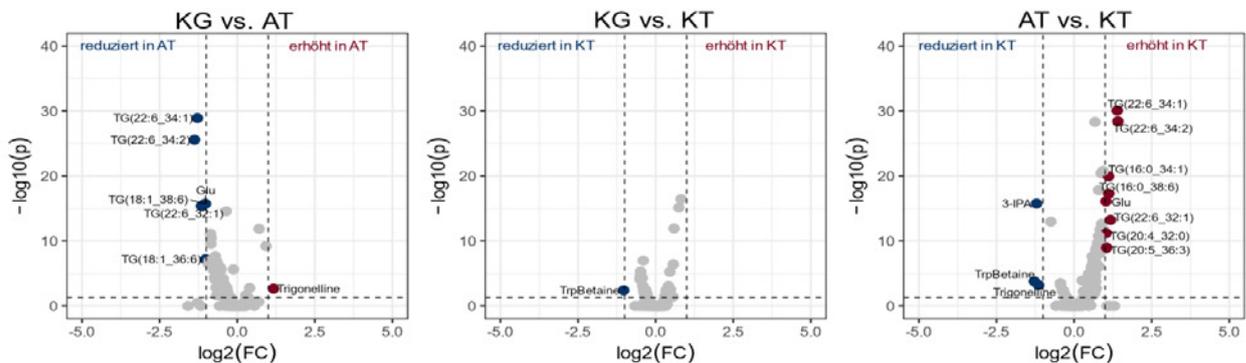


Abb. 2: Volcano-Plots der basalen Metaboliten zwischen den Gruppen.

Im Vergleich KG-KT (Abb. 2 Mitte) wurden insgesamt 33 signifikante Metabolite detektiert. Es war nur ein Metabolit bedeutsam erniedrigt und kein Metabolit bedeutsam erhöht. Im Vergleich der Sportlergruppen AT-KT (Abb. 2 rechts) wurden insgesamt 120 signifikante Metabolite detektiert. Drei Metabolite waren bedeutsam erniedrigt und acht Metabolite bedeutsam erhöht.

3.4 Belastungsinduziertes metabolisches Profil

Für 192 Metabolite wurden signifikante Unterschiede zwischen dem basalen metabolischen Profil und dem metabolischen Profil nach Belastung gefunden. Die Kraftbelastung führte in KG (Abb. 3 oben links) zu insgesamt sieben signifikant veränderten Metaboliten, wovon keine deutlich erniedrigt waren. Lediglich Laktat war nach der Belastung deutlich erhöht. Die Ausdauerbelastung führte in KG (Abb. 3 oben rechts) zu insgesamt 55 signifikant veränderten Metaboliten, wovon keine deutlich erniedrigt waren.

Es kam zu einer deutlichen Zunahme in der Konzentration von zwei Metaboliten (Laktat, TG(20:4_30:0)). In KT führte die Kraftbelastung (Abb. 3 unten links) zu insgesamt acht signifikant veränderten Metaboliten, wovon keine deutlich erniedrigt waren und nur Laktat nach der Belastung deutlich erhöht war. In AT führte die Ausdauerbelastung (Abb. 3 unten rechts) zu insgesamt 49 signifikant veränderten Metaboliten, wovon keine deutlich erniedrigt waren. Eine deutliche Zunahme in der Konzentration konnte bei fünf Metaboliten (Laktat, C2, AA, Xanthin, EPA) detektiert werden.

4 Diskussion

Regelmäßiges Training führt zu Veränderungen im Metabolismus und Phänotyp (Egan & Zierath, 2013; Hughes, Ellefsen & Baar, 2018). Bis heute gibt es allerdings nur wenige Studien im Forschungsbereich Metabolomics, die das Metabolom von Leistungssportlern verschiedener Sportarten aber auch deren metabolisches Pro-

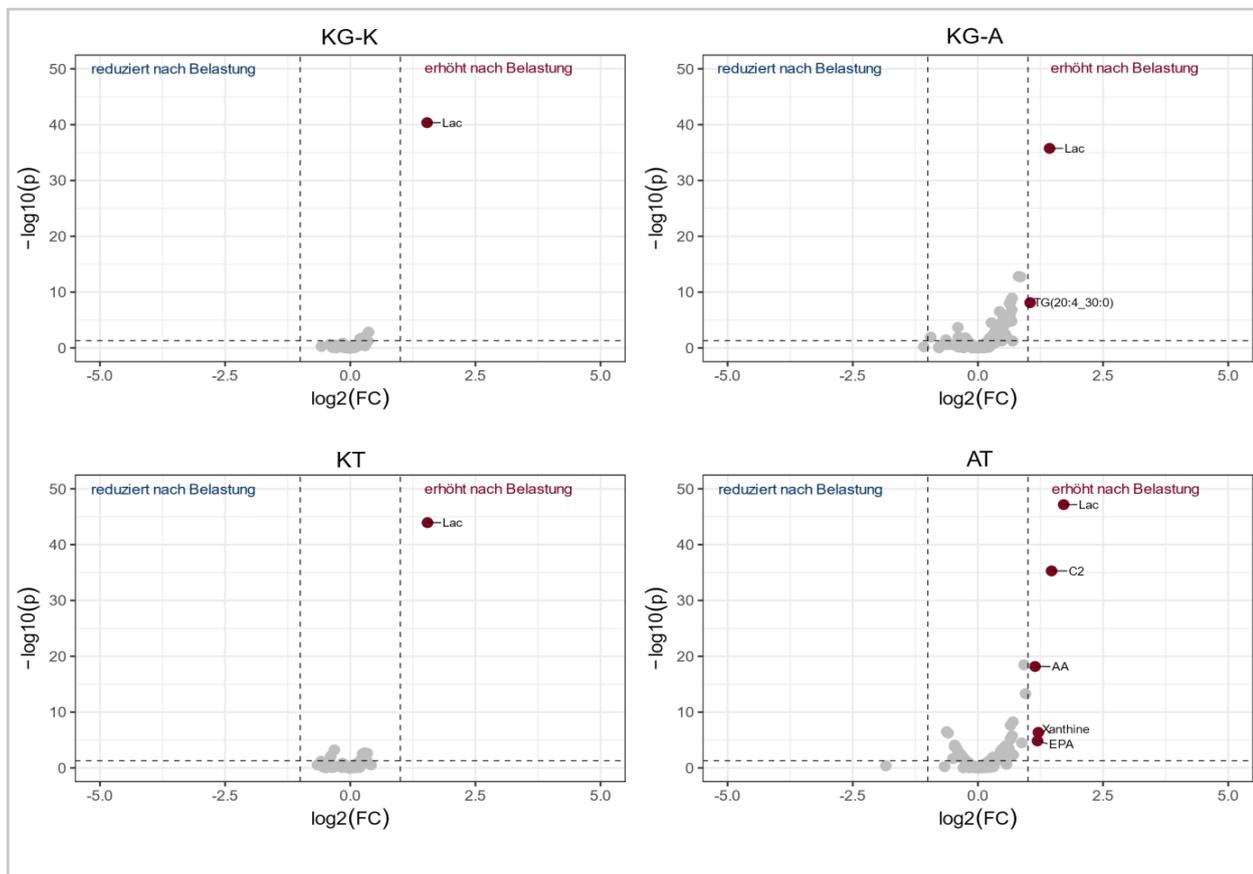


Abb. 3: Volcano-Plots der belastungsinduzierten Metabolite zwischen den Gruppen.

fil in Abhängigkeit vom Trainingszustand und/oder Trainingsreiz erfasst haben (Al-Khelaifi et al., 2018; Sakaguchi et al., 2019). Aus diesem Grund war das Ziel der geplanten Studie, die akuten Effekte und langfristigen Anpassungsprozesse des Metaboloms von kraft- und ausdauertrainierten Leistungssportlern mit Hilfe des Forschungsansatzes Metabolomics umfassend zu untersuchen. Ferner wurde nach neuen physiologischen Markern zur Erfassung der Leistungsfähigkeit gesucht. Dazu wurde erstmalig das Metabolom von kraft- und ausdauertrainierten Leistungssportlern sowie von Kontrollpersonen im Verlauf eines Trainingsjahres unter Ruhebedingungen und nach standardisierten Belastungen miteinander verglichen.

Die Leistungssportler, die an dieser Studie teilgenommen haben, wurden entsprechend ihres sportartspezifischen Belastungsprofils und Leistungsniveaus selektiert und stellen eine repräsentative Population mit kraft- bzw. ausdauerangepasstem Phänotyp dar.

In AT war die aerobe Kapazität im Vergleich zu KT sowie den Probanden der KG deutlich besser. Die Sportler in AT konnten ihre Leistungsfähigkeit des Vorjahres im Mittel nicht abrufen (94 % der Vorjahresbestleistung). Die ausdauerspezifische Leistungsfähigkeit, gemessen an den Leistungsmerkmalen im Stufentest, veränderte sich über den Studienzeitraum hinweg nicht.

Die kraftspezifische Leistungsfähigkeit, gemessen an der isometrischen Maximalkraft, unterschied sich zwischen beiden Gruppen KG und KT unabhängig von der Trainingsphase und auch in der jeweiligen Trainingsphase signifikant. KT konnte die Leistungsfähigkeit des Vorjahres abrufen (100 % der Vorjahresbestleistung). Eine Veränderung in den spezifischen Leistungsmerkmalen über die Trainingsphasen hinweg blieb jedoch aus (Parstorfer et al., 2021a, 2021b). Eine erste Auswertung zeigte, dass mit den hier durchgeführten leistungsdiagnostischen Untersuchungen die Leistungsfähigkeit der Sportler über das Trainingsjahr hinweg nicht sensitiv diagnostiziert werden konnte (Parstorfer et al., 2021a).

Es konnte gezeigt werden, dass regelmäßiges, mehrjähriges Ausdauer- bzw. Krafttraining zu charakteristischen Veränderungen im basalen metabolischen Profil führt.

Dieses metabolische Profil von Kraft- und Ausdauer Sportlern unterscheidet sich auch im Vergleich zu dem von Nichtsportlern. Untersuchungen der belastungsinduzierten Veränderungen im metabolischen Profil identifizierten einige wenige Metabolite, die insbesondere auf eine akute Ausdauerbelastung reagierten. Sowohl eine Ausdauer- als auch eine Kraftbelastung führte zu einem Anstieg von Laktat und deutet in beiden Bedingungen auf eine verstärkte Glykolyse und anaerobe Energiebeanspruchung hin. Laktat ist aber nicht zur Diskrimination der unterschiedlichen Gruppen auf den gleichen relativen Belastungsreiz geeignet. Im Unterschied zu der Kontrollgruppe führte in AT ein akuter Belastungsreiz zu Anstiegen in dem Acylcarnitin C2, den Fettsäuren Eicosapentaensäure (EPA) sowie Arachidonsäure (AA) und auch in dem Nukleinbasen verwandten Metabolit Xanthin. Fettsäuren werden von der Muskulatur aufgenommen und in mehreren Schritten mittels Acylcarnitinen in die Mitochondrien transportiert (Lundsgaard et al., 2018). Insbesondere nach Ausdauerbelastungen wurden vermehrte Anstiege von Fettsäuren und Acylcarnitinen beobachtet (Schranner et al., 2020). Starke Trainingsbeanspruchungen sowie auch ungewohnte Trainingsreize führen zur Muskelermüdung und Mikrotraumen in der beteiligten Muskulatur mit nachfolgenden lokalen Ödemen (Ochi, Tsuchiya & Nosaka, 2016; Wan et al., 2017). Daraus resultiert eine reduzierte Leistungsfähigkeit auf einen nachfolgenden Belastungsreiz (Ochi, Tsuchiya & Nosaka, 2016; Wan et al., 2017). Ferner kommt es zu erhöhtem oxidativem Stress sowie zu einer inflammatorischen Reaktion (Clarkson & Hubal, 2002; Dimauro, Mercatelli & Caporossi, 2016). AA wird eine inflammatorische Wirkung zugesprochen (Moore et al., 2019). Die Omega-3-Fettsäuren EPA kann zu einer Reduktion dieser negativen Folgen führen und anti-inflammatorisch wirken. Der beobachtete Xanthinanstieg in unserer Studie ist vergleichbar mit den von Lewis et al. (2010) beobachteten Veränderungen. Offenbar wurde das Energiegleichgewicht durch die Ausdauerbelastungen deutlich gestört und hat zu einem höheren oxidativen Stress geführt als die Krafttrainingsbelastung. Gleichzeitig weist dies auf Anpassungen im Purinstoffwechsel infolge mehrjährigem, regelmäßigem Ausdauertraining hin.

Die beobachteten Unterschiede im metabolischen Profil deuten auf Veränderungen im Glukose- und Fettstoffwechsel sowie im Purin-Nukleotid-Zyklus hin. In AT ist offenbar im Vergleich zu KT der Kohlenhydratstoffwechsel gegenüber dem Fettstoffwechsel gesteigert, was für eine Optimierung des Kohlenhydratstoffwechsels durch regelmäßiges mehrjähriges Ausdauertraining sprechen könnte. Außerdem wird eine veränderte Reaktion des anti-oxidativen Stoffwechsels auf einen akuten hochintensiven Trainingsreiz bei AT deutlich.

Zusammenfassend konnte mit dem Forschungsansatz Metabolomics gezeigt werden, dass sich der Ruhestoffwechsel von Ausdauersportlern im Vergleich zu Kraftsportlern unterscheidet. Weiterhin wurden Unterschiede im Ruhestoffwechsel sowohl zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe Ausdauertrainierter als auch zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe Krafttrainierter detektiert. Diese Unterschiede wurden deutlicher nach einem standardisierten, spezifischen Belastungsreiz. Die Ergebnisse dieser Studie tragen zu einem besseren Verständnis metabolischer Anpassungsprozesse in der Trainingspraxis bei. Zukünftige Untersuchungen sollten überprüfen, ob sich der Stoffwechsel innerhalb einer Sportartengruppe zwischen verschiedenen Leistungsniveaus unterscheidet. Weiterhin sollte geprüft werden, inwiefern durch die Verknüpfung mehrerer Metabolite zu einem individuellen metabolischen Profil individualisierte Biomarker für die Stoffwechselfunktionen oder auch den Trainingszustand identifiziert werden können.

5 Literatur

Erste Teilergebnisse wurden als Posterbeiträge auf dem Deutschen Sportärztekongress sowie der Metabolomics 2021 Konferenz vorgestellt. An dieser Stelle bedankt sich die Arbeitsgruppe um Prof. Friedmann-Bette ganz herzlich bei den Vertretern der Spitzenverbände, den Sportlern sowie den universitären Kooperationspartnern der Universität Heidelberg für die professionelle und zielführende Zusammenarbeit.

- Al-Khelaifi, F., Diboun, I., Donati, F., Botrè, F., Alsayrafi, M., Georgakopoulos, C., Suhre, K., Yousri, N. A., & Elrayess, M. A. (2018). A pilot study comparing the metabolic profiles of elite-level athletes from different sporting disciplines. *Sports Medicine - open*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0114-z>
- Bijlsma, S., Bobeldijk, I., Verheij, E. R., Ramaker, R., Kochhar, S., Macdonald, I. A., van Ommen, B., & Smilde, A. K. (2006). Large-scale human metabolomics studies: a strategy for data (pre-) processing and validation. *Analytical Chemistry*, 78(2), 567-574. <https://doi.org/10.1021/ac051495j>
- Chong, J., Wishart, D. S., & Xia, J. (2019). Using MetaboAnalyst 4.0 for Comprehensive and Integrative Metabolomics Data Analysis. *Current Protocols in Bioinformatics*, 68(1), e86. <https://doi.org/10.1002/cpbi.86>
- Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11), S52-S69.
- Dimauro, I., Mercatelli, N., & Caporossi, D. (2016). Exercise-induced ROS in heat shock proteins response. *Free Radical Biology and Medicine*, 98, 46-55.
- Dunn, W. B., Broadhurst, D. I., Atherton, H. J., Goodacre, R., & Griffin, J. L. (2011). Systems level studies of mammalian metabolomes: the roles of mass spectrometry and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Chemical Society reviews*, 40(1), 387-426. <https://doi.org/10.1039/b906712b>
- Egan, B., & Zierath, J. R. (2013). Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metabolism*, 17(2), 162-184. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>
- Heaney, L. M., Deighton, K., & Suzuki, T. (2019). Non-targeted metabolomics in sport and exercise science. *Journal of Sports Sciences*, 37(9), 959-967. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1305122>

- Hughes, D. C., Ellefsen, S., & Baar, K. (2018). Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(6). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029769>
- Lac, G., & Maso, F. (2004). Biological markers for the follow-up of athletes throughout the training season. *Pathologie-Biologie*, 52(1), 43-49. [https://doi.org/10.1016/S0369-8114\(03\)00049-X](https://doi.org/10.1016/S0369-8114(03)00049-X)
- Lewis, G. D., Farrell, L., Wood, M. J., Martinovic, M., Arany, Z., Rowe, G. C., Souza, A., Cheng, S., McCabe, E. L., Yang, E., Shi, X., Deo, R., Roth, F. P., Asnani, A., Rhee, E. P., Systrom, D. M., Semigran, M. J., Vasani, R. S., Carr, S. A., . . . & Gerszten, R. E. (2010). Metabolic signatures of exercise in human plasma. *Science Translational Medicine*, 2(33), 33ra37-33ra37. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3001006>
- Lundsgaard, A.-M., Fritzen, A. M., & Kiens, B. (2018). Molecular regulation of fatty acid oxidation in skeletal muscle during aerobic exercise. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 29(1), 18-30.
- Moore, T. M., Zhou, Z., Cohn, W., Norheim, F., Lin, A. J., Kalajian, N., Strumwasser, A. R., Cory, K., Whitney, K., Ho, T [Theodore], Ho, T [Timothy], Lee, J. L., Rucker, D. H., Shirihai, O., van der Bliek, A. M., Whitelegge, J. P., Seldin, M. M., Lusis, A. J., Lee, S., . . . & Hevener, A. L. (2019). The impact of exercise on mitochondrial dynamics and the role of Drp1 in exercise performance and training adaptations in skeletal muscle. *Molecular Metabolism*, 21, 51-67. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2018.11.012>
- Ochi, E., Tsuchiya, Y., & Nosaka, K. (2016). Differences in post-exercise T2 relaxation time changes between eccentric and concentric contractions of the elbow flexors. *European Journal of Applied Physiology*, 116(11), 2145-2154.
- Parstorfer, M., Scholz, H., Wehrstein, M., & Friedmann-Bette, B. (2021a). Leistungsfähigkeit von hochtrainierten Kraft- und Ausdauersportlern im Jahresverlauf. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin/German Journal of Sports Medicine*, 72(3), 101. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2021.480>
- Parstorfer, M., Scholz, H., Wehrstein, M., & Friedmann-Bette, B. (2021b). Prädiktion der Wettkampfleistung von Gewichthebern im Verlauf eines Trainingsjahres. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin/German Journal of Sports Medicine*, 72(3), 93. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2021.480>
- Rietjens, G. J. W. M., Kuipers, H., Adam, J. J., Saris, W. H. M., van Breda, E., van Hamont, D., & Keizer, H. A. (2005). Physiological, biochemical and psychological markers of strenuous training-induced fatigue. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 16-26. <https://doi.org/10.1055/s-2004-817914>
- Sakaguchi, C. A., Nieman, D. C., Signini, E. F., Abreu, R. M., & Catai, A. M. (2019). Metabolomics-Based Studies Assessing Exercise-Induced Alterations of the Human Metabolome: A Systematic Review. *Metabolites*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/metabo9080164>
- Schranner, D., Kastenmüller, G., Schönfelder, M., Römisch-Margl, W., & Wackerhage, H. (2020). Metabolite Concentration Changes in Humans After a Bout of Exercise: a Systematic Review of Exercise Metabolomics Studies. *Sports Medicine - open*, 6(1), 273. <https://doi.org/10.1186/s40798-020-0238-4>
- Shah, J. S., Rai, S. N., DeFilippis, A. P., Hill, B. G., Bhatnagar, A., & Brock, G. N. (2017). Distribution based nearest neighbor imputation for truncated high dimensional data with applications to pre-clinical and clinical metabolomics studies. *BMC Bioinformatics*, 18(1), 114. <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1547-6>

- Tautenhahn, R., Cho, K., Uritboonthai, W., Zhu, Z., Patti, G. J., & Siuzdak, G. (2012). An accelerated workflow for untargeted metabolomics using the METLIN database. *Nature Biotechnology*, 30, 826 EP -.
- Wan, J., Qin, Z., Wang, P., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine*, 49(10), e384-e384.
- Yan, B., Wang, G., Lu, H., Huang, X., Liu, Y., Zha, W., Hao, H., Zhang, Y., Liu, L., & Gu, S. (2009). Metabolomic investigation into variation of endogenous metabolites in professional athletes subject to strength-endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 106(2), 531-538.

Prävention von Überlastungsverletzungen der Wurf Schulter im Handball

(AZ 070108/20)

Leonard Achenbach (Projektleitung) & Johannes Weber

Universitätsklinikum Regensburg, Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie

1 Problemstellung

Handball ist eine der populärsten Sportarten in Europa und nach Mitgliederzahlen der zweitgrößte Mannschaftsport in Deutschland. Der Wurf, insbesondere der Torwurf, ist hierbei einer der wichtigsten Bestandteile des Spiels. Um auf höchstem Niveau agieren zu können, sind die Spielenden sich stetig erhöhenden athletischen Anforderungen und dadurch einem hohen Verletzungsrisiko ausgesetzt. Schulterverletzungen sind eine der häufigsten Verletzungen im Handball und weisen sehr lange Ausfallzeiten und hohe Behandlungskosten auf (Luig et al., 2018).

Neben dem möglichen Leistungsabfall aufgrund eines schmerzhaften Wurfes und hohen Therapiekosten als Belastung für das bestehende Gesundheits- und Versicherungssystem in Deutschland im Falle einer notwendigen Operation, leiden insbesondere auch die betroffenen Spielerinnen- und Spieler selbst unter den negativen Konsequenzen dieser Überlastungsverletzungen – v. a. im Hinblick auf eine mögliche Leistungssportkarriere. Ebenso kann es zu Leistungsstagnation oder gar zu einem -abfall bei einem schmerzhaften Wurf kommen.

Das Ziel des dargelegten Forschungsprojektes war es, die Wirksamkeit eines Übungsprogramms auf die Verletzungsreduktion von Überlastungsverletzungen der Wurf Schulter zu untersuchen. Die Hypothese war, dass das Übungsprogramm das Verletzungsrisiko gegenüber der Kontrollgruppe senkt.

2 Methode

Im Rahmen des Antragforschungsprojektes wurde ein multimodulares Übungsprogramm entwickelt. Das zu implementierende Trainingsprogramm richtet sich nach den Vorgaben aus der Literatur und ist an den handballspezifischen Alltag der untersuchten Studienpopulation angepasst. Schwerpunktthemen des Programmes sind schulterpezifisches Aufwärmen, Innenrotations-Beweglichkeit, Kräftigung der Außenrotation und der periskapulären Muskulatur sowie die skapuläre Bewegungskontrolle. Es werden verschiedene Schwierigkeiten und Variationsmöglichkeiten mit Gummibändern zur Erhöhung der Compliance angeboten.

Die Überprüfung des Erfolges des Präventionsprogramms zur Reduktion des Verletzungsrisikos erfolgte durch eine Verletzungsstatistik über die Saison 2019/20. Vor Beginn der Saison 2019/20 wurden, mit Hilfe des Deutschen Handball Bundes und den beteiligten Handball-Landesverbänden, Handball-Mannschaften eingeladen, an der Studie teilzunehmen. Die teilnehmenden Mannschaften wurden cluster-randomisiert in eine Interventions- und eine Kontrollgruppe aufgeteilt. Die Interventionsgruppe erhielt ein definiertes in das Training implementierbares Präventionsprogramm. Das Übungsprogramm und die Übungsanleitung wurden den in die Interventionsgruppe eingeteilten Mannschaften per Post als DVD zugeschickt. Die Mannschaften, die in den Kontrollarm der Randomisierung gelost wurden, führten ihr Training nach den gewohnten Standards und ohne zusätzliche Vorgaben durch.

Alle Spielerinnen und Spieler registrierten sich online in einer Studiendatenbank. Während der Saison wurden regelmäßig alle zwei Wochen neue Verletzungen und Überlastungsbeschwerden online abgefragt. Eine Verletzungsstatistik wurde für die Interventions- und Kontrollgruppe berechnet. Der Effekt des implementierten Trainingsprogramms, d. h. der Unterschied des primären Outcome-Parameters Prävalenz der Überlastungsverletzung, wurde anhand der Verletzungsstatistik nach der Saison kontrolliert.

Als sekundäre Outcome-Parameter wurde untersucht, ob

- die Regelmäßigkeit der Anwendung (Compliance) der Übungen Einfluss auf die Verletzungsrate hatte und ob
- das Übungsprogramm Symptome der Überlastungsbeschwerden lindern kann.

3 Ergebnisse

Von den insgesamt 579 rekrutierten Handballspielerinnen und -spielern wurden 284 der Interventionsgruppe und 295 der Kontrollgruppe zugelost. Beide Gruppen zeigten homogene anthropometrische Daten.

Die DVDs wurden im Juli 2019 an die teilnehmenden Mannschaften der Interventionsgruppe verschickt.

Die Saison begann planmäßig, wurde jedoch aufgrund der Covid-19 Pandemie außerplanmäßig im März 2020 (Erhebungszeitraum 34 Wochen) aufgrund eines deutschlandweiten Amateursports-Verbots beendet. Insgesamt füllten die Spielerinnen und Spieler 17 Fragebögen aus. Die Beantwortungsquote der Fragebögen lag bei 61 % ohne Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Insbesondere in den letzten Wochen vor dem frühzeitigem Abbruch der Saison zeigte sich die Beantwortungsquote niedrig.

Bezüglich des primären Outcome-Parameters "Prävalenz der Überlastungsverletzungen der Wurf Schulter" zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Interventionsgruppe (n = 115, 38.3 %) und der Kontrollgruppe (n = 115, 35.7 %, p = 0.499). Ebenso zeigten sich keine signifikanten Unterschiede für schwere Überlastungsverletzungen in der Interventions- (n = 95, 31.7 %) und Kontrollgruppe (n = 85, 26.4 %, p = 0.148). Generalisierte Schätzungsgleichungen (GEE) zeigten keinen signifikanten Unterschied für Überlastungsverletzungen (p = 0.485) und schwere Überlastungsverletzungen (p = 0.739) zwischen den beiden Gruppen (Abb. 1).

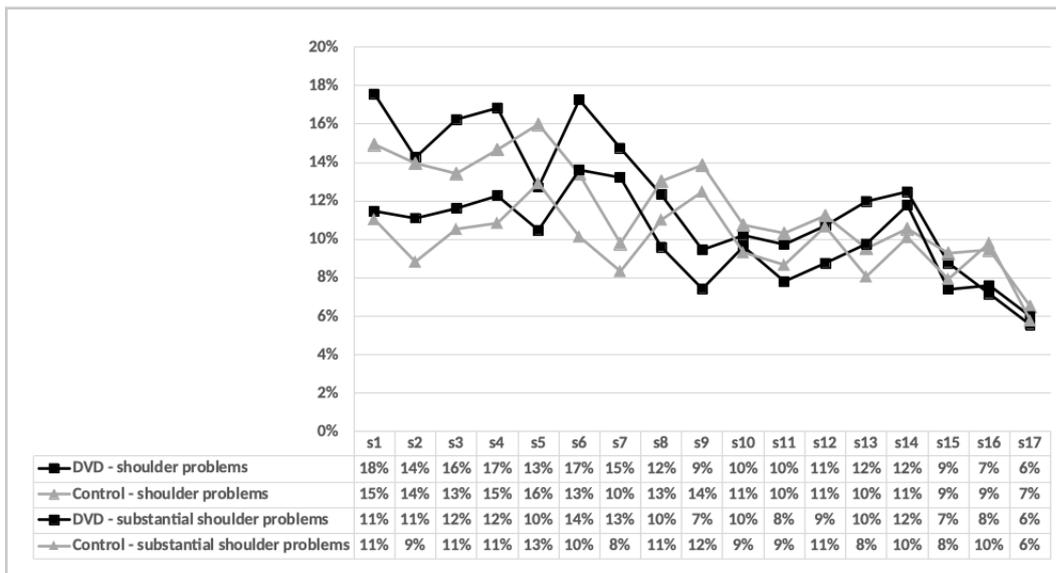


Abb. 1: Prävalenz von Schulterproblemen (oberen Reihen) und schweren Schulterproblemen (untere Reihen) in der Interventions- (schwarz) und Kontrollgruppe (grau).

Auch die sekundären Outcome-Parameter zeigten keinen Unterschied für "Compliance mit dem Übungsprogramm" zwischen den beiden Gruppen ($p = 0.893$) (Abb. 2) und dem Unterschied in der Symptomatik der Beschwerden. Der Durchschnitt der Symptome (gemessen anhand des Western Ontario Shoulder Index, WOSI) in der Interventionsgruppe war 44.55 Punkte und für die Kontrollgruppe 47.60 Punkte (Abb. 3). Der Unterschied zeigte sich mit 3.04 Punkten als nicht signifikant (95 % CI -0.71 - 6.79, $p = 0.111$).

4 Diskussion

Das wichtigste Ergebnis dieser zweiarmigen cluster-randomisiert-kontrollierten Studie war, dass ein Übungsprogramm basierend auf den aktuellen Ergebnissen der Präventionsforschung keinen verletzungsreduzierenden Effekt auf die Prävalenz und Symptomatik von Überlastungsbeschwerden der Wurf Schulter im Handball hatte.

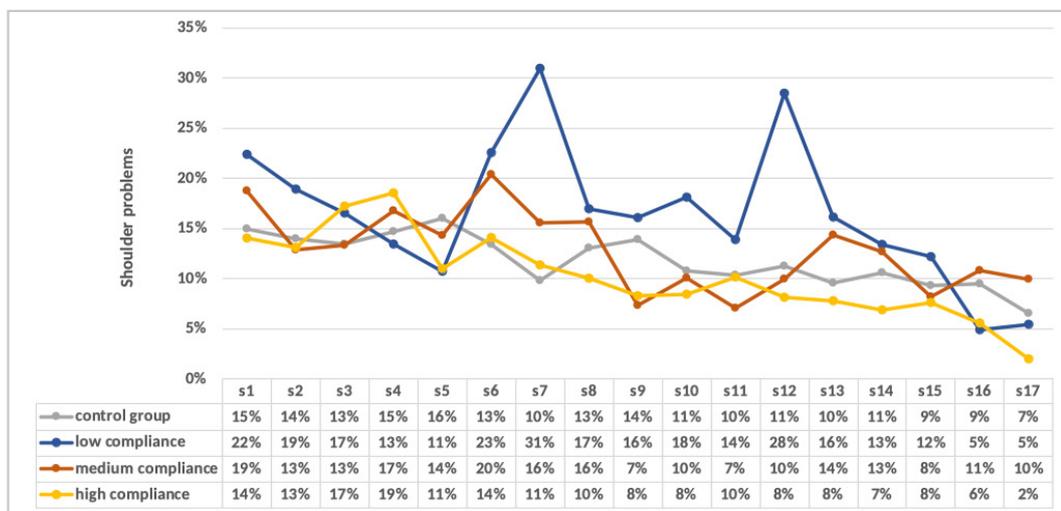


Abb. 2: Prävalenz von Schulterproblemen in der Interventionsgruppe mit niedriger (blau), mittlerer (rot) und hoher (gelb) Compliance mit dem Übungsprogramm und der Kontrollgruppe (grau).

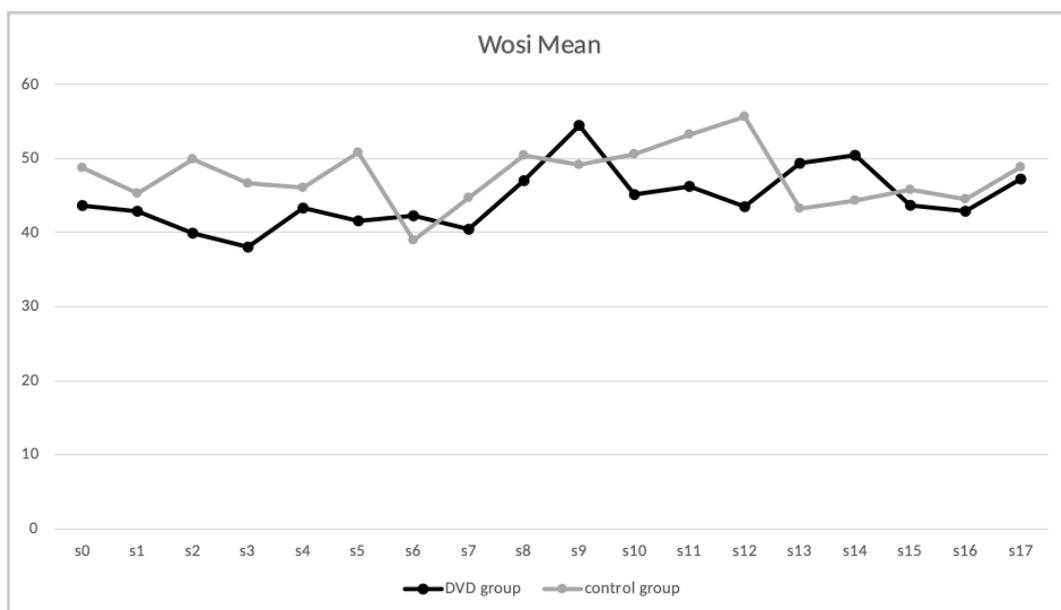


Abb. 3: Schulter-Überlastungssymptomatik in der Interventions- (schwarz) und Kontrollgruppe (grau), als Durchschnitt von fünf handball-spezifischen Fragen des Western Ontario Shoulder Index Fragebogens.

Das Auftreten einer Überlastungsverletzung der Schulter wird primär durch intrinsische Faktoren beeinflusst. Die repetitiven, einseitigen Wurfbewegungen im Handballspiel und -training scheinen hierbei einen Einfluss auf den Verletzungsmechanismus zu haben. Das benutzte Übungsprogramm basierte auf Prinzipien zur Reduktion von Risikofaktoren, die zum Erleiden einer Schulter-Überlastungsverletzung identifiziert wurden. Bewegungsdefizite in der Innenrotation (Achenbach et al., 2020; Clarsen et al., 2014; Andersson et al., 2018) wurden durch spezifische Dehnübungen verändert, das Verletzungsrisiko durch eine schwache Außenrotationskraft (Achenbach et al., 2020; Moller et al., 2017; Byram et al., 2010) und eine skapuläre Dyskinäsie durch spezifisches Krafttraining versucht zu reduzieren.

Während diese Prinzipien in einer vorherigen Studie im Elite-Handball zu einer Reduktion der Prävalenz von Überlastungsverletzungen der Wurf Schulter von 28 % geführt hat (Andersson et al., 2017), so zeigten sich in dieser Studie keine positiven Effekte. Auch diese Ergebnisse sind jedoch deutlich von den hervorragenden Effekten anderer neuromuskulären Präventionsprogramme entfernt, die im Durchschnitt 51 % aller schwerer, kontaktloser Knieverletzungen im Handball (Achenbach et al., 2017; Myklebust et al., 2003) oder 41 % von Adduktoren-Überlastungsverletzungen reduzieren können.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Reduktion von Beschwerden der Wurf Schulter – und wahrscheinlich der gesamten oberen Extremität – im Handball komplexer ist als für die untere Extremität. Das Verständnis für den genauen Pathomechanismus muss erhöht werden und weitere Faktoren in die Verletzungsprävention einbezogen werden, wie zum Beispiel die Spiel- und Trainingsbelastung und Anzahl der Würfe (Moller et al., 2017).

5 Literatur

- Achenbach, L., Krutsch, V., Weber, J., Nerlich, M., Luig, P., Loose, O., Angele, P., & Krutsch, W. (2017). Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26(7), 1901-1908.
- Achenbach, L., Laver, L., Walter, S. S., Kuhr, M., Angele, P., & Krutsch, W. (2020). Decreased external rotation strength is a risk factor for overuse shoulder injury in youth elite handball athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(4), 1202-1211.
- Andersson, S. H., Bahr, R., Clarsen, B., & Myklebust, G. (2017). Preventing overuse shoulder injuries among throwing athletes: a cluster-randomised controlled trial in 660 elite handball players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(14), 1073-1080.
- Andersson, S. H., Bahr, R., Clarsen, B., & Myklebust, G. (2018). Risk factors for overuse shoulder injuries in a mixed-sex cohort of 329 elite handball players: previous findings could not be confirmed. *British Journal of Sports Medicine*, 52(18), 1191-1198.
- Byram, I. R., Bushnell, B. D., Dugger, K., Charron, K., Harrell, F. E. Jr, & Noonan, T. J. (2010). Preseason shoulder strength measurements in professional baseball pitchers: identifying players at risk for injury. *American Journal of Sports Medicine*, 38(7), 1375-1382.
- Clarsen, B., Bahr, R., Andersson, S. H., Munk, R., & Myklebust, G. (2014). Reduced glenohumeral rotation, external rotation weakness and scapular dyskinesia are risk factors for shoulder injuries among elite male handball players: a prospective cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 48(17), 1327-1333.

- Luig, P., Krutsch, W., Nerlich, M., Henke, T., Klein, C., Bloch, H., Platen, P., & Achenbach, L. (2018). Increased injury rates after the restructure of Germany's national second league of team handball. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26(7), 1884-1891.
- Moller, M., Nielsen, R. O., Attermann, J., Wedderkopp, N., Lind, M., Sorensen, H., & Myklebust, G. (2017). Handball Load and Shoulder injury rate: a 31 week cohort study of 679 elite youth handball players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(4), 231-237.
- Myklebust, G., Engebretsen, L., Braekken, I. H., Skjolberg, A., Olsen, O. E., & Bahr, R. (2003). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13(2), 71-78.

Prävention von Dysbalancen der Muskel- und Sehnenadaptation im Jugendleistungssport

(AZ 070501/18-20)

Falk Mersmann & Adamantios Arampatzis (Projektleitung)

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

1 Problem

Muskel und Sehne können sich über die gesamte Lebensspanne an veränderte mechanische Belastungsbedingungen anpassen. Allerdings verläuft die belastungsinduzierte Adaptation in einem Trainingsprozess nicht notwendigerweise ausgewogen. Steigt beispielsweise die Muskelkraft ohne adäquate Zunahme der Widerstandsfähigkeit der Sehne, erhöht sich die Beanspruchung der Sehne, mit potenziellen Konsequenzen für das Verletzungsrisiko.

Tendinopathien sind insbesondere in Sportarten mit plyometrischem Belastungsprofil ein schwerwiegendes Problem, und das Verletzungsrisiko scheint in der Adoleszenz anzusteigen (Simpson, Rio, & Cook, 2016). Eine mögliche Ursache könnte die Überbeanspruchung des Sehngewebes aufgrund unphysiologisch hoher Dehnungen, ausgelöst durch Dysbalancen der Entwicklung von Muskelkraft und Widerstandsfähigkeit der Sehne, sein. Eine erhöhte Beanspruchung der Sehne konnte bei jugendlichen Athletinnen und Athleten aus Risikosportarten für Tendinopathien bereits nachgewiesen werden (Mersmann et al., 2016; Mersmann et al., 2017b). Bislang ist jedoch unklar, inwiefern diese erhöhte Beanspruchung mit Konsequenzen für die strukturelle Integrität des Sehngewebes assoziiert ist und ob die mikromorphologische Erscheinung der Sehne mit deren Materialeigenschaften im Zusammenhang steht. Berücksichtigt man, dass plyometrische Belastungen die Adaptation der Sehne im Vergleich zum Muskel nur unzureichend anregen (Bohm et al., 2014), ist es denkbar, dass die Implementierung spezifischer anpassungswirksamer Belastungen für die Sehne in das Training von jugendlichen

Athletinnen bzw. Athleten die Häufigkeit überhöhter Beanspruchungen und deren Konsequenzen reduzieren könnte.

Ziel dieses Forschungsprojektes war es demnach

- › die Zusammenhänge zwischen der Beanspruchung der Sehne und strukturellen Konsequenzen bei jugendlichen Athletinnen und Athleten weiter aufzuklären und
- › das Potenzial einer spezifischen Intervention für die Sehne zur Vermeidung von Überbeanspruchung und deren Folgen zu evaluieren.

2 Studie 1 | Zusammenhang der Beanspruchung der Patellarsehne und strukturellen Anomalien bei jugendlichen Athleten

2.1 Methode

Für die erste Studie wurden 16 männliche Elite-Basketballathleten im Alter von 14 oder 15 Jahren rekrutiert (Alter: $14,8 \pm 0,5$ Jahre, Größe: $185,1 \pm 8,2$ cm, Masse: $72,4 \pm 9,4$ kg). Beschwerden der Sehne wurden mittels des VISA-P Fragebogens erfasst. Alle Messungen wurden jeweils am dominanten Bein durchgeführt (Details siehe Mersmann et al., 2019).

Die Querschnittsfläche und der Hebelarm der Patellarsehne wurden auf der Basis von Magnetresonanztomographie (MRT) Aufnahmen bestimmt.

Dafür wurden in transversalen MRT-Sequenzen die Grenzen der Patellarsehne zwischen dem distalen Apex der Patella und der tiefen Insertionsstelle an der Tuberositas Tibiae manuell segmentiert. Zudem wurden für die Bestimmung der Rotationsachse des Knies die Konturen des posterioren Teils der Femurkondylen in der Sagittalebene digitalisiert und zirkulär angenähert.

Zur Berechnung der maximalen Sehnenkraft wurde das Knieextensionsmoment während maximaler willkürlicher isometrischer Kontraktionen (MVC) mittels inverser Dynamik und unter Berücksichtigung der Koaktivierung der antagonistischen Muskeln bestimmt. Anschließend wurde das Kraft-Elongationsverhältnis der Patellarsehne durch die Hinzunahme von Ultraschallbildgebung während fünf isometrischer Rampenkontraktionen ermittelt und darauf basierend die Steifigkeit (d. h. Widerstandsfähigkeit), Sehnenspannung und der Elastizitätsmodul (Materialeigenschaften) der Sehne berechnet.

Die Mikromorphologie der proximalen und distalen Sehne wurde auf Grundlage einer Raumfrequenzanalyse von Ultraschallaufnahmen des proximalen Teils der Patellarsehne ermittelt. Eine hohe Spitzenraumfrequenz (peak spatial frequency = PSF) repräsentiert dabei eine hohe Dichte und geordnete Ausrichtung der Kollagenfaszikel. Die Erhebung der Neovaskularisation der Sehne basierte auf einer farbkodierten Dopplersonografie und der Berechnung der intratendinösen Farbfläche des Dopplersignals.

Die Korrelationen zwischen den Hauptparametern wurden im Falle einer Normalverteilung mit dem Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) oder andernfalls dem Spearman'schen Rho (ρ) berechnet. Das Alpha-Niveau aller statistischen Tests lag bei 0,05.

2.2 Ergebnisse

Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der Sehnendehnung und proximaler Sehnen-PSF ($r = -0,652$, $p = 0,006$). Zwischen der Sehnendehnung und der distalen Sehnen-PSF ($r = 0,279$, $p = 0,3$) gab es keinen signifikanten Zusammenhang, ebenso gab es keine signifikante Korrelation der PSF mit der Sehnenkraft (proximal: $r = -0,24$, $p = 0,37$; distal: $r = -0,348$, $p = 0,19$) oder Spannung (proximal: $\rho = -0,344$, $p = 0,19$; distal: $\rho = -0,068$, $p = 0,8$). Es wurden keine signifikanten Korrelationen zwischen der Größe der Doppler-Farbfelder und den mechanischen Parametern der Sehne gefunden (ρ zwischen $-0,17$ und $0,08$; $p \geq 0,54$). Die Längen-normalisierte Sehnensteifigkeit zeigte eine signifikante Korrelation mit der Sehnenkraft ($r = 0,704$, $p = 0,002$), jedoch wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Sehnenelastizitätsmodul und der durchschnittlichen Sehnen-PSF gefunden ($\rho = -0,179$, $p = 0,506$). Teilte man die Teilnehmenden dieser Studie in asymptomatische Athleten (die entweder keine Schmerzen oder eine Erholung von einer Tendinopathie bis zu einem VISA-P Score von ≥ 85 nach 2 Monaten berichteten; $N = 10$) und symptomatische Athleten (welche zu beiden Messzeitpunkten Schmerzen berichteten oder innerhalb der 2 Monate eine Tendinopathie entwickelten; $N = 6$) ein, zeigt sich in der symptomatischen Gruppe eine signifikant höhere Sehnendehnung und geringere Sehnen-PSF (Welch's T-Test $p = 0,04$, bzw. $0,02$; Abb. 1).

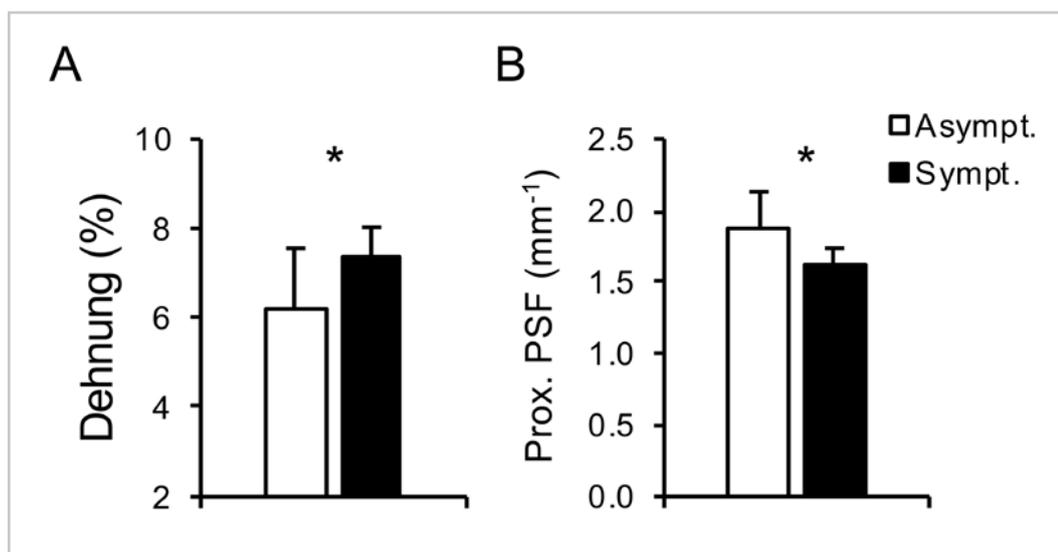


Abb. 1: (A) Dehnung der Patellarsehne und (B) proximale Spitzenraumfrequenz (peak spatial frequency: PSF) bei jugendlichen Basketballathleten die zum Messzeitpunkt oder in einem Follow-Up zwei Monate später asymptomatisch waren (Asympt.) und Athleten die dauerhaft symptomatisch waren oder später Symptome zeigten (Sympt.). * $p < 0,05$.

3 Studie 2 | Einfluss einer spezifischen Intervention für die Patellarsehne auf die Beanspruchung, Mikrostruktur und Beschwerden bei jugendlichen Athleten

3.1 Methoden

In dieser Längsschnittstudie wurden an drei Messzeitpunkten über eine Wettkampfsaison (M1: Vorbereitungsperiode, M2 & M3: Wettkampfperiode, 10 Wochen zwischen den Messzeitpunkten) wie oben beschrieben die Beanspruchung (d. h. Dehnung) und Mikrostruktur der Patellarsehne jugendlicher Basketballspieler *in vivo* bestimmt sowie die Schmerzsymptomatik erhoben und der Effekt gezielter Sehnenbelastungen untersucht (Details siehe Mersmann et al., 2021a). Es wurden 19 Basketballathleten im Alter von 13 bis 15 Jahren (Alter: $14,8 \pm 0,5$ Jahre, Größe: 183 ± 9 cm, Masse: $70,4 \pm 10,4$ kg) aus zwei Teams der Jugend-Basketball-Bundesliga rekrutiert und der Kontrollgruppe zugewiesen, welche lediglich ihr sportspezifisches Training absolvierten. In der darauffolgenden Saison nahmen 14 Athleten aus denselben Teams (und entsprechend derselben Altersgruppe) als Inter-

ventionsgruppe teil (Alter: $14,7 \pm 0,7$ Jahre, Größe: 183 ± 9 cm, Masse: $67,2 \pm 10,8$ kg). Das Trainingsprogramm für die Interventionsgruppe wurde entsprechend der Belastungscharakteristika des effektivsten Trainingsprotokolls früherer systematischer Studien zur *in vivo* Adaptation der menschlichen Sehne entwickelt (Arampatzis, Karamanidis, & Albracht, 2007; Arampatzis et al., 2010; Bohm et al., 2014). Es wurde eine Sammlung funktioneller Übungen zusammengestellt (Variationen von Ausfallschritten und Kniebeugen sowie isometrische Kontraktionen), welche eine hohe Belastung der Sehne (um eine ausreichende Sehnendehnung zu bewirken) über mindestens 3 Sekunden pro Wiederholung erzeugen sollten. Die Belastungsintensität wurde über den Saisonverlauf entsprechend der Fähigkeiten der Athleten erhöht (Wechsel von zweibeinigen zu einbeinigen Übungen und/oder Nutzung von Zusatzgewichten). Die Dauer der Intervention betrug ungefähr 20 Minuten und wurde dreimal wöchentlich in das Athletiktraining integriert, ohne die Gesamttrainingszeit zu beeinflussen.

Auf deskriptiver Ebene wurde die Häufigkeit untersucht, mit der bei den Athleten maximale Sehnendehnung von $\geq 9\%$ auftraten (als Indikator für muskulotendinöse Dysbalancen), sowie die Häufigkeiten unterschiedlicher Schweregrade der Symptomatik (d. h. VISA-P Angaben in 10-Punkte-Intervallen).

Die Entwicklung von Sehnenkraft und Steifigkeit wurde mit einem linearen gemischten Modell für wiederholte Messungen analysiert. Zudem wurde der Zusammenhang zwischen maximaler Sehnendehnung und PSF an den einzelnen Messzeitpunkten bestimmt, um gruppenspezifische Unterschiede in dem Verhältnis von mechanischer Beanspruchung und Struktur zu untersuchen.

3.2 Ergebnisse

Die Häufigkeit mit der bei den Athleten maximale Dehnungswerte von über 9 % auftraten zeigte eine kontinuierliche Abnahme in der Interventionsgruppe, während sie in der Kontrollgruppe tendenziell zunahm (Abb. 2). Der Anteil der asymptomatischen Athleten (VISA-P Score ≥ 91) war bei M1 ähnlich in beiden Gruppen (~70 %). In der Interventionsgruppe stiegen der Anteil kontinuierlich auf 100 % bei M3 an, was auf eine stetige Abnahme der Patellarsehnenschmerzen hinweist. In der Kontrollgruppe sanken die Werte bei M2 und erreichten bei M3 lediglich den Ausgangswert.

Wie in Studie 1, zeigte sich in der Kontrollgruppe an allen Messzeitpunkten ein inverser Zusammenhang der maximalen Sehnendehnung mit der proximalen Sehnen-PSF, was auf eine geringere mikromorphologische Integrität bei stark beanspruchten Sehnen hinweist (Abb. 3, S. 5). Diese Assoziation war in der Interventionsgruppe nur bei M1 vorhanden.

In M2 und M3 zeigten auch Sehnen die eine starke Beanspruchung (Dehnung) aufwiesen eine hohe strukturelle Integrität (PSF).

Die Sehnenkraft nahm in beiden Gruppen signifikant zu (Kontrolle +6 %, Intervention +10 %, $p < 0,05$), die Zunahme der Steifigkeit war allerdings nur in der Interventionsgruppe signifikant (+18 %, $p = 0,004$; Kontrolle: +6 %, $p = 0,35$).

4 Diskussion

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte Evidenz erbracht werden, dass – im Gegensatz zu Kraft oder Spannung – hohe Sehnendehnungen mit mikromorphologischen Verschlechterungen des kollagenen Netzwerks der proximalen Patellarsehne von jugendlichen Basketballern zusammenhängen. Darüber hinaus wiesen Athleten, die an einer Tendinopathie litten oder eine solche entwickelten, sowohl eine stärkere Beanspruchung der Sehnen als auch eine geringere Packungsdichte und Ausrichtung der Faszikel auf, was die Ansicht unterstützt, dass die mechanische Beanspruchung der primäre mechanische Faktor für die Akkumulation von Sehnenschäden und das Fortschreiten von Überbeanspruchung ist (Wren et al., 2003). Obwohl es aus methodologischer Perspektive noch immer eine Herausforderung ist, könnte die Beobachtung der Sehnendehnung von Athletinnen und Athleten perspektivisch ein vielversprechender Ansatz sein, um das Verletzungsrisiko der Sehne zu beurteilen (Arampatzis, Mersmann, & Bohm,

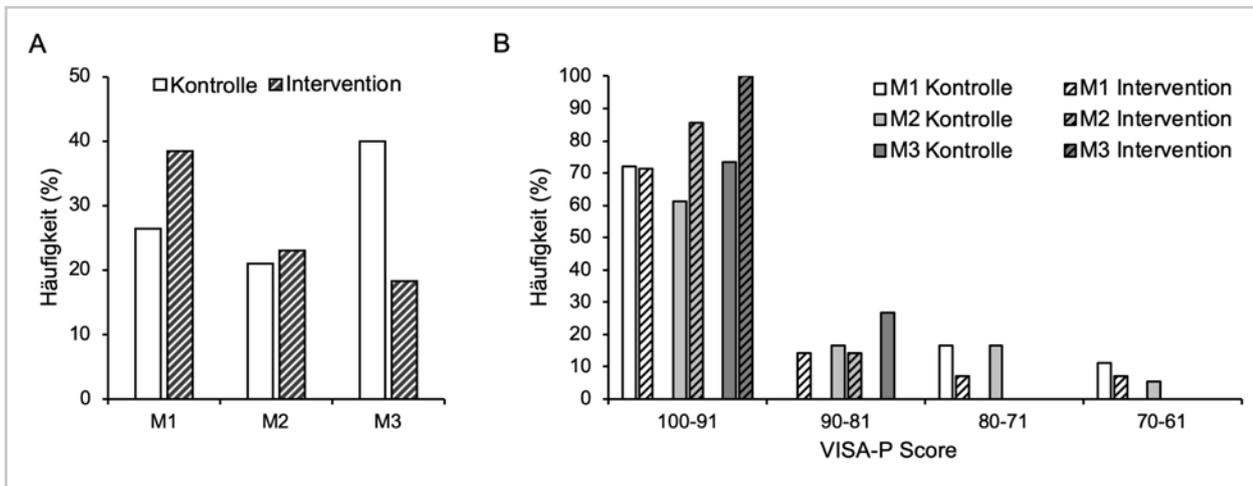


Abb. 2: (A) Häufigkeit des Auftretens maximaler Sehnendehnungen von $\geq 9\%$ in der Kontroll- und Interventionsgruppe (schraffiert) über die drei Messzeitpunkte (M1-3). (B) Anteil der Athleten, die VISA-P Scores in den jeweiligen 10-Punkte-Intervallen erreichten (100 Punkte = symptomfrei).

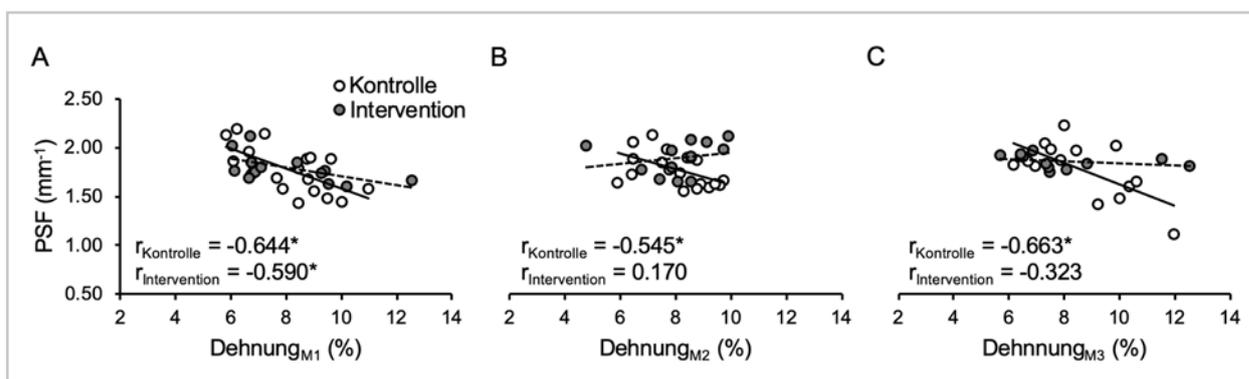


Abb. 3: Zusammenhang zwischen maximaler Dehnung der Patellarsehne und proximaler Spitzenraumfrequenz (PSF) als Indikator für die strukturelle Integrität der Sehne zu den drei Messzeitpunkten (A: M1, B: M2, C: M3) in der Kontroll- und Interventionsgruppe. * signifikanter Zusammenhang ($p < 0,05$).

2020; Mersmann, Bohm, & Arampatzis, 2017a). Die Bestimmung der Sehnenmikromorphologie könnte zusätzlich genutzt werden, um die strukturelle Entwicklung der Sehne abzuschätzen, wobei die Analyse der proximalen Sehne vermutlich sensibler ist, um gesundes und betroffenes Gewebe zu unterscheiden. Die Vaskularität der Sehne scheint auf der anderen Seite nicht mit der mechanischen Beanspruchung in Zusammenhang zu stehen und könnte eine physiologische Antwort der Sehne auf häufiges Training bei jugendlichen Spitzensportlerinnen und -sportlern sein.

Den Ergebnissen der Längsschnittstudie zufolge, könnte die Integration spezifischer Übungen, welche einen wirksamen Stimulus für Sehnenadaptation liefern, in die Trainingsroutine jugendlicher Sportlerinnen und Sportler ein effektives Mittel sein, die Häufigkeit hoher Sehnendehnungen zu reduzieren, belastungsinduzierte Schädigungen der Sehnenmikromorphologie abzuschwächen und die Prävalenz von Sehnenbeschwerden zu verringern. Der zugrundeliegende physiologische Mechanismus ist dabei noch unklar. Der Erhalt und die Regeneration von Sehnen nach Belastung sowie adaptive Veränderungen ihrer mechanischen Eigenschaften beruhen auf den Mechanismen der Mechanotransduktion und den damit verbundenen metabolischen Reaktionen auf die Art der Belastung (Magnusson, Langberg, & Kjaer, 2010). Die lange Dauer der Belastung in den ausgewählten Übungen hat sich für die Sehnenadaptation als günstig erwiesen (Arampatzis et al., 2010; Bohm et al., 2014).

Es kann daher spekuliert werden, dass eine Erhöhung der Dehnungsdauer während der Belastung aufgrund der viskoelastischen Eigenschaften des Gewebes zu einer homogeneren Dehnungsverteilung innerhalb der extrazellulären Matrix führt. Eine gleichmäßige Stimulation der eingebetteten Tenozyten könnte für einen ausgewogenen Matrixumsatz und die Erhaltung der strukturellen Integrität des Gewebes von Vorteil sein. Bei ausreichender Stimulation der anabolen Signalwege könnte dies auch zu der in der Interventionsgruppe beobachteten Erhöhung der Sehnensteifigkeit führen. Zudem könnte die Vermeidung hoher Sehnendehnungen und Abschwächung belastungsinduzierter Gewebeschäden auch die Expression nozizeptiver Substanzen und damit Schmerzen reduzieren. Zwar sind auch in asymptotischen Sehnen strukturelle Auffälligkeiten feststellbar, jedoch ist das Risiko für die Entwicklung von Symptomen bei Sehnen, die Hinweise auf eine geschädigte Sehnenstruktur aufweisen, etwa viermal höher (McAuliffe et al., 2016).

In Anbetracht der günstigen Beeinflussung der mechanischen und strukturellen Eigenschaften der Sehne, sowie der auch im Zusammenhang mit jüngsten Befunden vielversprechenden Befunde hinsichtlich der Prävalenz von Sehnenbeschwerden (Mersmann et al., 2021b), könnten spezifische Belastungen für die Sehne neue Perspektiven für die Prävention von Überlastungserscheinungen in Risikosportarten für Tendinopathien eröffnen. Fünf Sätze je vier Wiederholungen von Übungen, die eine ausreichende Sehnenstreckung (d. h. 4,5 % bis

6,5 %) hervorrufen und über mindestens 3 Sekunden pro Wiederholung gehalten werden, dauern etwa 15-20 Minuten und sollten demnach wöchentlich in Trainingspläne von Spitzensportlerinnen und -sportlern integriert werden können. Insbesondere in Sportarten mit einer hohen plyometrischen Belastung durch Sprünge und Richtungswechselbewegungen empfiehlt es sich, spezifische Sehnentrainingsprogramme fest in Modelle zum langfristigen Leistungsaufbau zu etablieren.

5 Literatur

- Arampatzis, A., Karamanidis, K., & Albracht, K. (2007). *Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude*. *Journal of Experimental Biology*, 210(Pt 15), 2743-2753.
<http://doi.org/10.1242/jeb.003814>
- Arampatzis, A., Mersmann, F., & Bohm, S. (2020). Individualized Muscle-Tendon Assessment and Training. *Frontiers in Physiology*, 11, 723.
<http://doi.org/10.3389/fphys.2020.00723>
- Arampatzis, A., Peper, A., Bierbaum, S., & Albracht, K. (2010). Plasticity of human Achilles tendon mechanical and morphological properties in response to cyclic strain. *Journal of Biomechanics*, 43(16), 3073-3079.
<http://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.08.014>
- Bohm, S., Mersmann, F., Tettke, M., Kraft, M., & Arampatzis, A. (2014). Human Achilles tendon plasticity in response to cyclic strain: effect of rate and duration. *Journal of Experimental Biology*, 217(22), 4010-4017.
<http://doi.org/10.1242/jeb.112268>
- Magnusson, S. P., Langberg, H., & Kjaer, M. (2010). The pathogenesis of tendinopathy: balancing the response to loading. *Nature Reviews. Rheumatology*, 6(5), 262-268.
<http://doi.org/10.1038/nrrheum.2010.43>
- McAuliffe, S., McCreesh, K., Culloty, F., Purtill, H., & O'Sullivan, K. (2016). Can ultrasound imaging predict the development of Achilles and patellar tendinopathy? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1516-1523.
<http://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096288>
- Mersmann, F., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2017a). Imbalances in the Development of Muscle and Tendon as Risk Factor for Tendinopathies in Youth Athletes: A Review of Current Evidence and Concepts of Prevention. *Frontiers in Physiology*, 8, Article 987: 1-18.
<http://doi.org/10.3389/fphys.2017.00987>
- Mersmann, F., Bohm, S., Schroll, A., Marzilger, R., & Arampatzis, A. (2016). Athletic Training Affects the Uniformity of Muscle and Tendon Adaptation during Adolescence. *Journal of Applied Physiology*, 121, 893-899.
<http://doi.org/10.1152/jappphysiol.00493.2016>
- Mersmann, F., Charcharis, G., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2017b). Muscle and Tendon Adaptation in Adolescence: Elite Volleyball Athletes Compared to Untrained Boys and Girls. *Frontiers in Physiology*, 8, 613.
<http://doi.org/10.3389/fphys.2017.00417>
- Mersmann, F., Domroes, T., Pentidis, N., Tsai, M.-S., Bohm, S., Schroll, A., & Arampatzis, A. (2021a). Prevention Strain-Induced Impairments of Patellar Tendon Micromorphology in Adolescent Athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, accepted.
- Mersmann, F., Laube, G., Marzilger, R., Bohm, S., Schroll, A., & Arampatzis, A. (2021b). A Functional High-Load Exercise Intervention for the Patellar Tendon Reduces Tendon Pain Prevalence During a Competitive Season in Adolescent Handball Players. *Frontiers in Physiology*, 12, 626225. <http://doi.org/10.3389/fphys.2021.626225>

- Mersmann, F., Pentidis, N., Tsai, M.-S., Schroll, A., & Arampatzis, A. (2019). Patellar Tendon Strain Associates to Tendon Structural Abnormalities in Adolescent Athletes. *Frontiers in Physiology, 10*, 963. <http://doi.org/10.3389/fphys.2019.00963>
- Simpson, M., Rio, E., & Cook, J. (2016). At What Age Do Children and Adolescents Develop Lower Limb Tendon Pathology or Tendinopathy? A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine, 46*(4), 545-557. <http://doi.org/10.1007/s40279-015-0438-0>
- Wren, T. A. L., Lindsey, D. P., Beaupré, G. S., & Carter, D. R. (2003). Effects of creep and cyclic loading on the mechanical properties and failure of human Achilles tendons. *Annals of Biomedical Engineering, 31*(6), 710-717.

Einfluss der Alltagsaktivität auf die konditionelle Leistungsentwicklung von Hochleistungsrunderern in Grundlagenausdauer- oder Intensitätsbetonten Trainingsmodellen

(AZ 070705/18-20)

Gunnar Treff¹ (Projektleitung), Robert Leppich^{2,3}, Kay Winkert¹, Jürgen M. Steinacker¹, Benjamin Mayer⁴ & Billy Sperlich³

¹Universität Ulm, Sektion Sport- und Rehabilitationsmedizin

²Universität Würzburg, Lehrstuhl für Informatik, Software Engineering Group

³Universität Würzburg, Institut für Sportwissenschaft, Integrative & Experimentelle Bewegungswissenschaft & Training

⁴Universität Ulm, Institut für Epidemiologie und Medizinische Biometrie

1 Einleitung

Trainerinnen und Trainer, aber auch Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen suchen stets nach der optimalen Kombination aus Trainingsintensität, -art, -häufigkeit und -umfang, um die perfekte Anpassung und Leistungsfähigkeit auf optimal dosierte Trainingsreize zu erzielen. Dabei konzentrieren sich sowohl Forschung als auch Trainingspraxis primär auf die Wechselwirkung zwischen geplantem und dann tatsächlich realisiertem Training und der diagnostizierten Anpassung (Treff et al., 2017). Die Trainingsanpassung resultiert aber auch aus weiteren Faktoren wie z. B. Erholung, Ernährung und mutmaßlich auch der Alltagsaktivität (Sperlich & Holmberg, 2017).

Die Alltagsaktivität umfasst ein Intensitätskontinuum, das von sedentärem Verhalten bis zu potenziell hochintensiver Belastung reicht. Wir benennen diese körperliche Aktivität außerhalb des Trainings hier als „Off-Training“. Vorhergehende Studien zeigten, dass Leistungsruderer neben ihrem eigentlichen Training wochentags ca. $0,51 \pm 0,44$ h/Tag auf potenziell ergogenem Niveau körperlich aktiv sind (Sperlich et al., 2017). Diese Aktivität entsteht z. B. durch zusätzlichen Freizeitsport oder tägliche Wege mit dem Fahrrad zwischen Uni, Trainingsort und Wohnung.

Zentrales Ziel dieses Projektes war es, die Trainings- und Alltagsaktivität von Hochleistungsrunderern über eine Saison hinweg zu quantifizieren und deren Einfluss auf die konditionelle Leistungsentwicklung zu untersuchen.

2 Methoden

Probandengruppe und Design: Initial wurden 22 Ruderer aus dem Nationalmannschaftspool eingeschlossen. Es kam zu 10 Dropouts (technisch und/oder motivational begründet). Drei Probanden wurden schließlich aufgrund zu niedriger Datendichte ausgeschlossen. In die Analyse flossen somit die Daten von acht Probanden (2 weiblich) ein.

Der Zeitraum der Beobachtungsstudie erstreckte sich von November 2018 bis zum jeweiligen Saisonhöhepunkt. Das war entweder die U23-Weltmeisterschaft (n = 4, 219 Tage), die A-Weltmeisterschaft (n = 2, 284 Tage) oder die Europäische Studentenmeisterschaft (n = 1, 318 Tage). Bei einem Probanden endete die Studie mit dem vorzeitigen Karriereende (n = 1, 213 Tage).

Es erfolgten vier Ergometertests, jeweils einer zu Beginn und Ende der Vorbereitungsperiode, einer während der Wettkampfperiode und einer zum Hauptwettkampf.

Bestimmt wurden die Leistung bei einer Blutlaktatkonzentration von 2 und 4 mmol/l (P2 und P4) (Schwarzrock et al., 2017) und die maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2,max}$) (Treff, et al., 2018). Ein all-out 2000 m-Wettkampftest auf dem Ruderergometer (2k) ergänzte das Test-Programm der ersten zwei Messzeitpunkte. Alle Teilnehmenden hatten sich verpflichtet, während ihrer Wach-Zeit eine multisensorische Smartwatch (POLAR M600, Kempele, Finland) zu tragen. Mit ihr wurden Trainingsdaten (Trainingsart, -Dauer, -Ort, Herzfrequenz) und Off-Trainingsdaten (Herzfrequenz) erfasst.

Datenverarbeitung: Die Smartwatch-Daten wurden per Handy auf die POLAR-Flow® transferiert und in eine Datenbank (MongoDB) überführt. Dort wurden sie mit Auswertungsalgorithmen basierend auf der Python data analysis library Pandas (v.1.0.3) durch einen Informatiker weiterverarbeitet. Die resultierenden Daten wurden zunächst maschinell von Artefakten bereinigt, dann entsprechend der vom Athleten bzw. der Athletin zugewiesenen Sportart als Training

(d. h. Rudern & Ergo, Unspezifisches Ausdauertraining, Krafttraining, Anderes) oder Off-Training (definiert als „anderes Indoor-Training“ ohne GPS) kategorisiert. Die Herzfrequenzdaten wurden relativ zur maximalen Herzfrequenz in drei Intensitätszonen unterteilt (Seiler, 2010). Zudem wurden Trainingsimpuls (TRIMP) (Banister et al., 1975) und Polarisationsindex (Treff et al., 2019) berechnet. Als ein gültiger Tag galt jeder Tag mit mindestens 480 min Off-Training (Atkin et al., 2012), eine valide Woche bestand aus mindestens sechs gültigen Tagen.

Statistik: Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit (P2, P4, P2k, $\dot{V}O_{2,max}$) im Längsschnitt und die Aufklärung der Leistungsveränderungen durch Integration des Off-Trainings erfolgte durch mixed modeling. In die Off-Trainingsanalyse wurden nur Herzfrequenzen von mindestens 60 % der maximalen Herzfrequenz herangezogen, weil das allgemein der unteren Grenze des kardiovaskulär wirksamen Ausdauertrainings bei Trainierten entspricht (Seiler, 2010).

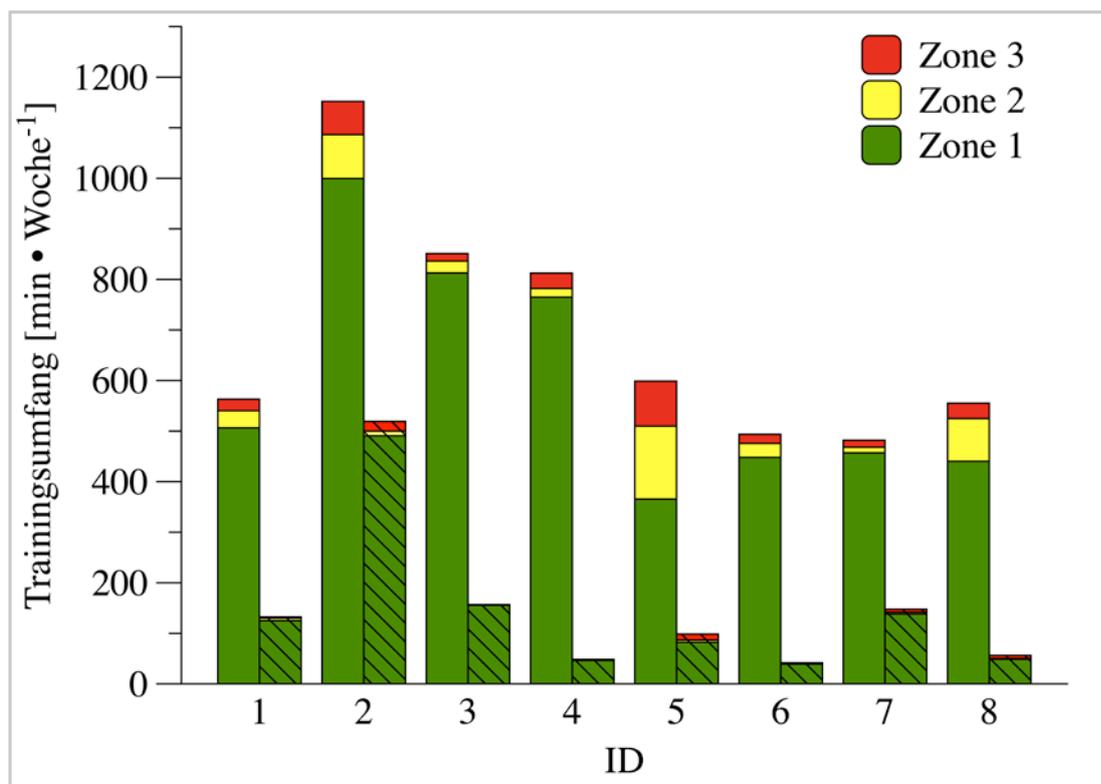


Abb. 1: Trainingsumfang und Intensitätsverteilung während des regulären Trainings (linke Säulen in klaren Farben) und während außerhalb regulärer Trainingsaktivitäten (i.e., Off-Training. Rechte Säulen, schraffiert) bei N=8 internationalen Elite-Ruderern.

Die Zonen beziehen sich auf die Intensitätsbereiche. Zone 1 ist der Bereich $60 \leq 82\%$ der maximalen Herzfrequenz, Zone 2 umfasst $82 \leq 88\%$ und Zone 3 umfasst $88-100\%$.

3 Ergebnisse

Der endgültige Datensatz umfasste 100.738.768 Sekunden, resultierend in 178 ± 46 gültigen Tagen bzw. 24 ± 7 gültigen Wochen pro Athlet bzw. Athletin.

Die wichtigsten Ergebnisse waren:

- Ungefähr ein Drittel (31 %) des regulären Trainings fanden mit einer Belastungsintensität von weniger als 60 % der maximalen Herzfrequenz statt.
- Das Off-Training mit mindestens 60 % der maximalen Herzfrequenz betrug im Mittel 2 h/Woche mit erheblicher interindividueller Variabilität (Abb. 1) und fand primär in der niedrig intensiven Zone 1 statt. In einzelnen Wochen bestand das Off-Training jedoch im Mittel zu 21 min (95 % KI [4-45]) aus hochintensivem Training (d. h. bei 88-100 % der maximalen Herzfrequenz).
- Die Einbeziehung des Off-Trainings erhöhte den Gesamt-Trainingsumfang um ca. 19 %, die TRIMPS um 11 % und die Anzahl der Trainingseinheiten um 41 %.
- Die Einbeziehung des Off-Trainings veränderte die mittlere Trainingsintensitätsverteilung nicht signifikant.
- Auf individueller Ebene änderte sich durch die Einbeziehung des Off-Trainings jedoch bei vier Athleten in sechs verschiedenen Wochen eine nicht-polarisierte Trainingsintensitätsverteilung zu polarisierten (83 %) oder umgekehrt (17 %).
- P2 und P4 änderten sich signifikant ($p = 0.027$ und 0.031) über den Saisonverlauf, $\dot{V}O_{2max}$ und 2k dagegen nicht (Abb. 2).

- Es zeigte sich kein signifikanter Effekt von Trainingsumfang, -häufigkeit oder TRIMPS auf die Leistungsänderungen bei Einbeziehung der Off-Trainingsdaten ($p \geq 0.072 \leq 0.604$) und damit auch keine bessere statistische Aufklärung.

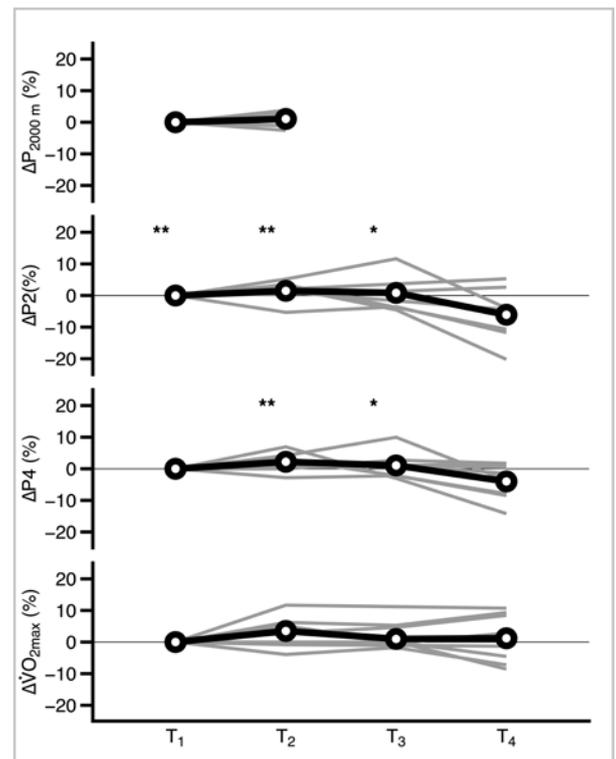


Abb. 2: Individuelle (grau) und durchschnittliche (schwarz und fett) prozentuale Veränderungen in den Ausdauerkennwerten von $N = 8$ Ruderern innerhalb einer Wettkampfsaison.

t_{1-4} stehen für Messzeitpunkte im November, März, Juni und zum Hauptwettkampf. P2 und P4: Mechanische Leistung bei einer Blutlaktatkonzentration von 2 bzw. 4 mmol/L, $\dot{V}O_{2max}$: Maximale Sauerstoffaufnahme. Sternchen symbolisieren signifikante Unterschiede zu t_4 mit $p < .05$ (*) und ** $p < .01$ (**), berechnet mit Tukey-Test bei signifikantem Haupteffekt.

4 Diskussion

In diesem Projekt wurde erstmals die Trainings- und Alltagsaktivität von Hochleistungsathleten bzw. -athletinnen über eine Saison quantifiziert und deren Einfluss auf die konditionelle Leistungsentwicklung untersucht. Dabei entstand ein bislang einzigartiger Datensatz und zahlreiche Vorschläge für bislang nichtexistierende Konventionen, wie z. B. die Definition von Trainingseinheiten während des Off-Trainings.

Inhaltlich zeigte sich ein Unterschied zwischen regulärem Training und dem totalen Umfang (d. h. reguläres Training plus Off-Training), der mit 19 % auf den ersten Blick relevant zu sein scheint. Diese Einschätzung ergibt sich zum einen daraus, dass in sportwissenschaftlichen Studien die Unterschiede zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe oftmals in ähnlicher Größenordnung liegen (z. B. Stöggel & Sperlich, 2015; Plews et al., 2014) oder an anderer Stelle bereits 5 % Umfangssteigerung als Grenze zur Vermeidung des Übertrainingsyndroms genannt werden (Meeusen et al., 2013). Dennoch war – für uns überraschend – keine verbesserte Aufklärung der Leistungsentwicklung durch Einbeziehung des Off-Trainings möglich.

Möglicherweise erzielt das metabolisch meist niedrig intensive Off-Training bei hochtrainierten Athleten bzw. Athletinnen keine kardiovaskulär messbare Wirkung. Damit wäre die Erfassung des Off-Trainings obsolet und nicht lohnend. Allerdings scheint uns diese Schlussfolgerung aktuell als vorschnell. Das Off-Training ändert nicht nur den Trainingsumfang, sondern mit ca. 11 % auch die Trainingsimpulse und auf individueller Ebene die Trainingsintensitätsverteilung. Ohne Berücksichtigung des Off-Trainings wären hochintensive Trainingsanteile von teilweise mehr als 20 min/Woche übersehen worden. Deshalb empfehlen wir – zumindest in Trainingsstudien – vorerst auch die Alltagsaktivität zu erfassen. Leider können wir aufgrund der schließlich kleinen Stichprobe und den zahlreichen Datenverlusten nicht ausschließen, dass relevante statistische Effekte der Alltagsaktivität auf die Leistungsänderungen nicht sichtbar wurden.

Limitiert wurde das Projekt vor allem durch die Akkulaufzeit und unzuverlässige Datenübertragung der Android-basierten Smartwatch. Die M600 musste täglich geladen werden, was viele der Teilnehmenden nach 2-3 Monaten als lästig empfanden. Zudem kam es auch bei den zunächst sauber arbeitenden Personen aus dem Teilnehmerkreis zu Motivationsproblemen, nachdem mehrmals massive, technisch bedingte Datenverluste auftraten. Diese waren teilweise erratischer Natur und ließen sich weder durch das Studienteam noch durch den kommerziellen Support beheben.

Aus diesen Problemen resultierte ganz wesentlich die hohe Dropout-Quote. Erfreulicherweise haben sich sowohl Zuverlässigkeit als auch Akkulaufzeit in der aktuellen Generation der Smartwatches massiv verbessert, was die Anwendung in kommenden Projekten und dem Trainingsalltag deutlich erleichtert.

Neben diesen Ergebnissen war aus Sicht der Sportpraxis die enorme Variabilität des Trainings- und Off-Trainingsverhaltens (Abb. 1) interessant; außerdem der mit einem Drittel überraschend hohe Anteil von niederschwelligem Training mit weniger als 60 % der maximalen Herzfrequenz. Die Trainingspraxis zeigte sich zudem überrascht von der kaum erkennbaren Periodisierung und geringen biologischen Unterscheidbarkeit der Trainingsintensitätsverteilung innerhalb des Jahresverlaufs. Diese Nebenfunde sprechen klar für eine Trainingsdatenerfassung unter Einbeziehung biologischer Marker wie z. B. der Herzfrequenz (anstelle der häufig anzutreffenden Bilanzierung auf Basis der Trainingsvorgaben) und vor allem für eine vollständige Erfassung der Trainingsdaten. Detaillierte Ergebnisse und deren Diskussion finden sich in Treff et al. (2021).

5 Literatur

- Atkin, A. J., Gorely, T., Clemes, S. A., Yates, T., Edwardson, C., Brage, S., . . . & Biddle, S. J. (2012). Methods of Measurement in epidemiology: sedentary Behaviour. *International Journal of Epidemiology*, *41*(5), 1460-1471.
doi:10.1093/ije/dys118
- Banister, E. W., Calvert, T. W., Savage, M. V., & Bach, T. M. (1975). A systems model of training for athletic performance. *Australian Journal of Sports Medicine*, *7*(3), 57-61. Retrieved from Google Scholar.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., . . . & Medicine, A. C. O. S. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45*(1), 186-205.
doi:10.1249/MSS.0b013e318279a10a
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Heart-rate variability and training-intensity distribution in elite rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(6), 1026-1032.
doi:10.1123/ijsp.2013-0497
- Schwarzrock, M., Treff, G., Viedt, C., Bielig, B., Wick, J., Reyher, D., . . . & Amort, M. (2017). *Trainingsmethodische Grundkonzeption 2017-2020* (1 ed. Vol. 1). Hannover.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *5*(3), 276-291.
- Sperlich, B., & Holmberg, H. C. (2017). The Responses of Elite Athletes to Exercise: An All-Day, 24-h Integrative View Is Required. *Frontiers in Physiology*, *8*, 564.
doi:10.3389/fphys.2017.00564
- Sperlich, B., Becker, M., Hotho, A., Wallmann-Sperlich, B., Sareban, M., Winkert, K., . . . & Treff, G. (2017). Sedentary Behavior among National Elite Rowers during Off-Training—A Pilot Study. *Frontiers in Physiology*, *8*, 655.
doi:10.3389/fphys.2017.00655
- Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in Physiology*, *6*, 295.
doi:10.3389/fphys.2015.00295
- Treff, G., Winkert, K., Machus, K., & Steinacker, J. M. (2018). Computer-Aided Stroke-by-Stroke Visualization of Actual and Target Power Allows for Continuously Increasing Ramp Tests on Wind-Braked Rowing Ergometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(6), 729-734.
doi:10.1123/ijsp.2016-0716
- Treff, G., Leppich, R., Winkert, K., Steinacker, J. M., Mayer, B., & Sperlich, B. (2021). The integration of training and off-training activities substantially alters training volume and load analysis in elite rowers. *Scientific Reports*, *11*(1), 17218.
doi:10.1038/s41598-021-96569-0
- Treff, G., Winkert, K., Sareban, M., Steinacker, J. M., & Sperlich, B. (2019). The Polarization-Index: A Simple Calculation to Distinguish Polarized from Non-Polarized Training Intensity Distributions. *Frontiers in Physiology*, *10*, 707.
doi:10.3389/fphys.2019.00707
- Treff, G., Winkert, K., Sareban, M., Steinacker, J. M., Becker, M., & Sperlich, B. (2017). Eleven-Week Preparation Involving Polarized Intensity Distribution Is Not Superior to Pyramidal Distribution in National Elite Rowers. *Frontiers in Physiology*, *8*, 515.
doi:10.3389/fphys.2017.00515

Evaluation der Einsatzmöglichkeiten von GK-EMS in der Periodisierung des Hochleistungstrainings: Von der Struktur der Einzelwiederholung bis zur phasenspezifischen Belastungskonstellationen im Wettkampfsjahr

(AZ 070502/19-20)

Florian Micke, Ulrike Dörmann, Nicolas Wirtz & Heinz Kleinöder (Projektleitung)

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

1 Einleitung

Zielstellung des Gesamtprojektes war es, die Einsatzmöglichkeiten von Ganzkörper-Elektromyostimulation (GK-EMS) in der Periodisierung des Leistungstrainings zu evaluieren (Modul 1 & 2). Auf Grundlage des aktuellen Forschungsstands wurden vier 8- bis 12-wöchige Krafttrainingsinterventionen mit statischer und dynamischer GK-EMS sowie mit und ohne angebundener Utilisation untersucht (Modul 2). Die Interventionen variierten in Trainingsvolumen und -intensitäten, sodass sie typischen Ausrichtungen in der Periodisierung von hochintensivem Blocktraining bis hin zu wettkampfbegleitenden Maßnahmen entsprachen. Die Dosis-Wirkung-Beziehungen wurden insbesondere im zeitlichen Verlauf mit differentieller Kraft- und Leistungsdiagnostik sowie Sprung- und Sprintdiagnostik analysiert. Dadurch sollen Aussagen über eine phasenspezifische Trainingssteuerung im Wettkampfsjahr getroffen und GK-EMS im Hochleistungssport mit langfristiger Perspektive implementiert werden.

Zuvor wurde die Struktur der Einzelwiederholung analysiert (Modul 1), da für eine Implementierung im Hochleistungssport eine detaillierte Betrachtung unterschiedlicher Belastungsnormativen im GK-EMS Training notwendig ist. So wurden durch eine variierende Gestaltung der konzentrischen, exzentrischen und isometrischen Phase der Einzelwiederholung vier jeweils 4-wöchige Trainingsinterventionen hinsichtlich Kraft-, Sprungkraft- und Sprintadaptationen analysiert.

2 Projektablauf

Mit Start des Sommersemesters 2019 konnte die GK-EMS Trainingsintervention von Modul 1 planmäßig beginnen (siehe Abb. 1). Nach den Pre-Diagnostiken wurden insgesamt 60 Probandinnen bzw. Probanden auf die vier Interventionsgruppen randomisiert zugeteilt. Nach der 4-wöchigen Interventionsphase fanden zwei abschließende Diagnostiken statt (Post & Follow-Up). Anschließend begann die unmittelbare Auswertung des 1. Moduls, da Teilergebnisse in das Studiendesign des 2. Moduls integriert wurden (Gestaltung der Einzelwiederholung).

Mit Beginn des WS 2019/2020 konnte die erste Trainingsintervention des 2. Moduls gestartet und bis zum Jahresende 2019 abgeschlossen werden. Hierfür wurden insgesamt 30 Probandinnen und Probanden auf die zwei Interventionsgruppen randomisiert zugeteilt. Begleitet wurde die 8-wöchige Trainingsphase von vier Kraft-, Sprungkraft- und Sprintdiagnostiken (Pre, Mid 1, Mid 2, Post). Alle Trainingsinterventionen dieses Projektes wurden mit sehr krafttrainingserfahrenen Personen durchgeführt, die bei Eingangsdiagnostik ein hohes Kraftniveau (\geq Mittelwert \pm Standardabweichung von Kaderathletinnen bzw. -athleten aus NRW) aufweisen mussten. Somit sollte gewährleistet werden, dass die erzielten Ergebnisse auf den (Hoch-) Leistungssport übertragbar sind.

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
Planung	■	■	■				■	■	■			
Vorbereitungen		■	■	■	■			■	■	■		
Diagnostik				■	■	■			■	■	■	■
Intervention				■	■	■				■	■	■
Auswertung						■	■	■				■
Bericht							■	■	■			
Transfer												
Sonstiges							■	■	■			

Abb. 1: Projektzeitplan 2019

Mit dem ursprünglichen Start des Sommersemesters 2020 war der Beginn der zweiten Trainingsintervention im Modul 2 geplant. Mit den Vorbereitungen und der Probandenrekrutierung wurde im Februar planmäßig begonnen. Aufgrund der Corona-Pandemie musste am 17.03.2020 der Laborbetrieb im Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik an der Deutschen Sporthochschule ausgesetzt werden. Somit konnte die Intervention zum geplanten Zeitpunkt nicht stattfinden und der zweite Teil des Moduls wurde in die zweite Jahreshälfte verschoben. Dafür wurde das Forschungsprojekt um drei Monate bis zum 31.03.2021 verlängert. Die letzte 12-wöchige Trainingsintervention wurde dann zum WS 2020/2021 mit den weiteren zwei Interventionsgruppen mit begleitenden Diagnostiken absolviert (siehe Abb. 2 & 3).

3 Methodik

3.1 Modul 1

Die 4-wöchigen Trainingsinterventionen bestanden aus zwei Trainingseinheiten pro Woche (TE = 8) bei denen jeweils zwei grundlegende Kraftübungen der unteren Extremität im Agonisten-Antagonisten-Modell durchgeführt wurden (Abb. 4). Die Kraftübungen wurden ohne Zusatzlast mit jeweils zehn Wiederholungen in drei Serien durchgeführt. Die vier Trainingsgruppen unterschieden sich in der Charakterisierung der Einzelwiederholung wie folgt (ex-iso-konz-iso):

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
Planung		■	■				■	■				
Vorbereitungen		■	■	■	■	■	■	■	■			
Diagnostik								■	■	■	■	■
Intervention									■	■	■	■
Auswertung	■	■	■									■
Bericht												
Transfer						■	■	■	■	■	■	■
Sonstiges*				■	■	■	■	■	■	■	■	■

Abb. 2: Projektzeitplan 2020

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
Planung												
Vorbereitungen												
Diagnostik												
Intervention												
Auswertung	■	■	■									
Bericht		■	■	■	■							
Transfer	■	■	■	■	■							
Sonstiges												

Abb. 3: Projektzeitplan 2021

Gruppe 1 (EX): verlängerte exzentrische Phase (4s - 0,5s - 1s - 0,5s)

Gruppe 2 (KON): verlängerte konzentrische Phase (1s - 0,5s - 4s - 0,5s)

Gruppe 3 (EX-KON): exzentrisch-konzentrische Phasen kontinuierlich (2s - 1s - 2s - 1s)

Gruppe 4: (EXPL): exzentrisch-konzentrische Phasen explosiv (2s - 1s - 0,1s - 1s)

Die zeitgleiche elektrische Stimulation (miha-bodytec, Augsburg) der Muskelketten des Unterkörpers sowie den Hauptmuskelgruppen des Oberkörpers erfolgte während der Kraftübungen.

Zur Überprüfung der Kraft-/Leistungsverbesserungen wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten, vor der Intervention (Pre), unmittelbar nach der Intervention (Post) und zwei Wochen nach der Intervention (FU) differentielle Kraftdiagnostiken (F_{\max} und P_{\max}), Sprungkrafttestungen (SJ, CMJ, DJ) und Sprinttestungen (T-Run) durchgeführt.

3.2 Modul 2

Aufgrund der unterschiedlichen Interventionszeit und des umfangreichen Versuchsdesigns wurde das Modul 2 in zwei verschiedene Abschnitte unterteilt.



Abb. 4: Trainingsübungen des 1. Moduls: (a) Kniebeuge (ROM = 180-90°) und (b) Russian Leg Curl (ROM = 90-160°).

Sieben Probandinnen bzw. Probanden konnten aufgrund verschiedener Ursachen (u. a.S Verletzung, Krankheit, Zeitmangel) nicht an allen Trainingseinheiten bzw. Diagnostiktermine teilnehmen. Insgesamt absolvierten somit 53 Personen alle Trainingseinheiten und Diagnostiktermine und wurden für der Auswertung berücksichtigt (Tab. 1).

Im Herbst 2019 wurde mit den zwei 8-wöchigen Trainingsinterventionen begonnen, die in Trainingsintensität und -volumen einem HIT- bzw. Blocktraining entsprechen (siehe Forschungsantrag Gruppe 3&4). Die zwei anderen jeweils 12-wöchigen Interventionen, die einem wett-kampfbegleitenden Training entsprechen, fanden nach Anpassung des Projektzeitraums im

Tab. 1: Gruppencharakteristika der 4-Interventionsgruppen

	EX N = 13 (4♀; 9♂)	KON N = 14 (5♀; 9♂)	EX-KON N = 14 (6♀; 8♂)	EXPL N = 12 (6♀; 6♂)
Alter (Jahre)	22,3 ± 2,8	22,6 ± 2,4	22,1 ± 2,4	22,2 ± 2,3
Körpergröße (m)	1,80 ± 0,06	1,78 ± 0,09	1,78 ± 0,09	1,75 ± 0,06
Körpergewicht (kg)	71,5 ± 10,6	74,5 ± 11,1	70,6 ± 9,3	69,3 ± 9,7

Herbst/Winter 2020 statt (siehe Forschungsantrag Gruppe 1&2). Die vier durchgeführten Trainingsinterventionen unterschieden sich wie folgt:

Gruppe 1 (STA 12): 12 Wochen: 1x/Woche statisches GK-EMS (2 Kraftübungen mit EMS + 3 Utilisationsübungen ohne EMS) (TEgesamt GK-EMS = 12)

Gruppe 2 (DYN 12): 12 Wochen: 1x/Woche dynamisches GK-EMS (2 Kraftübungen mit EMS + 3 Utilisationsübungen mit EMS) (TEgesamt GK-EMS = 12)

Gruppe 3 (STA 8): 4 Wochen: 3x/Woche statisches GK-EMS (2 Kraftübungen mit EMS); 4 Wochen: 2x/Woche Utilisation (3 Übungen ohne EMS) (TEgesamt GK-EMS = 12, mind. 24h Pause)

Gruppe 4 (DYN 8): 4 Wochen: 3x/Woche dynamisches GK-EMS (2 Kraftübungen mit EMS); 4 Wochen: 2x/Woche Utilisation (3 Übungen ohne EMS) (TEgesamt GK-EMS = 12, mind. 24h Pause)

Als Trainingsübungen wurden auf Grundlage der Vorergebnisse aus Modul 1 zwei neue Übungen der unteren Extremität im Agonisten-Antagonisten-Modell ausgewählt (Abb. 5).

Diese Übungen wurden entweder im Anschluss an die Kraftübungen durchgeführt (Gruppe 1&2) oder in der zweiten Hälfte der Trainingsintervention anstelle der beiden Kraftübungen durchgeführt (Gruppe 3 & 4).

60 Probandinnen bzw. Probanden wurden auf die vier Interventionsgruppen randomisiert zugeteilt (Abb. 6, S. 5).

Insgesamt zehn Personen mussten die Teilnahme aufgrund von unterschiedlichen Gründen (u. a. Verletzungen, Krankheiten, Zeitmangel), welche keinen direkten Bezug zur Studie haben, abbrechen.

Insgesamt 50 Probandinnen bzw. Probanden wurden demnach für die Auswertung berücksichtigt (Tab. 2, S. 5).

Zur Überprüfung der Kraft-/Leistungsverbesserungen wurden zu vier verschiedenen Zeitpunkten, vor der Intervention (Pre), nach vier Wochen Intervention (Mid1), nach sechs bzw. acht Wochen Intervention (Mid2), sowie unmittelbar nach der Intervention (Post) differentielle Kraftdiagnostiken (F_{\max} und P_{\max}) und Sprungkrafttestungen (SJ, CMJ, DJ) durchgeführt.

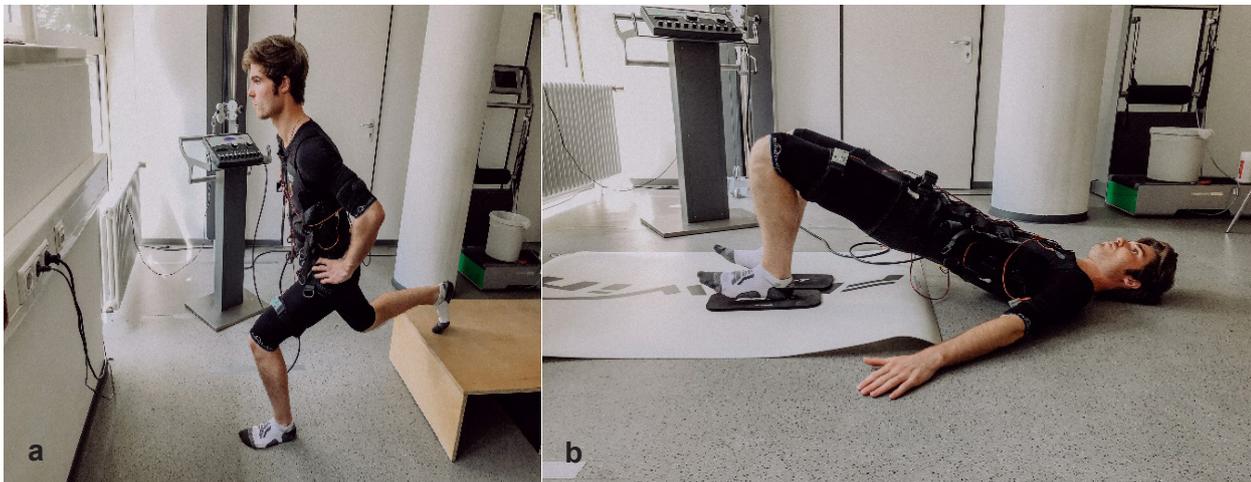


Abb. 5: Trainingsübungen des 2. Moduls: (a) einbeinige bulgarische Kniebeuge und (b) Glute-Ham-Bridge

Als Utilisationsübungen wurden jeweils drei sprung- bzw. sprintspezifische Übungsformen ausgewählt: 1. Laterale Sprünge (3 Sätze mit jeweils 10 Wdh), 2. Hürdenübersprünge (3 Sätze mit jeweils fünf Durchgängen à 3 Sprüngen), 3. Skippings mit Zugwiderstandsband (3 Sätze jeweils 15 Sekunden).

Auf die Sprinttestungen (T-Run) musste aufgrund der Labor-/Hallenbelegungsbeschränkungen im Rahmen der Corona-Beschränkungen verzichtet werden.

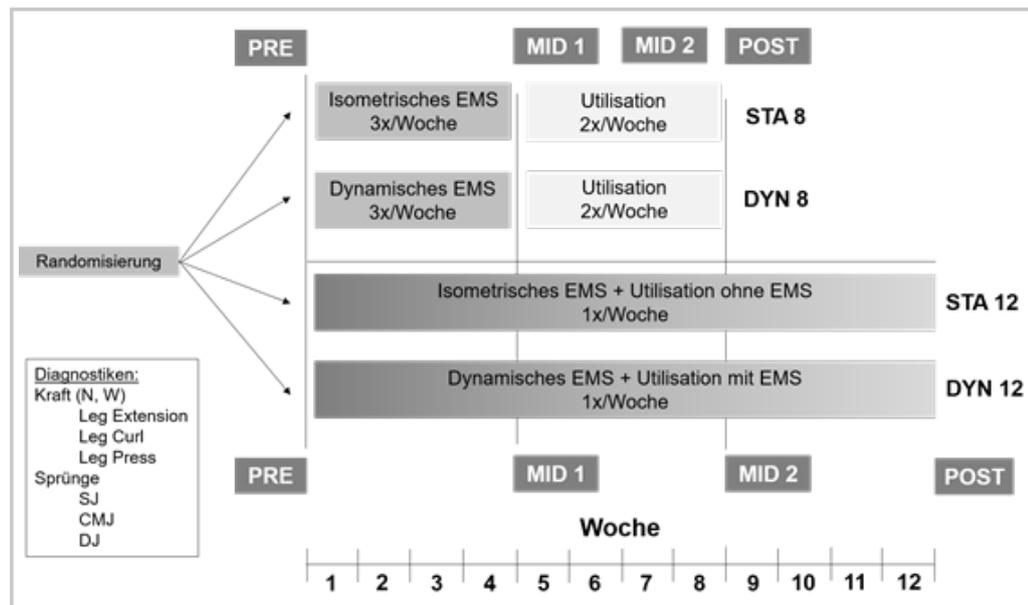


Abb. 6: Studiendesign

Tab. 2: Gruppencharakteristika der 2-Interventionsgruppen

	STA 12 N = 10 (2♀; 8♂)	DYN 12 N = 11 (3♀; 8♂)	STA 8 N = 15 (7♀; 8♂)	DYN 8 N = 14 (7♀; 7♂)
Alter (Jahre)	20,7 ± 1,9	21,3 ± 2,9	21,2 ± 2,4	20,9 ± 2,5
Körpergröße (m)	180,3 ± 7,7	174,9 ± 8,9	1,79 ± 0,09	1,75 ± 0,10
Körpergewicht (kg)	72,5 ± 8,4	68,1 ± 10,5	70,8 ± 9,6	67,3 ± 9,5

4 Hauptergebnisse

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der beiden Module grafisch abgebildet. Stellvertretend für alle durchgeführten Testungen wurden für die Kraftdiagnostik die isometrischen Maximalkraftergebnisse der Leg Press, Leg Extension und Leg Curl Maschine dargestellt.

Für die dynamischen Testverfahren Sprung und Sprint wurden im Modul 1 die Testergebnisse des Squat Jumps sowie die Endzeit des T-Runs gewählt und im Modul 2 alle drei Sprungformen.

4.1 Modul 1

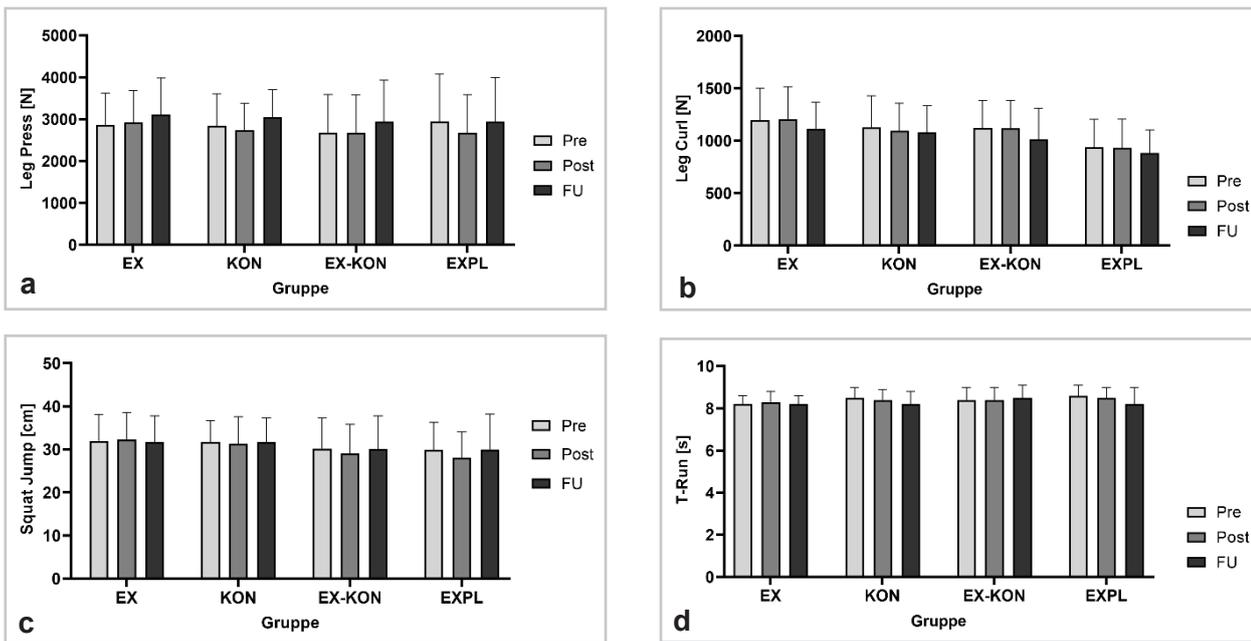


Abb. 7: Mittelwerte ± Standardabweichungen der 4-Interventionsgruppen für die 3 verschiedenen Messzeitpunkte (Pre/Post/FU) für die Kraftdiagnostik (a) Leg Press Maschine und (b) Leg Curl Maschine sowie für ausgewählte Sprung- und Sprinttests (c) Squat Jump und (d) T-Run

4.2 Modul 2

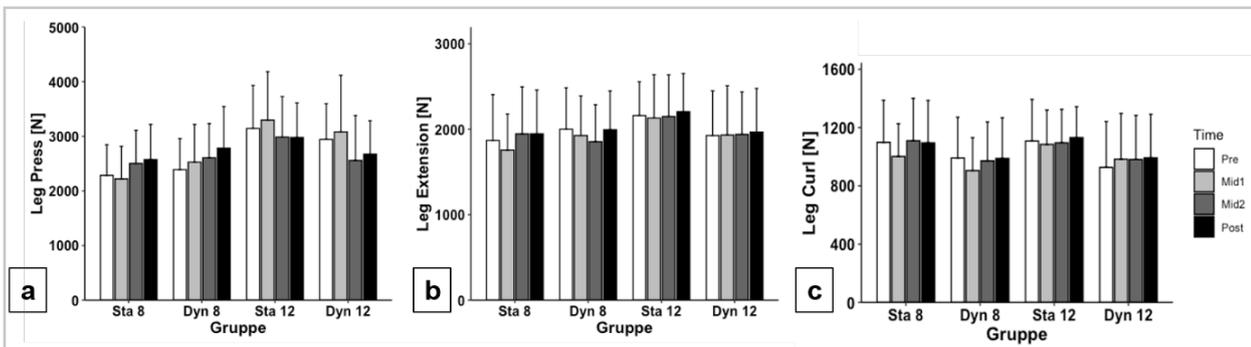


Abb. 8: Mittelwerte ± Standardabweichungen der 4 Interventionsgruppen für die 4 verschiedenen Messzeitpunkte (Pre/Mid1/Mid2/Post) für die differentielle Kraftdiagnostik der Maximalkraft (F_{max}) (a) Leg Press Maschine, (b) Leg Extension Maschine und (c) Leg Curl Maschine

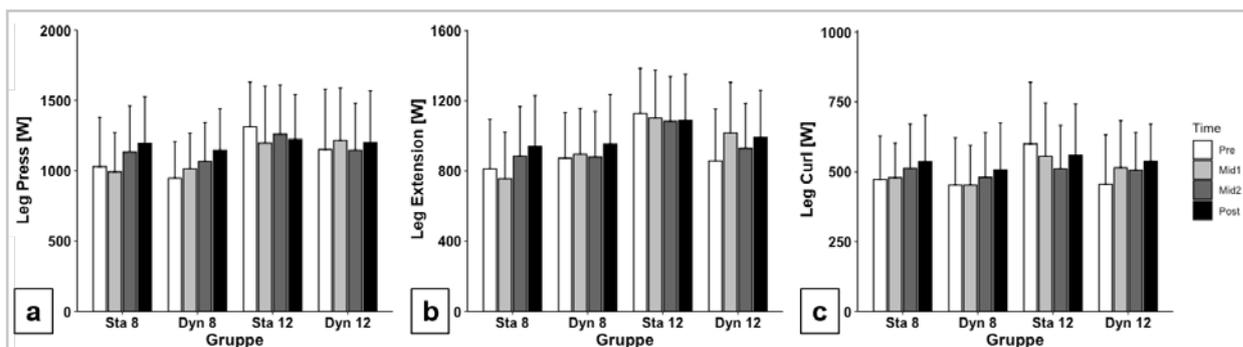


Abb. 9: Mittelwerte \pm Standardabweichungen der 4 Interventionsgruppen für die 4 verschiedenen Messzeitpunkte (Pre/Mid1/Mid2/Post) für die differentielle Kraftdiagnostik der maximalen Leistung (P_{max}) (a) Leg Press Maschine, (b) Leg Extension Maschine und (c) Leg Curl Maschine

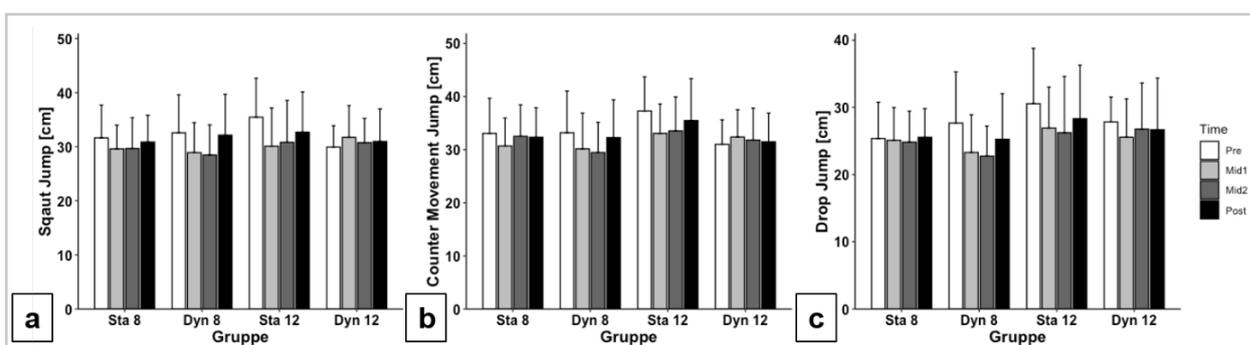


Abb. 10: Mittelwerte \pm Standardabweichungen der 4 Interventionsgruppen für die 4 verschiedenen Messzeitpunkte (Pre/Mid1/Mid2/Post) für die getesteten Sprungformen (a) Squat Jump, (b) Counter Movement Jump und (c) Drop Jump

5 Diskussion

Die Periodisierung des Trainings spielt im (Leistungs-)Sport eine große Rolle. Dies gilt auch für die immer populärer werdende Trainingsform des GK-EMS, bei der unterschiedlichste Anwendungsformen mit verschiedenen Belastungsnormativen existieren. Ziel dieses Projektes war es, unterschiedliche Belastungskonstellationen des GK-EMS-Trainings zu evaluieren und Ableitungen zu möglichen Periodisierungsmodellen im (Leistungs-)Sport zu generieren.

Die Ergebnisse von Modul 1 konnten zeigen, dass die unterschiedliche Gestaltung der Einzelwiederholung hinsichtlich der konzentrischen, exzentrischen, isometrischen Bewegungsausführung nach einer vierwöchigen Trainingsintervention keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Kraft-, Sprungkraft- oder Schnelligkeitsanpassungen in den 4 Trainingsgruppen hervorgerufen hat.

Aus diesem Grunde können alle evaluierten Trainingsmodelle für das Training empfohlen werden. Für die Trainingsinterventionen des 2. Moduls wurde die Gestaltung der Einzelwiederholung nach dem bisher in der fachspezifischen Literatur am häufigsten gewählten EX-KON Design, mit einer kontinuierlichen exzentrischen-konzentrischen Bewegungsgestaltung gewählt (2s – 1s – 2s – 1s).

Hinsichtlich der evaluierten Periodisierungsmodelle von Modul 2 konnte zunächst festgestellt werden, dass das hochintensive Trainingsprogramm der Gruppen 3&4 (STA8 & DYN8), mit drei EMS-Einheiten pro Woche über vier Wochen von allen gut trainierten Probandinnen und Probanden ohne Probleme absolviert werden konnte. Allerdings ist im Hinblick auf das Training im Leistungssport zu beachten, dass die drei GK-EMS-spezifischen Trainingseinheiten sehr belastend sind, sodass weiteres sportartspezifisches Training mit hohen Umfängen/Intensitäten in gleichem Zeitraum nur schwer zu realisieren ist.

Die vergleichenden Ergebnisse aller vier Interventionen konnten zeigen, dass die untersuchten Interventionsgruppen von Modul 2 ähnliche Anpassungen im Bereich der Kraft- und Sprungfähigkeiten aufweisen. Der Unterschied der dynamischen vs. statischen Übungsdurchführung, in Verbindung mit der höheren Stromintensität in der statischen Interventionsgruppe, scheint daher auf Grundlage der Ergebnisse sowohl im hochintensiven 8-wöchigen als auch im wettkampfbegleitenden 12-wöchigen Trainingsblock keinen signifikanten Unterschied in den Trainingsadaptation hervorgerufen. Die Verbesserungen im Bereich der maximalen Leistung deuten darauf hin, dass eine dynamische Trainingskomponente in Form einer Utilisation oder einer direkten dynamischen Bewegungsausführung positive Auswirkungen hat und daher in jedem Fall für das GK-EMS-Training im Leistungssport empfohlen werden kann.

Die Ergebnisse hinsichtlich des Vergleiches zwischen den 8-wöchigen vs. 12-wöchigen Trainingsinterventionen zeigen keine signifikanten Gruppen-Interaktionseffekte. Beide Trainingsmaßnahmen können daher, auf Grundlage dieser Ergebnisse und unter Berücksichtigung des weiteren Trainingsumfangs/-intensität in Erwägung gezogen werden.

Einsatz von Data Mining Verfahren in der Spielanalyse im Beach-Volleyball

(AZ 070504/19-20)

Daniel Link¹ (Projektleitung), Steffen Lang¹ & Raimund Wenning²

¹Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften, Lehrstuhl für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

²Leitender Spielanalyst Beach-Volleyball, Deutscher Volleyball-Verband e. V.

1 Einleitung

Seit der Saison 2011 erfolgen Spielanalysen im deutschen Beach-Volleyball über zwei eigens entwickelte Spielbeobachtungstools. Mit dem BeachScouter können Spieldaten effizient über eine Touch-Oberfläche erhoben werden. Der BeachViewer wird zur Analyse und Präsentation der Spieldaten verwendet und erlaubt es, quantitative Auswertungen zu erstellen sowie Videomaterial für die qualitative Analyse vor zu strukturieren.

Aus sportpraktischer Sicht besteht das primäre Ziel der Software darin, die Trainerinnen Trainer bei der Suche von Verhaltenstendenzen der Spielenden in bestimmten Situation zu unterstützen (z. B. Anlaufrichtung Inside-Outside; Sideouts nach Fehler). Die bisherigen Arbeiten standen unter dem Grundsatz, diese Situationen in Diskussion mit Spielenden und Trainern bzw. Trainerinnen zu identifizieren und operational abzubilden. Man kann also sagen, dass bislang bestehendes Expertenwissen in eine Software überführt wurde. Das hier durchgeführte Forschungsprojekt verfolgte nun das umgekehrte Paradigma: über Verfahren des Data Mining und des Machine Learning (ML) sollten bisher unbekannte, aber potentiell nützliche Regelmäßigkeiten und Gesetzmäßigkeiten aus den bestehenden Spieldaten extrahiert werden.

In dem Projekt wurden zwei Ziele verfolgt und umgesetzt:

- › Erprobung und Einsatz von ML Verfahren auf Beach-Volleyball Daten zur Identifizierung von Verhaltensmustern und

- › Weiterentwicklung der bestehenden Analysesoftware um zusätzliche Analyse- und Reportoptionen u. a. auf Basis der Erkenntnisse des ML Einsatzes.

2 Methode

Um Spielerprofile mittels Data Mining Verfahren zu finden, wurde auf Supervised Learning Algorithmen zurückgegriffen. Zielrichtung des Supervised Learnings sind im Allgemeinen Klassifikations- und Regressionsprobleme. Hierbei müssen die Daten zunächst in irgendeiner Form durch einen Menschen „gelabelt“ werden. Auf diesen Daten erfolgt dann ein Training des Algorithmus. Bei künftigen Eingaben kann das System die entsprechenden Labels vorher sagen. Im Fall des Beach-Volleyball Datensatzes ist die Information, in welche Richtung ein Spieler oder eine Spielerin angreift ein Label, um einen Supervised Learning Algorithmus auf diese Art von Vorhersageleistung zu trainieren. Nach dem erfolgreichen Training eines geeigneten Klassifikations-Algorithmus kann dieser mit einem „ungelabelten“ Ballwechsel als Eingabe anhand der vorhandenen Merkmale (z. B. Aufschlag-, Zuspiel-, Annahme-, Anlauf- und Absprungsposition) die Richtung voraussagen. Andere leistungsdiagnostisch relevante Fragestellungen wären die automatische Voraussage der Angriffstechnik oder auch der Angriffszone nach bestimmten Aufschlag-/Annahme- bzw. Zuspielkonstellationen. Ein großer Vorteil ist, dass die Daten durch die Arbeit der DVV-Analysten bereits in komplett annotiertem Zustand vorliegen.

Es wurden verschiedene Kombinationen von Sequential Rule Mining (SRM) durchgeführt, um Regeln aus mehr als 400 FIVB Spielen in der Zeit von 2013 bis 2016 auf internationalen Niveau bei den Herren und Damen herauszufinden. SRM wird angewendet, um Regeln aus Daten die in Sequenzform vorliegen zu extrahieren. SRM hat viele Anwendungen, zum Beispiel zur Analyse des Verhaltens von Kunden in Supermärkten oder Benutzern auf einer Website (Warenkorbanalysen). Wichtige Variablen sind der Support, Konfidenz und Lift, welche im Folgenden näher erläutert werden.

Support ist die relative Häufigkeit, dass eine Regel auftaucht oder Support $\text{sup}(X \Rightarrow Y)$ einer Regel $X \Rightarrow Y$ ist die Anzahl der Sequenzen in einem Dataset S die alle Items X vor allen Items von Y ($X < Y$) beinhalten, geteilt durch die Anzahl aller Sequenzen im Dataset.

$$\text{sup}(X \Rightarrow Y) = \frac{|\{s \in S; X, Y \subseteq s, X < Y\}|}{|S|} \quad (1)$$

Der Konfidenzwert ist ein Maß für die Zuverlässigkeit der Regel oder Konfidenz $\text{conf}(X \Rightarrow Y)$ einer Regel ist die Anzahl der Sequenzen in denen alle Items von X vor allen Items von Y sind, geteilt durch die Anzahl aller Sequenzen in denen X vorkommt.

$$\text{conf}(X \Rightarrow Y) = \frac{|\{s \in S; X, Y \subseteq s, X < Y\}|}{|\{z \in S; X \in z\}|} \quad (2)$$

Das heißt, dass der Konfidenzwert verwendet werden kann als ein Maß zur Vorhersagekraft einer Assoziationsregel.

Um die Performance der Regeln zu messen, wurde die lift Statistik verwendet, welche den Konfidenzwert einer Regel $X \Rightarrow Y$ zum erwarteten Wert dieser Regel in einem Dataset in dem X und Y unabhängig sind vergleicht.

$$\text{lift}(X \Rightarrow Y) = \frac{\text{sup}(X \Rightarrow Y)}{(\text{sup}(X) * \text{sup}(Y))} = \frac{\text{conf}(X \Rightarrow Y)}{\text{sup}(Y)} \quad (3)$$

Die gefundenen Regeln ermöglichen, für einzelne Spielende Verhaltensprofile zu erstellen oder generalisierte Aussagen bzgl. Verhaltensunterschiede zwischen den Geschlechtern zu treffen.

3 Ergebnisse

Die verwendeten Algorithmen erzeugten 629 (H: Herren) und 641 (D: Damen) Sequenz-Regeln die wiederum zu 13 (H) und 9 (D) Cluster zusammengefasst werden konnten. Die Cluster fassen in den meisten Fällen Spielsituationen mit gleichen Ausgang zusammen. Außerdem repräsentieren sie sehr gut die ganze Bandbreite der verschiedenen Situationen in Beach-Volleyball Ballwechseln (Service, Annahme, Angriff, Abwehr und Ergebnis des Ballwechsels). Die meisten Cluster finden sich sowohl bei den Herren als auch bei den Damen wieder, was nicht überraschend ist, da die generelle Spielstruktur bei Damen und Herren dieselbe ist.

Für die theoretische Leistungsdiagnostik sind einige Regeln besonders interessant. So zeigt sich bei Herren und Damen, dass in Situationen mit der Blockposition „Line“ auch der Abwehrspieler die Abwehrposition „Line“ einnimmt (Tabelle 1, Zeile 1). Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass das abwehrende Team dem Angreifer möglichst wenig Information über den Abwehrspieler verraten möchte und ihn mit dieser Taktik im Blockschaten „versteckt“. Des Weiteren ist interessant zu sehen, dass die Annahmehqualität den Erfolg eines Sideout beeinflusst. So kann nur in weniger als 50 % (H, D) der Fälle einer schlechten Annahme ein erfolgreicher Sideout-Punkt erzielt werden (Tab. 1, Z 8). Andererseits kann mit einer guten Annahme in 58,4 % (H) und 56,8 % (D) ein Sideout-Punkt erzielt werden (Tab. 1, Z 9). Im Vergleich der Angriffstechnik Shot und Smash zeigt sich eine höhere Erfolgsquote für Smash mit 59,3 % zu 51,5 % für Shot bei den Herren (D: 55,0 % zu 52,2 %) (Tab. 1, Z 11 & 13). Weiterhin auffällig ist die Tatsache, dass Herren-Spieler bei einer guten Annahme seltener (Tab. 1, Z 15) zu einem vorderen Zuspiel tendieren als Damen. Sobald aber eine schlechte Annahme erfolgt, verwenden auch Herren zu 85 % das vordere Zuspiel (Tab. 1, Z 16).

Tab. 1: Auswahl interessanter Sequenzregeln welche in den Clusters zu finden sind für Männer und Damen. Support und Konfidenz sind als %-Werte angegeben.

	Regel	Männer			Damen		
		SUP	KONF	LIFT	SUP	KONF	LIFT
1	Block_Pos_Line => Def_Pos_Line	25.1	96.8	3.84	22.1	92.9	4.19
2	Serve_Len_Short => Rec_Pos_Outside	27.3	86.3	2.02	23.2	87.2	2.28
3	Serve_Len_Short, Rec_Pos_Outside => Att_Pos_Left	26.3	96.3	2.49	22.5	97.0	3.00
4	Serve_Len_Short => Rec_Qual_Good	23.1	73.0	1.02	17.5	65.9	1.02
5	Serve_Tec_JFloat => Rec_Qual_Good	45.1	74.2	1.03	47.1	63.4	0.98
6	Serve_Tec_Power => Rec_Qual_Good	19.8	64.5	0.90			
7	Pred_Break => Rec_Qual_Good	22.7	72.1	1.01	21.3	63.6	0.99
8	Rec_Qual_Bad => Result_NoSuccess	14.3	50.5	1.14	18.7	52.7	1.13
9	Rec_Qual_Good => Result_Success	41.9	58.4	1.04	36.6	56.8	1.06
10	Rec_Qual_Good, Att_Tec_Smash => Result_Success	25.9	61.6	1.10	18.0	58.3	1.09
11	Att_Tec_Smash => Result_Success	34.7	59.3	1.06	26.7	55.0	1.03
12	Att_Tec_Smash, Att_Dir_Diagonal => Result_Success	15.4	53.8	0.96	12.1	50.6	0.95
13	Att_Tec_Shot => Result_Success	20.9	51.5	0.92	26.5	52.2	0.98
14	Att_Tec_Shot => Att_Dir_Line	21.1	51.9	2.46			
15	Rec_Qual_Good => Set_Tec_Forearm	36.1	50.4	0.84	53.3	82.8	0.95
16	Rec_Qual_Bad => Set_Tec_Forearm	24.0	85.0	1.41	34.0	95.8	1.10

4 Fazit

Die Ergebnisse der Studie (Wenninger, Link & Lames, 2019) zeigen, dass SRM eine gute Methode darstellen kann, um interessante Einblicke in die Leistungsstruktur im professionellen Beach-Volleyball zu bekommen. In zwei Folgestudien wurden die Erkenntnisse aus dieser Untersuchung noch vertieft. So konnte ein Hot-Hand ähnliches Phänomen auch im Beach-Volleyball nachgewiesen werden (Link & Wenninger, 2019), und es wurde untersucht, welche ML Verfahren die besten Ergebnisse erzielen bei der Klassifizierung von taktischen Verhalten im Beach-Volleyball mit Positions- und Ereignisdaten als Eingabeparameter (Wenninger, Link & Lames, 2020).

5 Literatur

- Link, D., & Wenninger, S. (2019). Performance streaks in elite beach volleyball – does failure in one sideout affect attacking in the next? *Frontiers in Psychology, 10*: 919. doi:10.3389/fpsyg.2019.00919
- Wenninger, S., Link, D., & Lames, M. (2019). Data Mining in Elite Beach Volleyball – Detecting Tactical Patterns Using Market Basket Analysis, *International Journal of Computer Science in Sport, 18*(2), 1-19. <https://doi.org/10.2478/ijcss-2019-0010>
- Wenninger, S., Link, D., & Lames, M. (2020). Performance of machine learning models in application to beach volleyball data., *International Journal of Computer Science in Sport, 19*(1), 24-36. <https://doi.org/10.2478/ijcss-2020-0002>

Entwicklung und Evaluation einer kognitiv-motorischen Testbatterie zur Diagnostik der Antizipationsleistung im Nachwuchshandball

(AZ 070506/19-20)

Kevin Melcher, Matthias Hinz, Nico Lehmann & Marco Taubert (Projektleitung)

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg,

Lehrstuhl Trainingswissenschaft mit dem Schwerpunkt Kognition und Bewegung

1 Problem

Das aktuell im DHB präferierte „antizipativ-offensive“ Abwehrverhalten (Kromer, 2015) macht eine permanente Analyse der aktuellen Spielsituation unumgänglich. Deren Qualität hängt maßgeblich von differenzierten Informationen über die Position der Mit- und Gegenspieler bzw. -spielerinnen auf dem Spielfeld sowie deren potenzielle Handlungsabsichten ab. Demnach sind enorme Belastungsanforderungen unter zugleich hohen Druckbedingungen durch die Akteure auf dem Spielfeld zu bewältigen. Vor diesem Hintergrund haben, nach einhelliger Auffassung (Kromer, 2015, Chaouachi et al., 2009; Zvi & Lidor, 2009), insbesondere die perzeptiv-kognitiven Fähigkeiten (Informationsaufnahme und -verarbeitungsprozesse), die ihrerseits die Grundlage für die Initiierung taktisch sinnvoller motorischer Handlungen darstellen, enorm an Bedeutung gewonnen („informativische Schnelligkeit“ Kromer, 2015). Die Prozesse der Situationsantizipation und -wahrnehmung sowie die Entscheidung zu und situationsadäquate Realisierung von sportlichen Handlungen sind demnach als wesentliche, die Sportspielleistung insgesamt determinierende Faktoren anzusehen (Lühnenschloß & Dierks, 2005). Im Hinblick auf die kombinierte und damit praxisnahe Erfassung kognitiv-motorischer Prozesse (Wahrnehmung, Kognition, Bewegung) als Ausgangspunkt (a)zyklischen Schnelligkeitsleistungen von Handballspielern bzw. -spielerinnen, liegen derzeit kaum empirische Befunde vor. Nicht zuletzt dürfte dies auf den Mangel an geeigneten und testtheoretisch abgesicherten Diagnoseverfahren zurückzuführen sein.

Dieses Forschungsdefizit aufgreifend, bestand das Projektziel in der Entwicklung und testtheoretischen Evaluierung einer Testbatterie zur Erfassung sowohl kognitiver als auch motorischer Leistungsparameter. Im Zuge dessen wurde das aus der sportpsychologischen Antizipationsforschung bereits etablierte und vielfach publizierte temporal-occlusion-Paradigma (TO-Paradigma) (u. a.S Loffing et al., 2015; Loffing & Hagemann, 2014; Müller & Abernethy, 2014) aufgegriffen und im Kontext eines wettspielnahen Testprotokolls zunächst unter Laborbedingungen (Videopräsentation komplexer Angriffssequenzen) eingesetzt und hinsichtlich der Kriterien „Qualität und Schnelligkeit der Antizipationsleistung“ sowie des „zeitlich-dynamischen Verlaufs der motorischen Handlung“ (azyklische Bewegungsschnelligkeit bei den entsprechenden Verteidigungs-/Antwortaktionen) untersucht. Entsprechend der formulierten Zielstellung wurde in Arbeitspaket 1 die Zuverlässigkeit des Verfahrens mittels Test-Retest-Reliabilität geprüft. Im 2. Arbeitspaket erfolgte im Anschluss daran eine Überprüfung von Expertiseeffekten mithilfe dieses Tests.

2 Methode

Insgesamt wurden 66 männliche Athleten (M = 17.89 Jahre, SD = 7.64 Jahre) aus 6 Mannschaften rekrutiert (U-15, U-17, U-19, U-23), wobei 4 Mannschaften auf Expertenniveau aus dem Nachwuchsleistungszentrum eines deutschen Erstliga-Handballclubs (n = 44) und 2 regionale Mannschaften auf Amateurniveau in die Studie eingeschlossen wurden (n = 22).

Die Expertenteams absolvierten 6-8 Trainingseinheiten und die Amateure Teams 2 Trainingseinheiten pro Woche. Die Untersuchung erfolgte in der ersten Hälfte der Handballsaison 2020/2021 im Oktober und November. In dieser Zeit befanden sich alle Teams in der Wettkampfphase und absolvierten die dargestellten Trainingsumfänge ohne Einschränkung durch lokale oder bundesweitliche COVID-19 Richtlinien.

Die Testapparatur bestand aus einer interaktiven Lauf- und Projektionsfläche (Abb. 1). Die Lauffläche (SpeedCourt® Q12 PRO mobile, GlobalSpeed, Hemsbach, Germany) beinhaltet zehn Kontaktmatten in einer Größe von je 50 cm x 50 cm verteilt auf 5.25 m x 5.25 m Fläche. Bild- und Videopräsentationen erfolgten über eine lebensgroße Projektionsfläche (3 m breit x 2.5 m hoch).

Die präsentierten Videoclips zeigten unterschiedliche Angriffsaktionen aus der Verteidigerperspektive. In Anlehnung an Müller et al. (2015) wurden 4 repräsentative Angriffsaktionen gewählt: Durchbruch, Pass, Schlagwurf, Sprungwurf. Bei den dazu passenden Abwehrhandlungen handelte es sich um 4 mögliche Antwortaktionen: 1. Heraustreten/Offensiver Block, 2. Seitwärtiges Verschieben links, 3. Seitwärtiges Verschieben rechts sowie 4. Defensiver Block/Passive Position. Die Zuordnung der 4 Antwortmöglichkeiten zu den Kontaktfeldern der Lauffläche ist in Abb. 1 genauer aufgeführt.

Die Okkludierung der Videos zur Analyse der Antizipationsleistung erfolgte in konstanten Zeitintervallen von 200 ms, wobei die maximal 2-sekündigen Videoclips vom offensichtlichen Ende der Angriffsaktion (t_0) in 6 Schritten in der Regel bis zum initialen Pass zum Angreifer (t_6) okkludiert wurden ($t_6 = -1200$ ms; $t_5 = -1000$ ms; $t_4 = -800$ ms; $t_3 = -600$ ms; $t_2 = -400$ ms; $t_1 = -200$ ms; $t_0 = 0$ ms). Aufgrund bestehender Vermutungen zu Händigkeitsspezifischen Einflüssen auf die Antizipationsleistung (Loffing et al., 2015), wurden alle Videos gespiegelt und für beide Wurfhände konzipiert. Insgesamt wurden jeder Testperson pro Testeinheit 224 Videoclips präsentiert (4 Basis-Angriffsaktionen x 2 dummy trials x 7 Okklusionsbedingungen x 2 Doppelung x 2 Links-Rechtshänder). Eine Testeinheit dauerte ca. 35 min. Die zweite Testeinheit mit identischem Ablauf fand mind. 24 h und höchstens 7 Tage nach der ersten Testeinheit statt (Test-Retest Reliabilität). Durch Doppelung von Videos innerhalb einer Testeinheit konnten sowohl die intra-session Reliabilität (gedoppelte Videos; Cohen's Kappa) als auch inter-session Reliabilität (1. und 2. Testeinheit; Fleiss' Kappa) der Verteidigerentscheidungen berechnet werden. Es wurde geprüft, inwieweit die Testpersonen über die Zeit hinweg konsistente Entscheidungen für die jeweils gleiche Abwehraktion (aus 4 möglichen Abwehraktionen) trafen.

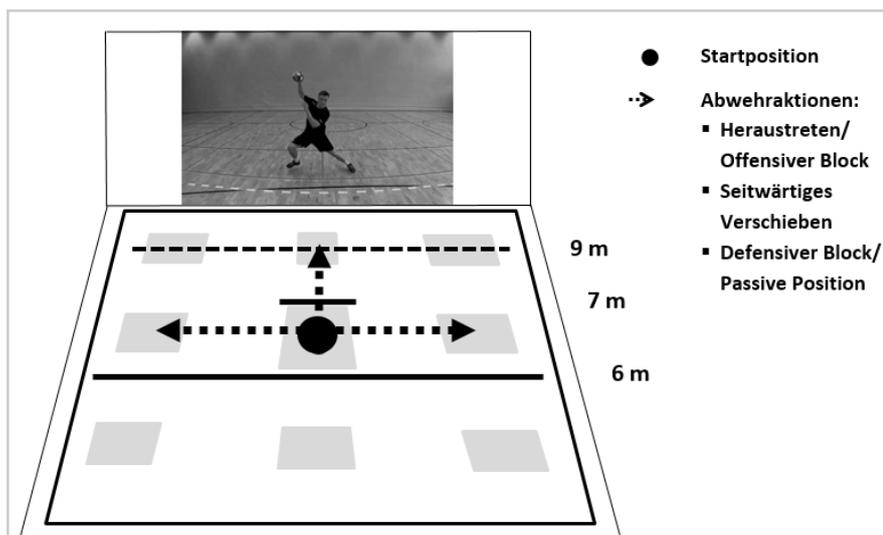


Abb. 1: Skizzierter Versuchsaufbau mit 2-D Lauffläche inkl. Kontaktmatten (grau) und lebensgroßer Videoprojektionsfläche. Die Abb. zeigt die simulierten bzw. gemarkerten Linien eines Handballfeldes sowie die Bewegungsrichtungen der Abwehraktionen inkl. Startposition.

Für die statistische Analyse wurde SPSS Version 26 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) verwendet. Die Interpretation der Kappa-Werte folgte den gängigen Standards für die Stärke von Übereinstimmungen: <0 = unzureichend, $0.01-0.20$ = gering, $0.21-0.40$ = befriedigend, $0.41-0.60$ = moderat, $0.61-0.80$ = substanziell und $0.81-1$ = nahezu perfekt (Landis & Koch, 1977). Für den Vergleich von Experten- und Amateurspielern wurde die Häufigkeit und Verteilung der Abwehrantworten je Okklusionszeitpunkt genauer betrachtet. Getestet wurde, ob es Unterschiede zwischen Experten und Amateuren in der Häufigkeit einer bestimmten Abwehrhandlung gab. Eine Unterschiedsprüfung von Häufigkeiten wurde für jeden Okklusionszeitpunkt mithilfe von Chi-Quadrat Tests vorgenommen. Alle p-Werte einer Aktion wurden danach unter Verwendung der Methode nach Fisher (1992) zu einem kombinierten p-Wert zur Abschätzung von Experten-Amateur Unterschieden im Rahmen einer Abwehraktion aggregiert. Weiterhin wurde die Zeit zur Initialisierung der Abwehrhandlung untersucht. Hierbei handelte es sich um die, nach dem Ende der Videopräsentation verstrichene, Zeit (in ms) bis zum Verlassen der Startposition. Die Überprüfung erfolgte mittels Varianzanalyse. Das Signifikanzniveau betrug bei allen Überprüfungen $p < .05$.

3 Ergebnisse

3.1. Reliabilitätsüberprüfung

Die Ergebnisse zur Test-Retest Reliabilität und den Antwortinitialisierungszeiten wurden ausführlich in englischsprachiger Form publiziert (Hinz et al., 2021) und sollen hier nur auszugsweise rekapituliert werden. Die Analyse der kurzfristigen Reproduzierbarkeit von Handlungsentscheidungen innerhalb einer Testeinheit (Intra-session Reliabilität) ergab durchweg signifikante Cohen's kappa Werte (alle p-Werte ≤ 0.025), wobei die Antwortgabe eine befriedigende bis moderate Übereinstimmung indizierte. Substanzielle Korrelationen wurden bei der Verteidigung der Durchbruchsaktion sowie beim Schlagwurf beobachtet. Die Analyse der längerfristigen Reproduzierbarkeit von Handlungsentscheidungen zwischen Testeinheiten (Inter-session Reliabilität; innerhalb 1 Woche)

zeigte ähnliche Ausprägungen wie die intra-session Reliabilität, wobei die Übereinstimmungen auch im befriedigenden bis moderaten Bereich lagen (Fleiss kappa). Substanzielle Korrelationen wurden für die Verteidigung von Sprung- und Schlagwurf gefunden. Die Übereinstimmung in den Verteidigerentscheidungen zwischen den Linkshand- und Rechtshand-Angreifer lagen im befriedigenden bis moderaten Bereich.

Die Initialisierungszeit der motorischen Abwehrantwort verringerte sich wie vermutet mit steigendem Informationsgehalt in den Videos. Varianzanalysen mit Messwiederholung bestätigten dies durch signifikante Effekte für den Faktor Okklusion für Rechtshand und Linkshand-Videos (für alle 8 Analysen je $p < 0.001$). Die schnellsten Initialisierungen wurden in der Regel bei t_0 und die langsamsten Initialisierungen bei t_6 gefunden.

3.2. Experten-Amateur Vergleich

Die Ergebnisse der Experten-Amateur-Gruppenvergleiche werden aktuell für eine englischsprachige Publikation vorbereitet (Hinz et al., in Vorbereitung) und sollen hier auszugsweise wiedergegeben werden. Es wurden hierbei die Häufigkeiten in der Verwendung einzelner Abwehraktionen untersucht. Basierend auf der doppelten Videopräsentation der Videoclips innerhalb einer Testeinheit, wurden für die Analyse die Daten aus den zuerst präsentierten Videoclips verwendet. Insgesamt zeigte sich ein häufigeres Heraustreten bei den Experten im Vergleich zu Amateuren bei Linkshand-Angriffen. Signifikant häufigeres Heraustreten wurde speziell beim Durchbruch ($p = .033$), Sprungwurf ($p = .017$) und Pass ($p = .001$) des Angreifers gefunden. Diese eher offensiv-orientierten Expertiseunterschiede zeigten eine hohe Stabilität und waren ebenfalls in der Analyse der Daten aus den zweitpräsentierten Videoclips innerhalb einer Testeinheit signifikant vertreten. Es zeigten sich keine signifikanten Expertiseunterschiede in den Initialisierungszeiten der motorischen Antworten.

4 Diskussion und Praxis-transfer

Das erklärte Projektziel war es, erstmals ein Testsetting zu entwickeln und testtheoretisch zu evaluieren, mit dem es möglich ist, unter praxisnahen Laborbedingungen (Dicks et al., 2010; Morris-Binelli & Müller, 2017; Roca et al., 2011) sowohl kognitiv-informativische Leistungsparameter als auch deren handlungspraktische Konsequenzen (motorische Handlung) einer gezielten Diagnostik zugänglich zu machen.

Bei genauerer Betrachtung unseres Messsystems und der erhobenen Daten ist augenfällig, dass aufgrund der Komplexität und Spezifität der präsentierten Videosequenzen die Antwortaktionen in einem deutlich komplexeren Setting (mit mehr Interpretationsspielraum der Testperson) realisiert werden mussten. Die Praxisnähe des Versuchsaufbaus sowie die ergebnisoffene (multikategorial statt binär) Provokation des Antwortverhaltens, wirken sich maßgeblich auf die Reliabilität der Verteidigerentscheidungen (K-Werte) aus. Sie sind tendenziell zwar etwas geringer als die publizierten Reliabilitätswerte (vgl. Loffing et al., 2015), im Licht der Vielschichtigkeit des Versuchsaufbaus, dennoch als zufriedenstellend anzusehen. Die höchsten K-Werte sind bei den frühesten und spätesten Okklusionszeitpunkten der Angriffsaktionen zu verzeichnen, was darauf hindeutet, dass in den früh okkludierten Videoclips zu wenige kinematische Hinweise durch den präsentierten Angreifer gegeben und damit adäquate Abwehraktionen erschwert wurden. Wenig Informationen zu Beginn eines Angriffs scheinen bestimmte Verteidigerhandlungen, wie bspw. Seitwärtsbewegungen, innerhalb des Entscheidungsprozesses eher auszuschließen. Vergleichsweise niedrigere K-Werte im weiteren Verlauf des Angriffs ($t_5 - t_3$) lassen vermuten, dass die Anzahl der kinematischen Informationen in den Bewegungen des Angreifers anstieg und die Entscheidungsfindung erschwerte (Ratcliff et al., 2016). Hier scheint sich der Entscheidungsprozess von eher intuitiv hin zu eher deliberativ verlagert zu haben. Wir vermuten, dass diese Okklusionszeitpunkte insbesondere für perzeptuell-kognitive Fähigkeiten, die auf einer antizipativen Informationsaufnahme basieren, entscheidend sind.

Derzeit existieren nur sehr wenige experimentelle Studien (Ashford et al., 2021), welche sich mit kognitiven Prozessen im Kontext des Sportspiels auseinandersetzen und dabei den Einfluss unterschiedlicher Leistungsniveaustufen auf die diagnostizierten Leistungsparameter untersuchen (Mann et al., 2007; Scharfen & Memmert, 2019). Unsere Experten-Amateur Ergebnisse deuten darauf hin, dass Hochleistungssportler schon anhand des Anlaufs recht früh erkennen können, wie viel Druck und damit mit welcher Intention der Angreifer auf das zu verteidigende Tor zuläuft. Bei der Aktion Durchbruch zeigen Hochleistungsspieler ein früheres Heraustreten („aktives antizipativ-offensives Abwehrverhalten“; Kromer, 2015) bei Okklusionszeitpunkt t_3 , als Amateursportler. Basierend auf dem wahrgenommenen kinematischen Verlauf der (Täuschungs-)Bewegung, entschließen sich die Hochleistungssportler generell eher, diese durch frühes Heraustreten zu unterbinden, als sich zu einem späteren Zeitpunkt in eine lediglich reaktive Abwehraktion verwickeln zu lassen. Das hier beschriebene systematische Verhalten spiegelt die gängige Lehrmeinung des DHB (Rahmentrainingskonzeption RTK, 2009) sowie die der im Rahmen unserer Studie befragten Experten wieder. Interessanterweise scheinen Expertiseeffekte, bezogen auf die in der Videosequenz präsentierte Händigkeit der Angreifer (Loffing et al., 2015; Loffing & Hagemann, 2014), auch auf unsere Daten zuzutreffen.

Das hier vorgeschlagene experimentelle Vorgehen ist unseres Erachtens in vielerlei Hinsicht praktisch nutzbar. Neben der rein leistungsdiagnostikorientierten Nutzung des Testinventars, bspw. im Kontext der Talentsichtung, bei Neuverpflichtungen von Spielern bzw. Spielerinnen im professionalisierten Nachwuchs- und/ oder Profibereich oder zur originären (Trainings-) Prozessdiagnostik, bietet sich aus fachwissenschaftlicher Sicht das Feld der (Trainings-)Interventionsstudien an. Das Setting sollte hier, in Abhängigkeit der intendierten Zielstellung und nach entsprechenden Modifikationen der präsentierten Videosequenzen, gut geeignet sein, um Trainingseffekte in Bezug auf definierte wettspielspezifische Zielvariablen, systematisch nachzuweisen.

Daran anknüpfend und positive Ergebnisse voraussetzend, ließe sich unser Testinventar im Rahmen der Trainingspraxis für sportspielspezifisches Kognitions- und Wahrnehmungstraining nutzen, in dem das Hauptaugenmerk auf der Weiterentwicklung der individuellen Antizipationsleistung sowie der Entscheidungsfähigkeit liegt. Hier ist die Nutzung des Versuchsaufbaus bspw. im Rahmen der Vorbereitung auf ein anstehendes Spiel denkbar. Aufgrund seiner inzwischen nachgewiesenen zuverlässigen Eigenschaften (Hinz et al., 2021), kann das vorgestellte Testsetting als passendes Vehikel für ein modifiziertes Wahrnehmungstraining (Hadlow et al., 2018) eingesetzt werden. Dabei ist festzuhalten, dass das hier vorgeschlagene Prozedere nicht auf den Profisport begrenzt bleiben muss. Es ließe sich bspw. unter Zuhilfenahme von einfachen Kontaktmatten oder Zielmarkierungen (Hütchen o. ä.) und einer parallelen Videodokumentation via highspeed-Funktion (besitzt aktuell jedes handelsübliche Handy), mit relativ überschaubarem Aufwand in ein rudimentäres Setting übertragen und somit auch für den leistungsorientierten Breitensport zugänglich machen.

5 Literatur

- Ashford, M., Abraham, A., & Poolton, J. (2021). Understanding a player's decision-making process in team sports: A systematic review of empirical evidence. *Sports*, 9(65).
- Chaouachi, A., Brughelli, M., Levin, G., Boudhina, N. B., Cronin, J., & Charmari, K. (2009). Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *Journal of Sport Sciences*, 27, 151-157.
- Deutscher Handballbund (Hrsg.), (2009). *Rahmentrainingskonzeption des Deutschen Handballbundes für die Ausbildung und Förderung von Nachwuchsspielern*. Philippka.
- Dicks, M., Button, C., & Davids, K. (2010). Examination of gaze behaviors under in situ and video simulation task constraints reveals differences in information pickup for perception and action. *Attention, Perception & Psychophysics*, 72(3), 706-720.
- Fisher, R. A. (1992). Statistical methods for research workers. In *Breakthroughs in statistics* (pp. 66-70). Springer.
- Hadlow, S. M., Panchuk, D., Mann, D. L., Portus, M. R., & Abernethy, B. (2018). Modified perceptual training in sport: A new classification framework. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, 950-958.
- Hinz, M., Lehmann, N., Melcher, K., Aye, N., Radić, V., Wagner, H., & Taubert, M. (2021). Reliability of perceptual-cognitive skills in a complex, laboratory-based team-sport setting. *Applied Sciences*, 11(11), 5203.
- Hinz, M., Lehmann, N., Melcher, K., Aye, N., Radić, V., Wagner, H., & Taubert, M. in Vorbereitung.
- Kromer, A. (2015). *Positionstraining für Rückraum-, Kreis- und Außenspieler: Aufbau- und Training*. Philippka.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Loffing, F., & Hagemann, N. (2014). Skill differences in visual anticipation of type of throw in team-handball penalties. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(3), 260-267.
- Loffing, F., Hagemann, N., Schorer, J., & Baker, J. (2015). Skilled players' and novices' difficulty anticipating left- vs. right-handed opponents' action intentions varies across different points in time. *Human Movement Science*, 40, 410-421.
- Lühnenschloß, D., & Dierks, B. (2003). Schnelligkeit. (*Praxisideen – Schriftenreihe für Bewegung, Spiel und Sport*, Bd. 16). Hofmann.
- Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of Sport Exercise and Psychology*, 29, 457-478.
- Morris-Binelli, K., & Müller, S. (2017). Advancements to the understanding of expert visual anticipation skill in striking sports. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue Canadienne Des Sciences Du Comportement*, 49(4), 262-268.

- Müller, S., & Abernethy, B. (2014). An expertise approach to training anticipation using temporal occlusion in a natural skill setting. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 9, 295-312.
- Müller, S., Brenton, J., & Rosalie, S. M. (2015). Methodological considerations for investigating expert interceptive skill in in situ settings. *Sport, Exercise and Performance Psychology*, 4(4), 254-267.
- Ratcliff, R., Smith, P. L., Brown, S. D., & McKoon, G. (2016). Diffusion decision model: Current issues and history. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(4), 260-281.
- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Mark Williams, A. (2011). Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task. *Cognitive Processing*, 12(3), 301-310.
- Scharfen, H.-E., & Memmert, D. (2019). Measurement of cognitive functions in experts and elite athletes: A meta-analytic review. *Applied Cognitive Psychology*, 33(5), 843-860.
- Zvi, G., & Lidor, R. (2009). Physical characteristics, physiological attributes, and on-court performances of handball players: A review. *European Journal of Sport Science*, 9, 375-386.

Evaluierung eines Laktat-Minimum-Tests/Reverse-Lactate-Threshold-Tests zur Bestimmung des MLSS und deren Vergleich mit Stufentests und etablierten Schwellenkonzepten im Schwimmen

(AZ 070510/19-20)

P. Wahl (Projektleitung), S. Keller & C. Manunzio

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin,
Das Deutsche Forschungszentrum für Leistungssport

1 Einleitung

Beim Schwimmen kann aufgrund der nicht-linearen Beziehung zwischen Wasserwiderstand und Geschwindigkeit eine geringfügige Zunahme der externen Belastung (d. h. der Geschwindigkeit) zu deutlichen Veränderungen der internen Beanspruchung, z. B. zu einem betonten Anstieg der Blutlaktatkonzentration, der Herzfrequenz oder der Sauerstoffaufnahme (VO_2) führen (Espada et al., 2015; Pelarigo et al., 2016). Daher sind präzise und sensible Diagnostikverfahren erforderlich, um die Leistungsentwicklung und Trainingsbereiche für jede Athletin und jeden Athleten genau zu bestimmen (Espada et al., 2021; Greco et al., 2013).

Besonders beliebt sind im Schwimmsport Stufentests (ST) zur Bestimmung von Laktatschwellen als praktikable Ableitungen des maximalen Laktat-Steady-State (MLSS) (Espada et al., 2021; Fernandes et al., 2011; Ioannis, Nikitakis & Toubekis, 2021). Jedoch weisen einige der ST-Protokolle und abgeleiteten Schwellen Einschränkungen, wie fehlende Validierung (Faude et al., 2008; Toubekis et al., 2006), grobe Geschwindigkeitsabstufungen, $\geq 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und feste Stufendistanzen, z. B. 200 m, auf (Espada et al., 2021; Fernandes et al., 2011; Ioannis, Nikitakis & Toubekis, 2021). Trotz einer hohen Praktikabilität (d. h. Blutentnahme immer an der gleichen Stelle), birgt dieser Ansatz mit festen Distanzen das Risiko einer Überschätzung der anaeroben Schwelle und daraus abgeleiteter Trainingszo-

nen aufgrund der mit zunehmender Geschwindigkeit abnehmenden Stufendauern (Ribeiro et al., 2003; Zinner et al., 2011)

Neben diesen methodischen Limitationen wurden aus STs abgeleitete Laktatschwellen in verschiedenen Sportarten kritisiert, weil sie eher empirisch/mathematisch als physiologisch mit dem MLSS assoziiert sind (Dotan, 2012; Jamnick et al., 2020). Infolgedessen wurden zwei auf dem Blutlaktat-Akkumulations-Eliminations-Gleichgewicht basierende Single-Session-Tests, der Laktat-Minimum- (LM) und der Reverse-Lactate-Threshold (RLT) Test, bereits im Radsport und im Laufen validiert und zeigten eine hohe Übereinstimmung mit dem MLSS (Wahl et al., 2017, 2018, 2021). Interessanterweise haben einige Untersuchungen den Laktat-Minimum-Test (LMT) auch im Schwimmen angewandt (Kalva-Filho et al., 2015; Ribeiro et al., 2003), jedoch wiesen die Protokolle ähnliche Schwächen wie zuvor bereits für ST-Protokolle beschrieben auf. Im Gegensatz dazu ist der RLT nach unserem Kenntnisstand noch gar nicht im Schwimmen implementiert worden.

Daher war es das Ziel dieser Studie, verschiedene Protokolle und abgeleitete Schwellenkonzepte mit dem MLSS bzw. der Schwimmperformance zu vergleichen und zu validieren. Um einige der genannten Limitationen zu überwinden, wurde bei allen Tests eine feinere Auflösung der Geschwindigkeitsabstufung und Stufen mit fester Dauer verwendet.

2 Methodik

2.1 Studiendesign

Die Teilnehmenden durchliefen fünf bis acht separate Tests: einen ST, einen LMT, einen RLT-Test und zwei bis fünf 30-minütige Dauertests zur Bestimmung des MLSS und der maximalen 30-minütigen Schwimmggeschwindigkeit ($v_{30\text{min}}$). Alle Tests wurden in einem 50-m-Becken in der Technik Kraul mit dem Einsatz von Wasserstarts und Rollwenden durchgeführt, wobei die Geschwindigkeit durch eine Lichtlaufleiste auf dem Beckenboden vorgegeben wurde (Virtual Swim Trainer, Indico Technologies, Turin, Italien).

Alle Testprotokolle bestanden aus Abschnitten mit einer festen Dauer und kurzen Ruhephasen (30 s) für die Kapillarblutentnahme. Vor dem ersten Test wurde die Schwimmggeschwindigkeit an der anaeroben Schwelle mit Hilfe von 88 % der aktuellen 400-m-Bestzeit ($v_{400\text{m}}$) abgeschätzt (Dekerle et al., 2005; Greco et al., 2013). Da Pilotversuche Schwierigkeiten bei der Schätzung von individualisierten Anfangsgeschwindigkeiten im LMT- und RLT-Test zeigten, wurde die Reihenfolge der Tests konstant gehalten, um das Vorwissen aus dem ST für die Auswahl der Anfangsgeschwindigkeit während des LMT und RLT-Tests zu berücksichtigen. Während der Testungen wurde die Herzfrequenz kontinuierlich mit einem Brustgurt aufgezeichnet, und 20 μl Kapillarblut für die Laktatanalyse wurden aus dem abgetrockneten Ohrläppchen entnommen.

2.2 Probandengruppe

23 gesunde Schwimmerinnen und Schwimmer bzw. Triathletinnen und Triathleten mit unterschiedlichem Alter und Leistungsniveau nahmen freiwillig an der Studie teil (Tab. 1).

Tab.1: Deskriptive Charakteristika der Versuchspersonen ($N = 23$) dargestellt als Mittelwert \pm Standardabweichung zusammen mit dem Range (Min-Max)

Geschlecht	N	Alter [Jahre]	Höhe [cm]	Masse [kg]	$\text{VO}_{2\text{peak}}$ [$\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Trainingsumfang [$\text{h}\cdot\text{wk}^{-1}$]
Männlich	12	20,2 \pm 5,7 (13,2-33,3)	179 \pm 7 (166-194)	67,9 \pm 10,0 (51,9-84,0)	60,9 \pm 7,2 (47,2-74,4)	14 \pm 6 (7-21)
Weiblich	11	17,7 \pm 6,2 (13,1-30,0)	169 \pm 7 (154-176)	57,4 \pm 5,7 (48,6-68,0)	52,6 \pm 6,3 (38,7-59,2)	14 \pm 5 (5-20)

Abkürzungen: $\text{VO}_{2\text{peak}}$: maximale Sauerstoffaufnahme.

Die Versuchspersonen und ihre Eltern (falls erforderlich) wurden über Nutzen und Risiken der Untersuchung informiert und gaben eine schriftliche Einverständniserklärung ab. Die Studie wurde gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt und von der lokalen Ethikkommission genehmigt.

2.3 Testverfahren

2.3.1 Stufentest (ST)

Der ST mit 3-minütiger Stufendauer begann mit 4 Inkrementen ($0,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) unterhalb von 88 % der $v_{400\text{m}}$ und wurde um $0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bis zur Erschöpfung gesteigert. Die Geschwindigkeit, die einer Blutlaktatkonzentration von $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (OBLA) entspricht, und die modifizierte Dmax (mDmax)-Methode wurden zur Bestimmung der anaeroben Schwellen anhand des Polynoms dritten Grades der Laktat-Geschwindigkeitskurve ($R^2 \geq 0,98$) verwendet (Zwingmann et al., 2019).

2.3.2 Laktat-Minimum-Test (LMT)

Der LMT bestand aus zwei Abschnitten, einem Priming-Segment (100 m progressives Schwimmen + 200-m-All-Out) zur Bestimmung der $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (mittels Herzfrequenz/ VO_2 -Modellierungstechnik als höchster 5-s-Durchschnittswert erfasst (Chaverri et al., 2016) und zur Induktion hoher Blutlaktatspiegel, sowie einem inkrementellen Segment zur Bestimmung des LM. Das inkrementelle Segment begann nach einer Ruhephase von 5 min mit 4 Stufen ($0,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) unterhalb der abgeschätzten anaeroben Schwelle (Mittelwert von 88 % der $v_{400\text{m}}$, OBLA und mDmax); die Intensität wurde alle 2 min bis zur Erschöpfung um $0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ erhöht.

Die Schwimmgeschwindigkeit am LM wurde durch die erste Ableitung eines Polynomfits dritten Grades der Laktat-Geschwindigkeitskurve berechnet ($R^2 \geq 0,98$) (Ribeiro et al., 2003; Wahl et al., 2017).

2.3.3 Reverse-Lactate-Threshold (RLT) Test

Der RLT-Test bestand aus einem inkrementellen Priming-Segment mit vier groben Geschwindigkeitsschritten ($0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), beginnend $0,18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ unterhalb der abgeschätzten anaeroben Schwelle (s. LMT), und einem Reverse-Segment mit abnehmenden Geschwindigkeiten ($0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) alle 3 min, bis die Startgeschwindigkeit wieder erreicht war. Analog zum LM wurde die Schwimmgeschwindigkeit, die dem Laktat-Apex während des Reverse-Segments entspricht (RLT), mit Hilfe der ersten Ableitung eines Polynomfits dritten Grades der Laktat-Geschwindigkeitskurve bestimmt ($R^2 \geq 0,99$) (Dotan, 2012).

2.3.4 Maximales Laktat-Steady-State (MLSS) Test

Das MLSS wurde durch zwei bis fünf 6 x 5-minütige Tests mit konstanter Geschwindigkeit bestimmt, wobei der erste bei dem Mittelwert aus OBLA, mDmax, LM und RLT angesetzt wurde. Das MLSS war erreicht, wenn die Blutlaktatkonzentration zwischen der 10. und 30. Minute bei einer gegebenen Geschwindigkeit um maximal $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ und bei einer um $0,015 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ höheren Geschwindigkeit um $> 1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ anstieg (Dekerle et al., 2005; Pelarigo et al., 2016). Neben der Bestimmung des MLSS wurde die $v_{30\text{min}}$ als die höchste konstante Geschwindigkeit ermittelt, die unabhängig von dem Anstieg des Blutlaktatspiegels für 30 min aufrechterhalten werden konnte.

2.4 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde mit R durchgeführt (R Core Team, 2020). Nach visueller Überprüfung der Homoskedastizität und Normalverteilung mittels Residuen- und Q-Q-Plots wurden lineare gemischte Modelle mit zufälligen Achsenabschnitten für die Teilnehmenden gerechnet (*lme4*-Paket), um Unterschiede zwischen den Schwellenkonzepten zu untersuchen. Als feste Effekte wurden die Schwellenkonzepte (sechs Levels), das Geschlecht (zwei Levels) und das Alter (Kovariate) in das Modell eingeschlossen (mit und ohne Interaktion)

und beibehalten, wenn der Maximum-Likelihood-Ratio-Test eine signifikante Veränderung anzeigte ($p < 0,05$). Anschließend wurden multiple paarweise Post-hoc Vergleiche mit Bonferroni-Korrektur (*emmeans*-Paket) durchgeführt. Um die Größe der Unterschiede zwischen den Schwellenkonzepten zu bestimmen, wurden Cohen's Effektstärken (ES) zusammen mit 95 % Konfidenzintervallen (CI) (*effsize*-Paket) berechnet (Cohen, 1988) und als trivial ($ES < 0,2$), klein ($0,2 \leq ES < 0,6$), moderat ($0,6 \leq ES < 1,2$) und groß ($ES \geq 1,2$) interpretiert (Hopkins, 2002). Mittels Bland-Altman-Analyse (*BlandAltmanLeh*-Paket) wurde die Übereinstimmung (mittlere Differenzen zusammen mit den limits of agreement, d. h. 1,96-fache Standardabweichung [SD]) zwischen den Messungen überprüft. Zusätzlich wurden Pearson-Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten r zusammen mit 95 % CI (*stats*-Paket) berechnet und als trivial ($r < 0,1$), niedrig ($0,1 \leq r < 0,3$), moderat ($0,3 \leq r < 0,5$), hoch ($0,5 \leq r < 0,7$), sehr hoch ($0,7 \leq r < 0,9$) und nahezu perfekt ($r \geq 0,9$) interpretiert (Hopkins, 2002). Um ebenfalls die Übereinstimmung zwischen den Messungen zu berücksichtigen, wurden Intra-klassenkorrelationskoeffizienten (ICC, 2-way *mixed-effects models* mit „absoluter Übereinstimmung“) zusammen mit 95 % CI (*icc*-Paket) berechnet. Im Einklang mit Koo et al. (2016) wurde die Übereinstimmung wie folgt interpretiert: $ICC \leq 0,50$ = schlecht, $0,50 \leq ICC < 0,75$ = mäßig, $0,75 \leq ICC < 0,90$ = gut, und $\geq 0,90$ = ausgezeichnet. Für alle Tests wurde die statistische Signifikanz bei $p < 0,05$ angenommen. Alle Daten sind als Mittelwert \pm SD dargestellt.

3 Ergebnisse

Die Bestimmung des RLT war nur bei 17 der 23 Teilnehmenden möglich, da in den anderen Fällen der charakteristische Blutlaktatverlauf ausgeblieben war. Des Weiteren konnte die $v_{30\text{min}}$ aufgrund des hohen Zeitaufwands zusätzlicher 30-min-Tests oberhalb des MLSS nur bei 17 Teilnehmenden bestimmt werden. Die durchschnittliche Geschwindigkeit am MLSS und die $v_{30\text{min}}$ betragen $1,266 \pm 0,124 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und $1,312 \pm 0,088 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bei den männlichen sowie $1,180 \pm 0,081 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und $1,189 \pm 0,094 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bei den weiblichen Teilnehmenden.

Es wurde ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Schwellenkonzepten gefunden ($p < 0,001$), allerdings führte – abgesehen von Geschlecht als additivem Effekt ($p < 0,05$) – die Einbeziehung von Interaktionseffekten (Geschlecht oder Alter) nicht zu einer weiteren Verbesserung des Modells. Über alle Teilnehmenden hinweg ergaben paarweise Vergleiche signifikante Unterschiede zwischen MLSS und OBLA ($p < 0,05$), mDmax ($p < 0,01$) und RLT ($p < 0,01$) sowie zwischen der $v_{30\text{min}}$ und RLT ($p < 0,05$), allerdings mit trivialen bis kleinen Effekten ($ES \leq 0,35$), wie in Tab. 2 (S. 6) dargestellt. Nahezu perfekte Korrelationen ($r \geq 0,93$) sowie gute bis sehr gute Übereinstimmungsmaße ($ICC \geq 0,886$) zeigen eine hohe Übereinstimmung aller Schwellenkonzepte mit dem MLSS und der $v_{30\text{min}}$ bei männlichen und weiblichen Teilnehmenden (Tab. 2, S. 6).

Die Bland-Altman-Plots veranschaulichen die absolute Übereinstimmung zwischen allen Schwellenkonzepten und dem MLSS (Abb. 1) sowie der $v_{30\text{min}}$ (Abb. 2). Das LM zeigte die kleinste mittlere Differenz zum MLSS und zur $v_{30\text{min}}$, jedoch mit den größten limits of agreement ($-0,061$ bis $+0,067$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ und $-0,055$ bis $+0,055$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). OBLA, mDmax und RLT zeigten größere mittlere Abweichungen (Überschätzung) von MLSS und $v_{30\text{min}}$. Im Vergleich zum LM waren jedoch ihre Grenzen der Übereinstimmung mit dem MLSS ($-0,030$ bis $+0,068$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, $-0,025$ bis $+0,073$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ und $-0,015$ bis $+0,076$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) und der $v_{30\text{min}}$ ($-0,034$ bis $+0,064$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, $-0,019$ bis $+0,054$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ und $-0,015$ bis $+0,061$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) kleiner.

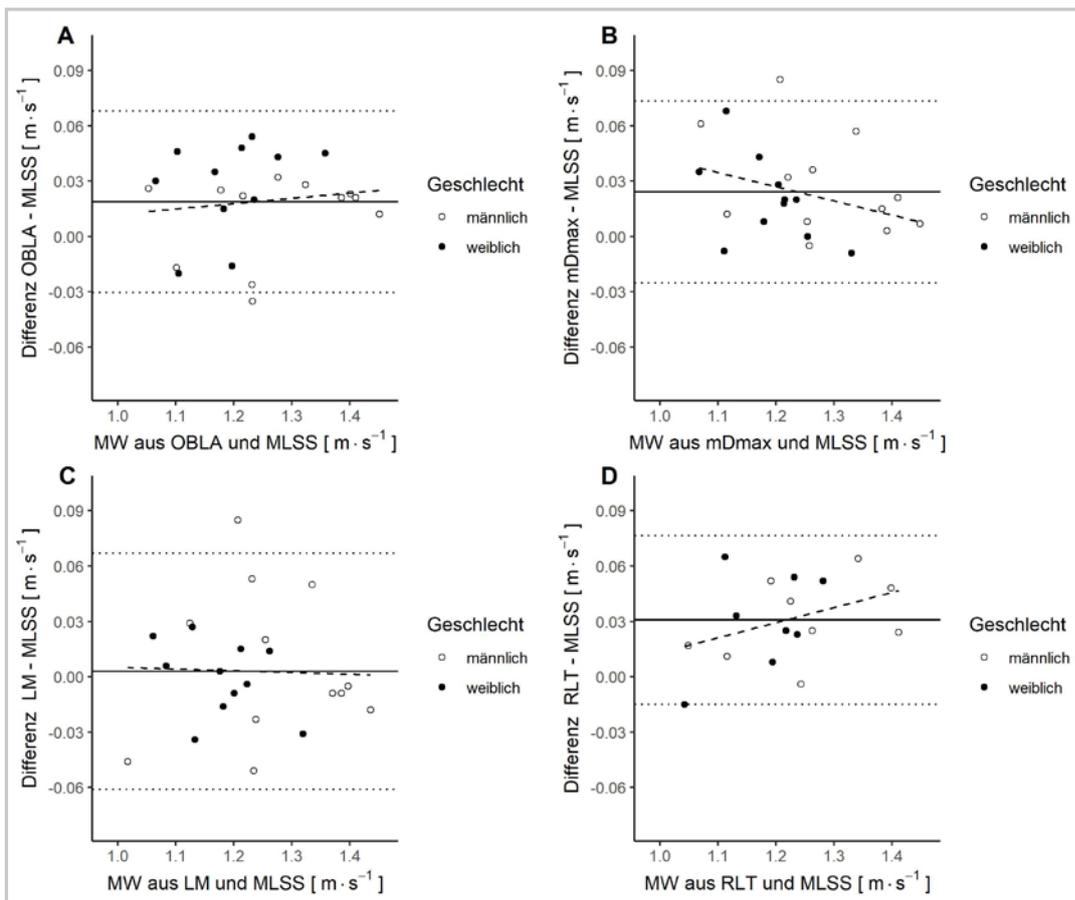


Abb. 1: Bland-Altman-Plots: Unterschiede zwischen der Schwimmgeschwindigkeit bei einer Blutlaktatkonzentration von 4 mmol-L⁻¹ (OBLA) (A), der modifizierten Dmax (mDmax) (B), dem Laktat-Minimum (LM) (C) und der Reverse-Lactate-Threshold (RLT) (D) und der maximalen Laktat-Steady-State (MLSS) Geschwindigkeit getrennt nach Geschlecht. Die durchgezogene Linie zeigt die mittlere Differenz, die gestrichelten Linien zeigen die Grenzen der Übereinstimmung (mittlere Differenz $\pm 1,96$ SD), und die gestrichelte Linie stellt die lineare Regressionslinie der Daten dar.

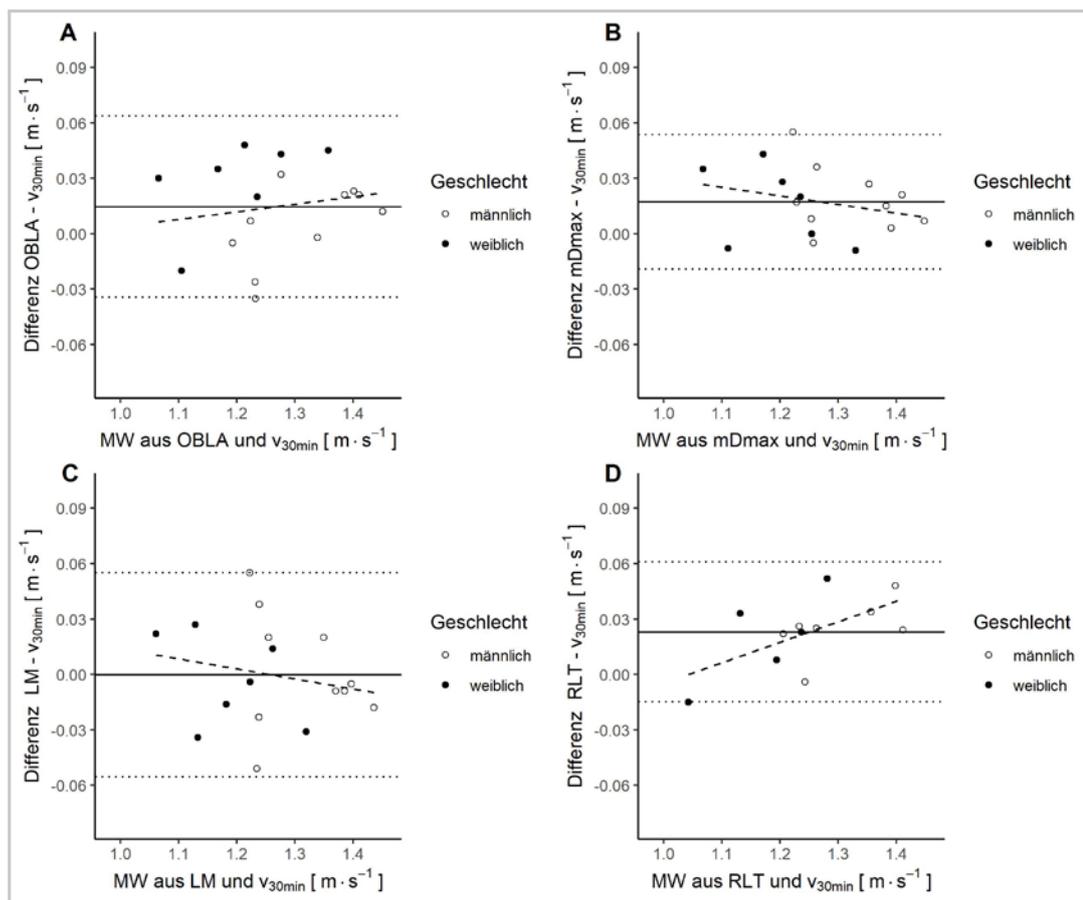


Abb. 2: Bland-Altman-Plots: Unterschiede zwischen der Schwimmgeschwindigkeit bei einer Blutlaktatkonzentration von 4 mmol-L⁻¹ (OBLA) (A), der modifizierten Dmax (mDmax) (B), dem Laktat-Minimum (LM) (C) und der Reverse-Lactate-Threshold (RLT) (D) und der maximalen 30-minütigen Schwimmgeschwindigkeit ($v_{30\text{min}}$) getrennt nach Geschlecht. Die durchgezogene Linie zeigt die mittlere Differenz, die gestrichelten Linien zeigen die Grenzen der Übereinstimmung (mittlere Differenz \pm 1,96 SD), und die gestrichelte Linie stellt die lineare Regressionslinie der Daten dar.

Neben OBLA, mDmax, LM und RLT korrelierte auch die Geschwindigkeit an der LT1 ($1,173 \pm 0,105 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) über alle Teilnehmenden nahezu perfekt mit der Geschwindigkeit am MLSS ($r = 0,97$, CI: 0,92-0,99, $p < 0,001$) und der $v_{30\text{min}}$ ($r = 0,98$, CI: 0,93-0,99, $p < 0,001$). Im Gegensatz dazu waren weder die absolute ($3,59 \pm 0,81 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) noch die relative $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ($56,9 \pm 7,9 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) signifikant mit dem MLSS oder der $v_{30\text{min}}$ korreliert ($r \leq 0,29$ und $r \leq 0,23$).

4 Diskussion

In dem vorliegenden Projekt wurden verschiedene Schwellenkonzepte (OBLA, mDmax, LM, RLT) mit dem MLSS (als physiologisches Kriterium) und der $v_{30\text{min}}$ (als Performance-Kriterium) im Schwimmen verglichen und validiert.

Während in früheren Untersuchungen Geschwindigkeitsinkremente von $\geq 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sowie feste Stufendistanzen (häufig 200 m) verwendet wurden (Espada et al., 2021; Fernandes et al., 2011; Ioannis, Nikitakis & Toubekis, 2021), wurden in der vorliegenden Studie feinere Inkremente von $0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und feste Stufendauern (2 bzw. 3 min) eingesetzt. Ebenso wurden das MLSS und die $v_{30\text{min}}$ mit einer feineren Auflösung ($0,015 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) als zuvor ($\geq 0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) bestimmt (Dekerle et al., 2005; Espada et al., 2021; Pelarigo et al., 2016), um Bedenken hinsichtlich der Granularität der MLSS-Tests zu verringern (Jones et al., 2019). Im Vergleich zu früheren Studien (Espada et al., 2021; Ioannina, Nikitakis & Toubekis, 2021; Ribeiro et al., 2003) wurde eine höhere Übereinstimmung zwischen allen Schwellenkonzepten und dem MLSS sowie der $v_{30\text{min}}$ beobachtet.

Tab. 2: Geschwindigkeit (v) entsprechend dem jeweiligen Schwellenkonzept und Unterschiede zwischen den Schwimmgeschwindigkeiten, die mit den Schwellenkonzepten und dem maximalen Laktat-Steady-State (MLSS) sowie der maximalen 30-minütigen Geschwindigkeit (v30min) assoziiert sind, dargestellt als Mittelwert ± Standardabweichung sowie deren Zusammenhängen jeweils getrennt nach Geschlecht.

Schwellenkonzept	Geschlecht	MLSS					v _{30min}					
		v@Schwelle [m·s ⁻¹]	n	ΔSchwelle-MLSS [m·s ⁻¹]	ES (95 % CI)	r (95 % CI)	ICC (95 % CI)	n	ΔSchwelle-v _{30min} [m·s ⁻¹]	ES (95 % CI)	r (95 % CI)	ICC (95 % CI)
OBLa	M	1,277 ± 0,130 (1,066-1,457)	12	0,011 ± 0,023	0,08 (0,02-0,19)	0,98 *** (0,94-1,00)	0,981 *** (0,934-0,995)	10	0,005 ± 0,022	0,04 (-0,08-0,17)	0,98 *** (0,92-1,00)	0,974 *** (0,905-0,994)
	W	1,208 ± 0,089 (1,080-1,380)	11	0,027 ± 0,025	0,30 (0,12-0,48)	0,96 *** (0,85-0,99)	0,912 ** (0,358-0,981)	7	0,029 ± 0,024	0,24 (0,07-0,40)	0,98 *** (0,87-1,00)	0,938 ** (0,306-0,991)
mDmax	M	1,294 ± 0,113 (1,101-1,452)	12	0,028 ± 0,028	0,21 (0,09-0,34)	0,98 *** (0,92-0,99)	0,950 ** (0,593-0,988)	10	0,016 ± 0,021	0,20 (0,07-0,33)	0,98 *** (0,92-1,00)	0,958 ** (0,598-0,991)
	W	1,201 ± 0,069 (1,085-1,326)	11	0,020 ± 0,023	0,23 (0,06-0,40)	0,97 *** (0,87-0,99)	0,923 *** (0,554-0,982)	7	0,016 ± 0,018	0,16 (-0,02-0,33)	0,98 *** (0,85-1,00)	0,966 *** (0,819-0,994)
LM	M	1,273 ± 0,124 (0,994-1,427)	12	0,006 ± 0,042	0,05 (-0,15-0,25)	0,94 *** (0,81-0,98)	0,947 *** (0,830-0,984)	10	0,002 ± 0,031	0,02 (-0,22-0,26)	0,93 *** (0,74-0,98)	0,936 *** (0,764-0,984)
	W	1,180 ± 0,073 (1,072-1,304)	11	-0,001 ± 0,020	-0,01 (-0,16-0,15)	0,97 *** (0,89-0,99)	0,968 *** (0,885-0,991)	7	-0,003 ± 0,025	-0,03 (-0,24-0,18)	0,97 *** (0,79-1,00)	0,912 ** (0,358-0,981)
RLT	M	1,264 ± 0,127 (1,057-1,424)	9	0,031 ± 0,022	0,23 (0,11-0,35)	0,99 *** (0,94-1,00)	0,956 ** (0,304-0,992)	7	0,025 ± 0,016	0,24 (0,12-0,37)	0,99 *** (0,92-1,00)	0,945 * (0,134-0,992)
	W	1,196 ± 0,085 (1,035-1,307)	8	0,031 ± 0,026	0,35 (0,11-0,58)	0,95 *** (0,76-0,99)	0,886 * (0,177-0,980)	5	0,020 ± 0,025	0,14 (-0,04-0,31)	0,99 *** (0,79-1,00)	0,949 ** (0,589-0,995)

Abkürzungen: ES: Effektstärke; CI: Konfidenzintervall; r: Pearson-Produkt-Moment Korrelationskoeffizient; ICC: Intraklassenkorrelationskoeffizient; OBLa: Schwimmgeschwindigkeit bei einer Blutlaktatkonzentration von 4 mmol·l⁻¹; mDmax: modifizierte Dmax; LM: Laktat-Minimum; RLT: Reverse-Lactate-Threshold; M: männlich; W: weiblich. * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001

Diese Beobachtung gilt für eine breite Stichprobe, da die Modellierung von Geschwindigkeitsunterschieden nicht durch die Hinzunahme von Interaktionseffekten mit Geschlecht oder Alter verbessert wurde. Unter den Schwellenkonzepten wies das LM die kleinste mittlere Differenz zu MLSS und $v_{30\text{min}}$ auf, allerdings mit den größten Übereinstimmungsgrenzen. OBLA, mDmax und RLT überschätzten MLSS und $v_{30\text{min}}$ leicht, jedoch mit kleineren limits of agreement.

Die in der vorliegenden Studie beobachtete Geschwindigkeit am MLSS lag im Bereich früherer Befunde bei trainierten Schwimmerinnen und Schwimmern, z. B. $1,22 \pm 0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Dekerle et al., 2005) oder $1,25 \pm 0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Ribeiro et al., 2003). Zusätzlich und in Übereinstimmung mit früheren Studien wurden nur geringfügig höhere $v_{30\text{min}}$ -Werte im Vergleich zu den MLSS-Geschwindigkeiten beobachtet (Dekerle et al., 2005; Espada et al., 2021; Pelarigo et al., 2016). Trotz der jüngsten Kritik am Konzept des MLSS bestätigt die hohe Ähnlichkeit zwischen dem MLSS und der $v_{30\text{min}}$ das MLSS als wichtigen Indikator für die Ausdauerleistungsfähigkeit im Schwimmen.

Trotz der häufigen Verwendung von STs im Schwimmen haben nur wenige Studien die genaue Übereinstimmung von Schwellenkonzepten aus ST-Protokollen mit dem MLSS untersucht (Espada et al., 2021; Ioannis, Nikitakis & Toubekis, 2021). Diese Studien zeigten eine Abweichung vom MLSS (mittlere Differenz \pm limits of agreement) von $-0,004 \pm 0,063 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (OBLA) (Espada et al., 2021) bzw. $-0,010 \pm 0,088 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (mDmax) (Ioannia, Nikitakis & Toubekis, 2021). In der Studie von Espada et al. (2021) wurde das MLSS jedoch nur mit einer groben Auflösung von $\geq 0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bestimmt. Im Gegensatz dazu zeigen unsere Ergebnisse engere Grenzen der Übereinstimmung (OBLA: $0,019 \pm 0,052$ und mDmax: $0,024 \pm 0,049 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) im Kontext eines fein aufgelösten MLSS ($0,015 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Da die mDmax keine höhere Genauigkeit im Vergleich zu OBLA aufwies, deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass eine konstante Zeit für jede Stufe und eine feine Geschwindigkeitsauflösung die Überschätzung des MLSS durch OBLA zu vermindern scheinen und somit generell eine genauere Schätzung des MLSS und der Perfor-

mance liefern (Fernandes et al., 2011; Zinner et al., 2011). Neben einer Abschätzung der anaeroben Schwelle liefert der ST zusätzlich ein Maß für die LT1. Aufgrund der hohen Korrelationen mit dem MLSS und der $v_{30\text{min}}$ ($r \geq 0,97$) kann die LT1 als submaximaler Indikator der aeroben Leistungsfähigkeit regelmäßig ohne die Notwendigkeit von Tests bis zur Erschöpfung erfasst werden. Zusammen können LT1 und mDmax/OBLA dazu dienen, auf individueller Basis Trainingsintensitätszonen zu definieren (Jammnick et al., 2020).

Während eine hohe Übereinstimmung zwischen RLT und MLSS beim Radfahren und Laufen gezeigt wurde (Wahl et al., 2017, 2021), ist dies die erste Untersuchung des RLT-Tests im Schwimmen. RLT zeigte eine ähnliche Überschätzung des MLSS und der $v_{30\text{min}}$ wie OBLA und mDmax, was durch die für die Blutentnahme unvermeidlichen Pausenzeiten erklärt werden kann, die zu einem früheren Abfall des Blutlaktatspiegels und damit zu einer Verschiebung des RLT in Richtung höherer Geschwindigkeiten führen (Dotan, 2012; Wahl et al., 2021). Die größte Herausforderung bei den RLT-Tests stellte jedoch die Vorauswahl individueller Intensitäten dar, die zwar das MLSS übersteigen, gleichzeitig jedoch nicht zu einem vorzeitigen Testabbruch aufgrund von Ermüdung führen sollten. So verblieben aufgrund des engen Intensitätsbereichs in der aquatischen Umgebung und angesichts der Abstufungen von $0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ maximal zwei Stufen, um die charakteristische Blutlaktatkurve des RLT-Tests zu erhalten. Trotz detaillierter Vorkenntnisse über die Leistungsfähigkeit der Teilnehmenden aufgrund der ST-Ergebnisse konnte bei sechs von 23 Teilnehmenden kein „gültiger“ RLT (d. h. kein weiterer Anstieg des Blutlaktats während des Reverse-Segments) erfasst werden. Da der RLT-Test keine höhere Genauigkeit im Vergleich zum ST zeigte, erscheint er weniger praktikabel, da genaue Vorkenntnisse erforderlich sind.

Basierend auf den Erfahrungen aus früheren Untersuchungen im Radfahren und Laufen, wählten wir eine kurze Pause zwischen beiden Segmenten (5 min) und strebten eine ähnliche Dauer unterhalb der anaeroben Schwelle ($\sim 8 \text{ min}$) an (Wahl et al., 2017, 2018), indem wir

2-Minuten-Stufen verwendeten, um eine Unterschätzung des MLSS zu vermeiden. Darüber hinaus wurden feste Stufendauern in Kombination mit feineren Inkrementen ($0,03$ statt $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) im Vergleich zu früheren Studien im Schwimmen (Kalva-Filho et al., 2015; Ribeiro et al., 2003) verwendet. Das LM war in hohem Maße konsistent mit dem MLSS und der $v_{30\text{min}}$, wenn auch mit größeren Grenzen der Übereinstimmung ($0,003 \pm 0,064 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und $-0,000 \pm 0,055 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) im Vergleich zu den anderen Schwellenkonzepten. Verglichen mit der einzigen vorhergehenden Studie, die die absolute Übereinstimmung zwischen LM und MLSS im Schwimmen dargestellt hat (d. h. $0,033 \pm 0,124 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Ribeiro et al., 2003)), scheint unser Protokoll design dennoch eine Halbierung der beobachteten Abweichung zu ermöglichen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass ST, LMT und RLT-Test nicht in randomisierter Reihenfolge durchgeführt wurden, da Vorversuche gezeigt hatten, dass detailliertes Vorwissen (z. B. aus dem ST) notwendig war, um valide Ergebnisse im LMT und RLT-Test zu erzielen. Dennoch konnte bei sechs Teilnehmenden kein gültiger RLT ermittelt werden, was die Schwierigkeit dieses Testdesigns im Schwimmen verdeutlicht. Außerdem wählten wir im Gegensatz zum ST- und RLT-Test für den LMT eine Stufendauer von 2 statt 3 min, nachdem Pilotversuche mit 3-minütigen Stufen auf eine Unterschätzung des MLSS hingedeutet hatten, was den Einfluss der Stufendauer auf die Schwellenbestimmung unterstreicht. Da die Stufendauer jedoch immer zusammen mit dem Inkrement pro Stufe betrachtet werden sollte (Wahl et al., 2018), erscheinen die 2-minütigen Stufen für ein Inkrement von $0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ während des LMT dennoch angemessen, insbesondere im Vergleich zu früheren Studien, die Inkremente von $\geq 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bei einer Stufendauer von < 3 min (d. h. 200-m-Stufen) verwendet haben (Kalva-Filho et al., 2015; Ribeiro et al., 2003).

5 Fazit

Testprotokolle mit einer fixen Stufendauer und feinen Abstufungen erlauben eine höhere Genauigkeit bei der MLSS- und $v_{30\text{min}}$ -Bestimmung im Vergleich zu früheren Studien mit festen Stufendistanzen und grober Auflösung bei Schwimmerinnen und Schwimmern unterschiedlichen Niveaus und Alters. Da LMT- und RLT-Testprotokolle keine höhere Genauigkeit als STs lieferten, scheinen Letztere praktikabler zu sein, da wenig Vorwissen erforderlich ist. Somit erfüllt das vorgestellte ST-Protokoll die Anforderungen, um die engen Intensitätsbereiche im Schwimmen fein aufzulösen und Trainingsintensitäten individualisiert vorzugeben.

6 Literatur

- Chaverri, D., Schuller, T., Iglesias, X., Hoffmann, U., & Rodríguez, F. A. (2016). A New Model for Estimating Peak Oxygen Uptake Based on Postexercise Measurements in Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(4), 419-424.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0227>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). L. Erlbaum Associates.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Marchand, F. H., & Pelayo, P. (2005). Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 53-58.
<https://doi.org/10.1055/s-2004-817854>
- Dotan, R. (2012). Reverse lactate threshold: A novel single-session approach to reliable high-resolution estimation of the anaerobic threshold. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 141-151.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.7.2.141>

- Espada, M. C., Alves, F. B., Curto, D., Ferreira, C. C., Santos, F. J., Pessôa-Filho, D. M., & Reis, J. F. (2021). Can an Incremental Step Test Be Used for Maximal Lactate Steady State Determination in Swimming? Clues for Practice. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 477. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020477>
- Espada, M. C., Reis, J. F., Almeida, T. F., Bruno, P. M., Vleck, V. E., & Alves, F. B. (2015). Ventilatory and physiological responses in swimmers below and above their maximal lactate steady state. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2836-2843. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000504>
- Faude, O., Meyer, T., Scharhag, J., Weins, F., Urhausen, A., & Kindermann, W. (2008). Volume vs. intensity in the training of competitive swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(11), 906-912. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1038377>
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32(12), 940-946. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1283189>
- Greco, C. C., De Oliveira, M. F. M., Caputo, F., Denadai, B. S., & Dekerle, J. (2013). How narrow is the spectrum of submaximal speeds in swimming? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1450-1454. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318265a6ce>
- Hopkins, W. (2002). *A Scale of Magnitudes for Effect Statistics*. <https://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>
- Ioannis, S., Nikitakis, I. S., & Toubekis, A. G. (2021). Lactate Threshold Evaluation in Swimmers: The Importance of Age and Method [published online ahead of print]. *International Journal of Sports Medicine*, 42(09), 818-824. <https://doi.org/10.1055/a-1342-7446>
- Jamnick, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B., & Bishop, D. J. (2020). An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. *Sports Medicine*, 50(10), 1729-1756. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01322-8>
- Jones, A. M., Burnley, M., Black, M. I., Poole, D. C., & Vanhatalo, A. (2019). The maximal metabolic steady state: redefining the 'gold standard'. *Physiological Reports*, 7(10), 1-16. <https://doi.org/10.14814/phy2.14098>
- Kalva-Filho, C. A., Zagatto, A. M., Araújo, M. I. C., Santiago, P. R. P., Da Silva, A. S. R., Gobatto, C. A., & Papoti, M. (2015). Relationship between aerobic and anaerobic parameters from 3-minute all-out tethered swimming and 400-m maximal front crawl effort. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 238-245. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000592>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Pelarigo, J. G., Greco, C. C., Denadai, B. S., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., & Pendergast, D. R. (2016). Do 5 % changes around maximal lactate steady state lead to swimming biophysical modifications? *Human Movement Science*, 49, 258-266. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.07.009>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Ribeiro, L., Balikian, P., Malachias, P., & Baldissera, V. (2003). Stage length, spline function and lactate minimum swimming speed. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(3), 312-318.
- Toubekis, A. G., Tsami, A. P., & Tokmakidis, S. P. (2006). Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 117-123. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837487>
- Wahl, P., Manunzio, C., Vogt, F., Strütt, S., Volmary, P., Bloch, W., & Mester, J. (2017).

- Accuracy of a modified lactate minimum test and reverse lactate threshold test to determine maximal lactate steady state. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12), 3489-3496. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001770>
- Wahl, P., Manunzio, C., Zwingmann, L., van de Weyer, S., & Bloch, W. (2021). Reverse lactate threshold test accurately predicts maximal lactate steady state and 5 km performance in running. *Biology of Sport*, 38(2), 285-290. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2021.99326>
- Wahl, P., Zwingmann, L., Manunzio, C., Wolf, J., & Bloch, W. (2018). Higher Accuracy of the Lactate Minimum Test Compared to Established Threshold Concepts to Determine Maximal Lactate Steady State in Running. *International Journal of Sports Medicine*, 39(7), 541-548. <https://doi.org/10.1055/s-0044-102131>
- Zinner, C., Krueger, M., Wahl, P., Sperlich, B., & Mester, J. (2011). Comparison of three different step test protocols in elite swimming. *Journal of Exercise Physiology Online*, 14(1), 43-48.
- Zwingmann, L., Strütt, S., Martin, A., Volmary, P., Bloch, W., & Wahl, P. (2019). Modifications of the Dmax method in comparison to the maximal lactate steady state in young male athletes. *Physician and Sportsmedicine*, 47(2), 174-181. <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1546103>

Spielanalyse im Eishockey (Deutschland-Cup 2019)

(AZ 070510/20)

Andreas Hohmann (Projektleitung), Markus Hörburger, Mats Schwartje & Stefan Hochstein
Universität Bayreuth, Institut für Sportwissenschaft

1 Problem

Der Torschuss stellt in den großen Sportspielen (insbesondere in Invasionspielen) die wichtigste Spielaktion dar. Im Eishockey sind zumindest die sportartspezifischen Modelltechniken der im Wettkampfspiel dominierenden Torschüsse unter isolierten Trainingsbedingungen oder in der Laborsituation weitgehend bekannt. Obwohl das Torschussergebnis eine Folge der individuellen Qualität des technischen Ablaufs des Torschusses jedes Spielers bzw. jeder Spielerin ist, ist es letztlich überwiegend als das Endergebnis einer mannschaftlichen Situationsvorbereitung zu verstehen. Vor diesem Hintergrund ist das Torschussverhalten nicht nur aus einer individuell-technischen, sondern auch aus einer taktischen Perspektive auf kollektiver Ebene zu betrachten.

2 Methode

Die Positionen der Spielenden und des Pucks wurden von Videokameras und Hochgeschwindigkeitskameras, die unter der Decke positioniert waren, aufgezeichnet (Abb. 1). Nach der Kalibrierung (2D, direkte lineare Transformation) wurden die getrackten Daten in Positionsdaten umgewandelt. Alle weiteren Berechnungen (z. B. Schussgeschwindigkeit, Voronoi-Zellen, Markov-Ketten, etc.) wurden in MATLAB 2016b berechnet.

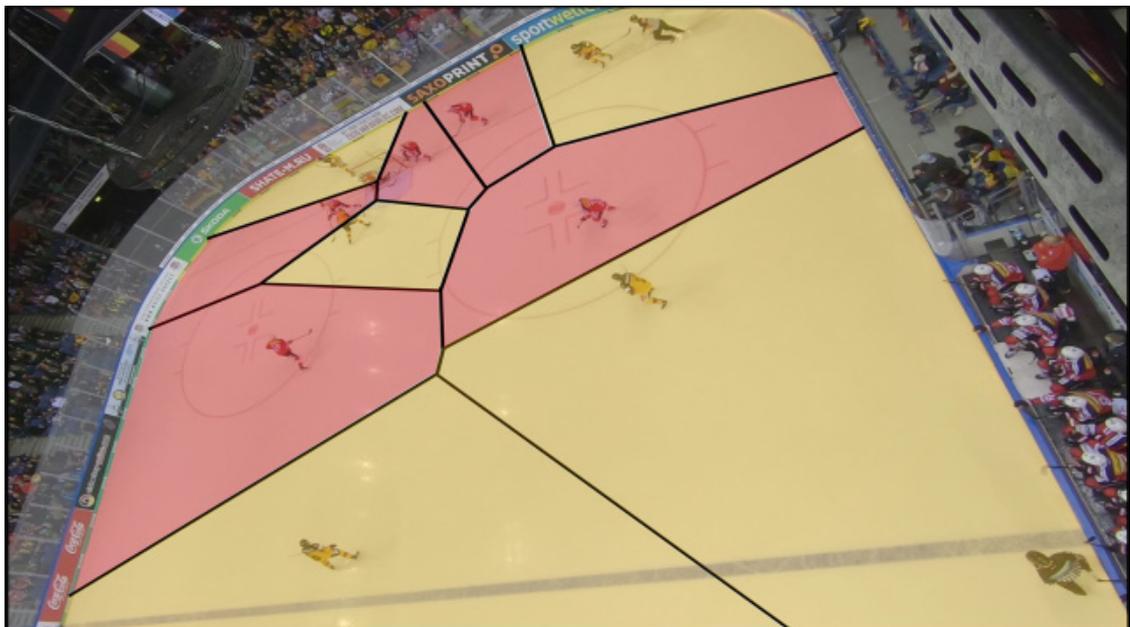


Abb. 1: Kinemetrise Positionsbestimmung und Auswertung der Voronoi-Zellen im Eishockey beim Deutschland Cup 2018

3 Ergebnisse

Unter dem *individualtaktischen* Aspekt des Torschussverhaltens interessiert vor allem die (i) **Torschuss effektivität**, also der Vergleich der beiden Schussresultate Treffer versus Fehlschuss (Abb. 2), wobei die die Wahrscheinlichkeit der Torschussabgabe in der Gleichzahlsituation mit durchschnittlich 6,3 % am höchsten ist.

Die (ii) **Torschusstechnik** des Schlenzers wird am häufigsten verwendet, wenngleich unter den vermehrt eingesetzten Schusstechniken der Rückhandschuss mit 14,8 % Treffern bei 27 Versuchen vergleichsweise effektiver erscheint (Abb. 3). Zugleich sinkt die Chance ein Tor zu erzielen, je größer die (iii) **Torschussdistanz** ist. 60,6 % (N = 20) aller Tore fielen innerhalb einer Distanz von weniger als fünf Metern und bele-

gen damit eine sehr hohe Effektivität, denn der Anteil der insgesamt 105 aus dieser Nahdistanz abgegebenen Torschüsse betrug lediglich 18,2 % an der Gesamtzahl aller Torschüsse. Der Schlagschuss war diejenige Torschusstechnik, die sowohl bei Torerfolg (M = 8,68 m) als auch bei Fehlschüssen (M = 13,09 m, SD = 5,14) aus der größten Entfernung zum Tor abgegeben wurde. Die höchste (iv) **Torschussgeschwindigkeit** weist mit durchschnittlich etwa 111 km/h der Schlagschuss auf, der damit ca. 25 % schneller ist als die weiteren Techniken. Dabei unterscheiden sich die Torschussgeschwindigkeiten zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Torabschlüssen nur geringfügig. Der Snapshot und der Schlenzer erzielen über alle Schüsse hinweg mit im Mittel etwa 90 km/h ähnliche Geschwindigkeiten.

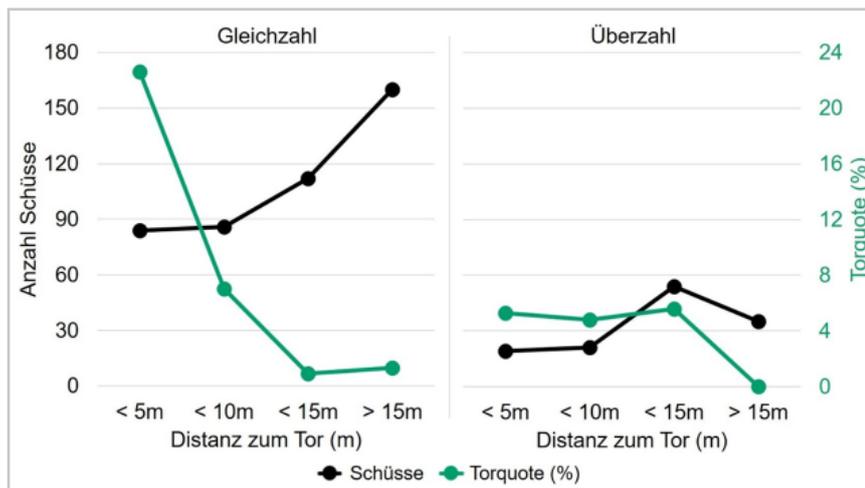


Abb. 2: Torschuss effektivität in den Spielsituationen Gleichzahl (5-gegen-5-Format) und Überzahl (5-gegen-4-Format).

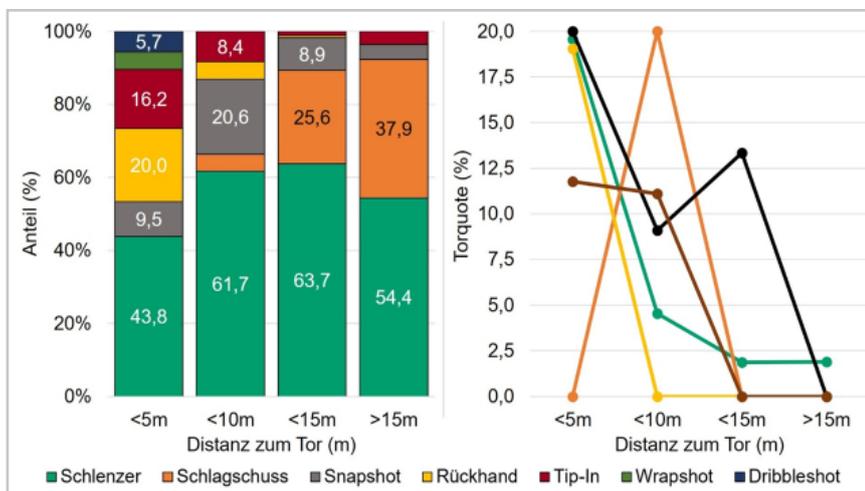


Abb. 3: Anteil und Torquote der Torschusstechniken in Abhängigkeit von der Torschussdistanz

Bei den (v) **Trefferzonen** dominieren die hohen Schüsse unterhalb der Torlatte (Abb. 4).

schüssen kaum. Bei erfolgreichen Torschussversuchen war die Zuspieldistanz zum Schützen

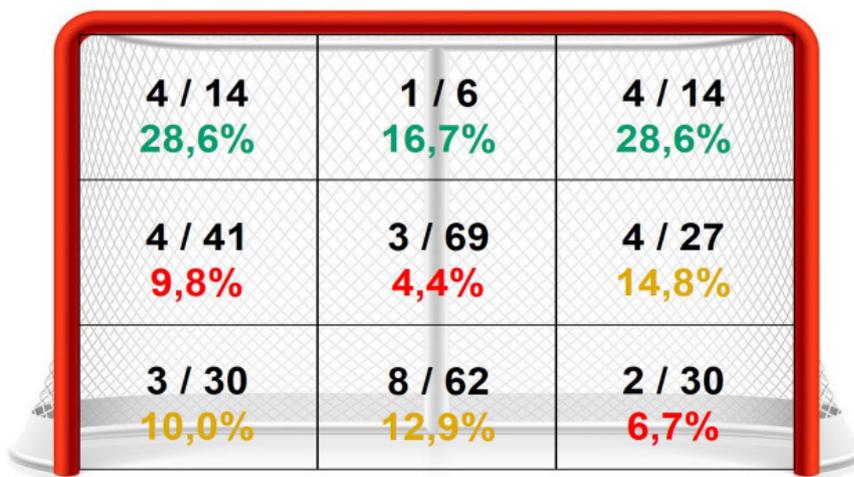


Abb. 4: Trefferquoten nach Torzonen

Unter dem *teil-kollektiven* Aspekt des Zusammenspiels zwischen dem Passgeber und dem Torschützen unterschied sich bei den 187 Torschussversuchen nach vorherigem Assist die (vi) **Zuspieldauer** signifikant ($p < 0,05$) zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Schüssen. Bei erfolgreichen Torschüssen betrug die Zuspieldauer im Mittel $M = 0,59$ s ($SD = 0,22$) und war damit um fast ein Drittel kürzer als bei Fehlschüssen (Abb. 5). Die Ergebnisse bei der (vii) **Zuspieldistanz** sind ähnlich zu denen der Zuspieldauer.

in Gleichzahl ($M = 8,88$ m, $SD = 4,43$) um fast 25% geringer als bei Fehlschüssen ($M = 11,63$ m, $SD = 5,72$), in Unterzahl war der Unterschied mit fast 40 % noch größer. Gleichzeitig wurde durch den Assistpass die Distanz des Pucks zur Tormitte bei Passabgabe (T2) hin zum Zeitpunkt der Torschussabgabe (T4) deutlich verkürzt. Im Nationenvergleich waren diese Raumgewinne durch den Assistpass zwischen Torerfolg und Misserfolg bei Deutschland und der Schweiz signifikant. Hinzu kommt, dass die (viii) **Zuspielgeschwindigkeit** des Pucks bei erfolgreichen Torschüssen des Nationalteams der Schweiz mit $M = 22,44$ m/s ($SD = 3,34$) annähernd doppelt so hoch war wie beim Schlusslicht dieser Kategorie Slowakei ($M = 11,18$ m/s, $SD = 2,49$).

Die überbrückte Distanz durch den Assistpass unterscheidet sich zwischen der Gleichzahl und der Über- oder Unterzahlssituation bei Fehl-

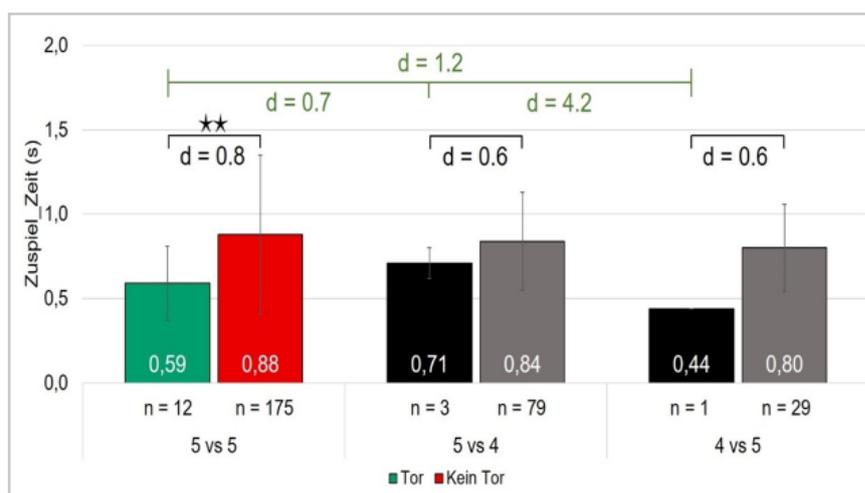


Abb. 5: Zuspieldauer in den drei Spielsituationen

Unter *kollektiv-taktischem* Aspekt hat die Analyse des Abstandes zwischen den (ix) **Gruppen-centroiden** (Flächenschwerpunkte der angreifenden und verteidigenden Mannschaft), der ganz überwiegend zwischen 2-5 m variiert, keine Erkenntnisse erbracht, die eine etwaige Leistungsrelevanz dieses Parameters belegen könnten.

Vergleicht man jedoch die mannschaftstaktische (x) **Raumbeherrschung** im Angriffs- bzw. Verteidigungsdrittel bei erfolgreichen Torschüssen mit jener bei nicht erfolgreichen Versuchen über den Turnierverlauf hinweg, konnten in diesem Spielfeldbereich die Teams in allen drei Spielsituationen Gleichzahl, Über- und Unterzahl mehr Raumkontrolle bei Torerfolg aufweisen (vgl. Abb. 6). Dabei wurde in Gleichzahl bei Treffern ($M = 59,3$ %, $SD = 12,6$) signifikant ($p < 0,05$) mehr Spielfeldfläche kontrolliert als bei Fehlschüssen. Erwartungsgemäß wurde die größte Raumbeherrschung in Überzahl erzielt, gefolgt von den Situationen Gleichzahl und Unterzahl. Über den Turnierverlauf hinweg stieg zudem in der Gleichzahlsituation (5-gegen-5-Format) die Erfolgswahrscheinlichkeit eines Torschusses, je größer die Raumbeherrschung war (Abb. 7). Nationenunterschiede sind vor allem bei den erfolgreichen Torabschlüssen zu beobachten. So konnte die russische Mannschaft sowohl bei Treffern ($M = 66,8$ %, $SD = 11,0$) als auch bei Fehlschüssen ($M = 53,4$ %, $SD = 12,3$) die größte Fläche kontrollieren.

Werden die Torschüsse näher betrachtet, die mit Hilfe eines Zuspiels abgegeben wurden, lässt sich beobachten, dass in Gleich- und Unterzahl die Raumbeherrschung bei Schüssen nach einem Assistpass größer ist als bei Torschüssen nach individueller Vorbereitung, z. B. nach einem Dribbling oder Zweikampf. In allen drei Spielsituationen wurde die Raumbeherrschung mit dem letzten Pass vergrößert – bei Torerfolg ebenso wie bei Fehlschüssen –, allerdings in Gleichzahl der Raumgewinn bei Torerfolg um 6,0 % höher als bei Fehlschüssen. In Bezug auf den Nationenvergleich erreichten durchweg alle Teams in ihren Angriffen durch einen Assistpass mehr Feldkontrolle als die gegnerische Verteidigung. Dabei verfügte das deutsche Team bei eigenen Treffern zum Zeitpunkt der Torschussabgabe über durchschnittlich $M = 50,7$ % ($SD = 7,7$) Raumkontrolle im Angriffsdrittel. Weiterhin stimmen alle vier Nationen in dem Trend überein, ihre Raumkontrolle vom Zeitpunkt der Abgabe des Zuspiels bis zum Zeitpunkt der Torschussabgabe durch den gespielten Assistpass zu vergrößern. Analog dazu ist festzustellen, dass alle vier Nationen bei Gegentreffern ebenso wie bei Fehlschüssen der gegnerischen Angreifer durch deren letzten Pass an Raumkontrolle im Verteidigungsdrittel verlieren. Lediglich das russische Team ist das einzige, das im Moment des gegnerischen Torschusses auch im Falle eines Gegentors noch immer nahezu die Hälfte des Spielfeldmittels beherrschte. Die anderen Nationen konnten im Vergleich hierzu in diesem Moment nur noch knapp ein Drittel des Feldes kontrollieren.

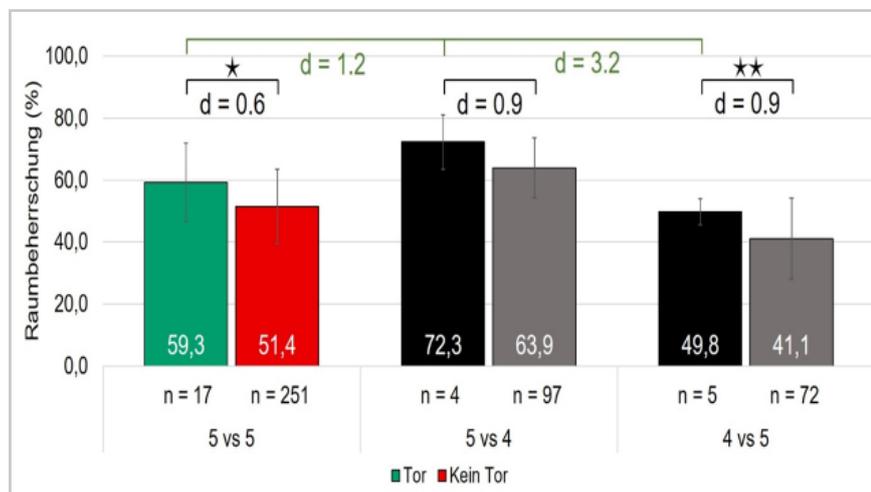


Abb. 6: Raumbeherrschung der Angreifer in den drei Spielsituationen

Von *mannschaftstaktischer* Bedeutung ist neben der Raumkontrolle auch die (xi) **Leistungsrelevanz von Spielhandlungen**. Insgesamt führten die Nationenteams im Rahmen der Partien mit deutscher Beteiligung des Deutschland Cups 2019 führt in der Spielsituation Gleichzahl (5-gegen-5-Format) insgesamt 5.893 offensive Spielhandlungen in 1.153 Spielzügen aus. Aus leistungsdiagnostischer Sicht ergaben sich daraus $N = 1.153$ Puckstaffetten, die mit Hilfe des mathematischen Modells der Markov-Kette (hierzu ausf. Lames, 1994) nachfolgend analysiert und simuliert werden konnten. Darunter befinden sich $N = 119$, die mit dem untersuchten Leistungsmerkmal Torschuss abgeschlossen worden sind. Insgesamt ergibt sich über alle Spielzüge hinweg eine durchschnittliche Torschusswahrscheinlichkeit von 10,35 % (siehe Tab. 1)¹. Die maximale Anzahl von Torschüssen

erreichte die Schweizer Eishockey-Mannschaft mit 25 Torabschlüssen in einem Spiel. Die häufigste offensive Spielhandlung war der Pass mit 2.142 Aktionen. Hierbei lag die durchschnittliche Fehlpasswahrscheinlichkeit bei 22,41 %. Den höchsten Wert in einem Spiel wies die Schweizer Nationalmannschaft mit 28,29 % auf. Bei den Puckverlusten wurden im Mittel $M = 152$ Puckverluste verzeichnet. Die durchschnittliche Fehlerwahrscheinlichkeit der Spielzüge betrug damit knapp 78,86 %. In den beobachteten Spielen endete etwas weniger als jeder zehnte Spielzug mit einem Bully.

Bei der nachfolgenden Überprüfung der Leistungsrelevanz der Spielhandlungen ist zu beachten, dass bei der Fehlerwahrscheinlichkeit im Gegensatz zur Torschusswahrscheinlichkeit eine Verringerung erstrebenswert ist. Folglich wird bei einer Verringerung der Fehlerquote von einem positiven Einfluss gesprochen.

Im Falle einer Erhöhung der **Passanzahl** wäre das Ergebnis eine nicht signifikante ($p < 0,05$) geringfügige *Verbesserung der Torschusswahrscheinlichkeit* um durchschnittlich $M = 0,001$ Prozentpunkte gewesen (Abb. 7, S. 6). Die Fehlerwahrscheinlichkeit würde im schlechtesten Fall um 0,270 Prozentpunkte ansteigen und im besten Fall um 0,271 Prozentpunkte sinken.

1 Die absolute Torschusswahrscheinlichkeit lag zwar bei 10,32 Prozent, aber dies hängt mit der Gleichstellung der Torschusswahrscheinlichkeiten zusammen, die alle mit der gleichen Gewichtung zur Mittelwertberechnung herangezogen wurden, ohne Berücksichtigung der Anzahl der Spielaktionen. Es fehlt somit eine Gewichtung der Torschusswahrscheinlichkeiten, wodurch sich die durchschnittliche Torschusswahrscheinlichkeit von der realen unterscheidet.

Tab. 1: Deskriptive Statistiken der in den Spielen der deutschen Mannschaft beobachteten Spielhandlungen

	Max	Min	Mittelwert	Stand abw.	Median	Spannweite
Bullys gewonnen	30,0	16,0	22,3	5,7	22,0	14,0
Dribblings	214,0	122,0	177,2	32,3	183,5	92,0
Pässe	391,0	304,0	357,0	31,9	368,0	87,0
Fehlpass	86,0	74,0	80,0	4,9	78,5	12,0
tiefe Pässe	29,0	17,0	23,0	4,5	22,5	12,0
Zweikämpfe	145,0	90,0	119,0	20,2	120,5	55,0
Puckverluste	159,0	145,0	152,0	5,4	152,5	14,0
Torschüsse	25,0	15,0	19,8	4,0	19,0	10,0
Torschüsse neben das Tor	11,0	5,0	8,2	2,6	9,0	6,0
geblockte Schüsse	11,0	2,0	5,8	3,4	5,5	9,0
Paraden vom gegnerischen Torwart	24,0	13,0	17,8	4,5	17,0	11,0
Aktionen pro Spiel	1041,0	866,0	982,2	70,2	1014,5	175,0
Torschusswahrscheinlichkeit in Prozent	12,704	8,307	10,354	1,634	10,045	4,397
Fehlerwahrscheinlichkeit in Prozent	81,915	72,761	78,862	3,545	79,953	9,153
Bullywahrscheinlichkeit in Prozent	15,482	7,128	10,771	3,140	9,802	8,354

Der Einfluss auf die *Bullywahrscheinlichkeit* ist als einziger bei einer Erhöhung des Anteils signifikant ($p < 0,05$). Diese würde jedoch nur leicht um 0,029 Prozentpunkte sinken.

Der Effekt einer Erhöhung der *Dribblings* ist positiv zu bewerten. Hierbei ist anhand des Boxplots (siehe Abb. 8) zur *Torschusswahrscheinlichkeit*

zu erkennen, dass sich die Box im positiven Bereich befindet und folglich die Veränderung zu 75 % im positiven Bereich läge. Der Mittelwert läge mit $M = 0,091$ Prozentpunkten signifikant ($p < 0,05$) über dem Ausgangswert. Dem gegenüber würde die *Fehlerwahrscheinlichkeit* um durchschnittlich $M = 0,086$ Prozentpunkte

Erhöhung	Mittelwert	Max	Min	Stand. Abw.	N	Signifikanz (1-seitig)
Torschusswahrscheinlichkeit	0,001	0,219	-0,212	0,067	33	0,470
Fehlerwahrscheinlichkeit	0,006	0,270	-0,271	0,086	33	0,339
Bullywahrscheinlichkeit	-0,029	0,018	-0,237	0,058	33	0,003

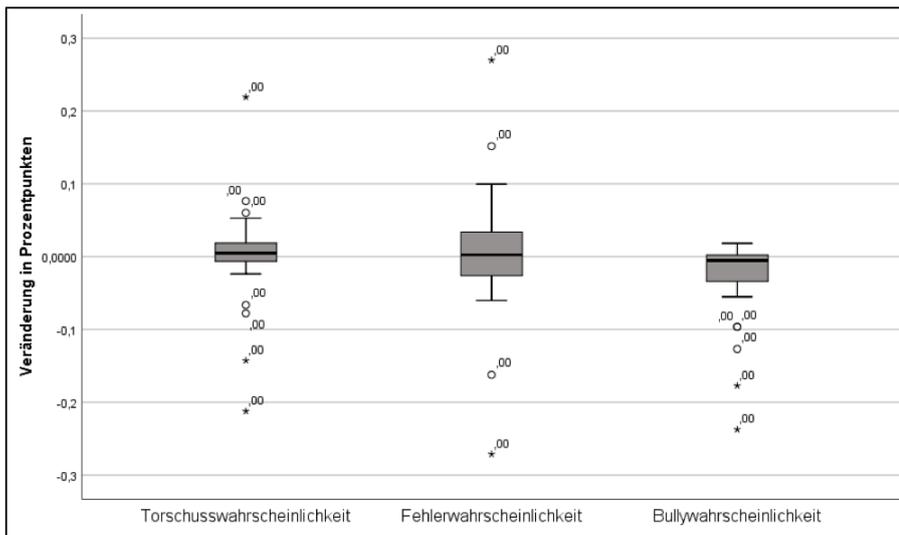


Abb. 7: Boxplotdiagramm zum Einfluss einer Erhöhung des Passanteils auf die Torschuss-, Fehler- und Bullywahrscheinlichkeit des deutschen Teams

	Mittelwert	Max	Min	Stand. Abw.	N	Signifikanz (1-seitig)
Torschusswahrscheinlichkeit	0,091	0,450	-0,001	0,123	36	0,000
Fehlerwahrscheinlichkeit	-0,086	0,004	-0,401	0,108	36	0,000
Bullywahrscheinlichkeit	-0,005	0,033	-0,109	0,024	36	0,101

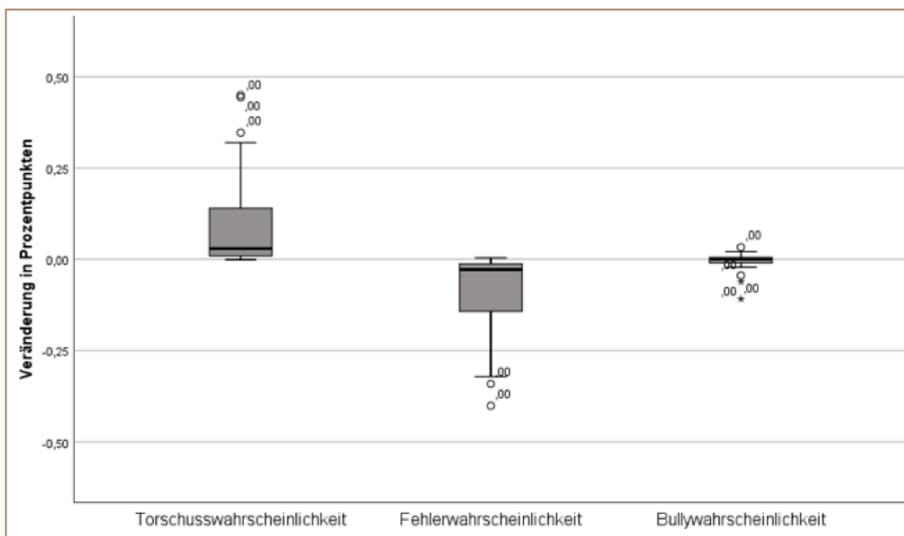


Abb. 8: Boxplotdiagramm zum Einfluss einer Erhöhung des Passanteils auf die Torschuss-, Fehler- und Bullywahrscheinlichkeit des deutschen Teams

signifikant ($p < 0,05$) absinken. Das Absinken der *Bullywahrscheinlichkeit* läge bei durchschnittlich $M = -0,005$ Prozentpunkten und ist nicht signifikant.

Eine häufigere Anwendung von **Zweikämpfen** würde zu einer signifikanten ($p < 0,05$) Verringerung der *Torschusswahrscheinlichkeit* führen (Abb. 9). Diese betrüge durchschnittlich $M = -0,108$ Prozentpunkte. Ebenfalls eine negative Wirkung von Zweikämpfen wäre bezüglich der *Fehlerwahrscheinlichkeit* zu verzeichnen ($p < 0,05$), die im Durchschnitt um $M = 0,173$ Prozentpunkte ansteigen würde. Der signifikante Effekt ($p < 0,05$) auf die *Bullywahrscheinlichkeit* wäre sehr gering und würde durchschnittlich $M = -0,060$ Prozentpunkte betragen.

Der vermehrte Einsatz von **tiefen Pässen** würde die *Torschusswahrscheinlichkeit* um durchschnittlich $M = 0,334$ Prozentpunkte absinken ($p < 0,05$). Die Wirkung auf die *Torschusswahrscheinlichkeit* war in jedem simulierten Fall negativ und führte zu einer Verringerung von bis zu maximal 0,80 Prozentpunkten (Abb. 10, S. 8). Anders als vermutet, würde die *Fehlerwahrscheinlichkeit* nicht steigen, sondern ebenfalls um durchschnittlich $M = 0,16$ Prozent signifikant ($p < 0,05$) sinken. Bei der *Bullywahrscheinlichkeit* hingegen würde die häufigere Anwendung von tiefen Pässen zu einer durchschnittlichen Erhöhung um $M = 0,49$ Prozentpunkte führen ($p < 0,05$).

Erhöhung	Mittelwert	Max	Min	Stand Abw.	N	Signifikanz (1-seitig)
Torschusswahrscheinlichkeit	-0,108	0,044	-0,463	0,118	41	0,000
Fehlerwahrscheinlichkeit	0,173	0,752	-0,102	0,185	41	0,000
Bullywahrscheinlichkeit	-0,066	0,057	-0,346	0,075	41	0,000

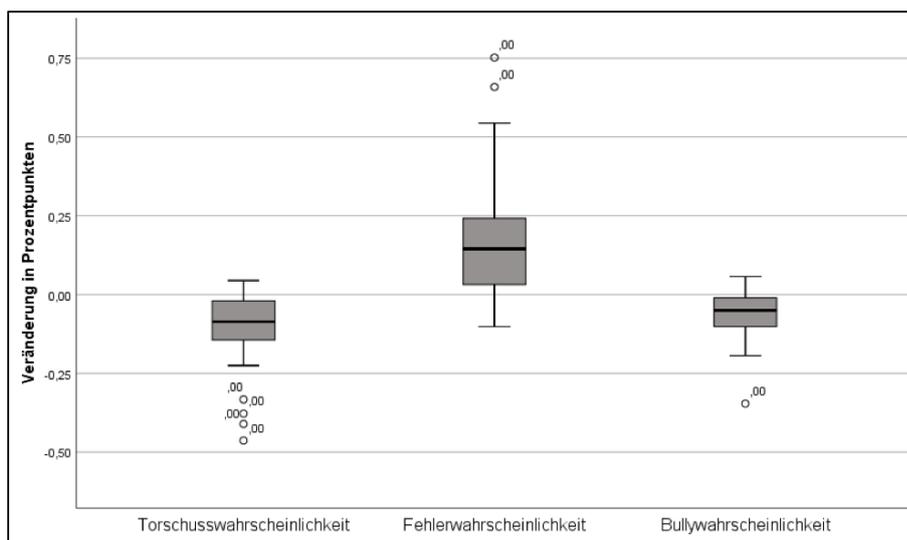


Abb. 9: Boxplotdiagramm zum Einfluss einer Erhöhung des Zweikampfanteils auf die Torschuss-, Fehler- und Bullywahrscheinlichkeit des deutschen Teams

Erhöhung	Mittelwert	Max	Min	Stand Abw.	N	Signifikanz (1-seitig)
Torschusswahrscheinlichkeit	-0,334	-0,036	-0,800	0,216	29	0,000
Fehlerwahrscheinlichkeit	-0,160	0,064	-0,822	0,191	29	0,000
Bullywahrscheinlichkeit	0,493	1,538	-0,028	0,352	29	0,000

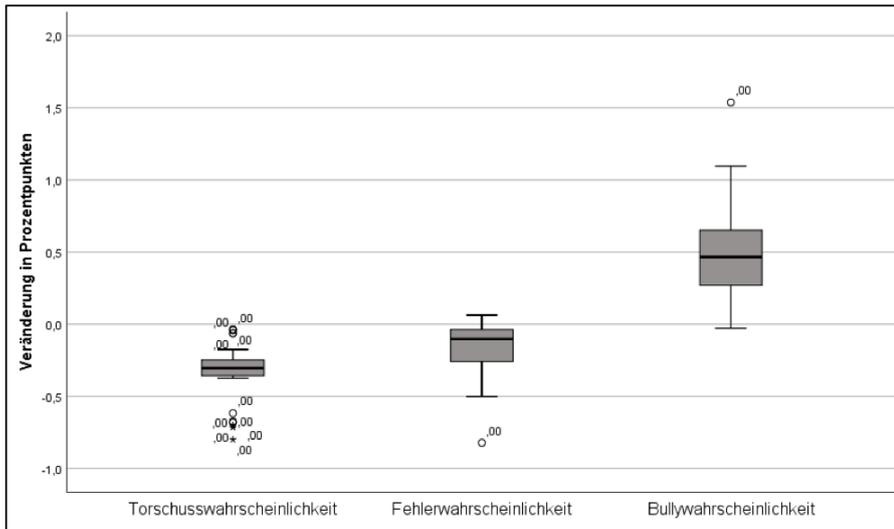


Abb. 10: Boxplotdiagramm zum Einfluss einer Erhöhung der Anzahl tiefer Pässe auf die Torschuss-, Fehler- und Bullywahrscheinlichkeit des deutschen Teams

4 Praxisempfehlungen

- › Der Puck sollte beim Assist-Pass so schnell wie möglich gespielt werden und den Schützen mit Raumgewinn erreichen.
- › Nach einer Aktion sollte die Mannschaft bestrebt sein, den Puck zu führen und ein Dribbling zu starten, da so die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers reduziert werden kann und die Mannschaft in Puckbesitz bleibt.
- › Der Puck sollte jedoch erst geführt werden, wenn es zu einer Eins-gegen-Eins-Situation kommt, da in diesem Zusammenhang die Fehlerquote steigt und die Wahrscheinlichkeit eines Torerfolgs sinkt.
- › Tiefe Pässe beeinflussen die Torerfolgswahrscheinlichkeit negativ und sollten vermieden werden – ohne ihre Verwendung als taktische Komponente auszuschließen.
- › Der Zielspieler sollte in eine Situation gebracht werden, in der er direkt (oder nach nur einem weiteren Kontakt) auf das Tor schießen kann.
- › Nach einem gewonnenen Bully soll mit einer Kombination aus Pässen und Dribblings das gegnerische Drittel mit möglichst wenig Kontakt attackiert werden. Schließlich gilt es, einen Assist zu spielen und möglichst direkt aufs Tor zu schießen. Tiefe Pässe und Tacklings sollten nach Möglichkeit vermieden werden.

5 Literatur

Lames, M. (1994). *Systematische Spielbeobachtung*. Philippka.

Soll-Ist Bestimmung der Intensitätsverteilung spezifischer Trainingsinhalte im Kanurennsport

(AZ 070704/19-20)

Manuel Matzka¹, Philipp Kunz¹, Billy Sperlich¹ (Projektleitung), Christoph Zinner²

¹Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Arbeitsbereich Integrierte und Experimentelle Trainingswissenschaft

²Hessische Hochschule für Polizei und Verwaltung, Abteilung für Sport, Wiesbaden

1 Problem

Im olympischen Kanurennsport (Kajak Einer) variieren die Belastungszeiten je nach Geschlecht von ca. 35-40 Sekunden (200 m), 1:35-1:50 min (500 m) bis zu 3:30-3:50 min (1000 m).

Zur Steuerung des Ausdauertrainings bzw. zur Verbesserung aerober und anaerober Stoffwechselprozesse werden Trainingsvorgaben anhand von Trainingszonen basierend auf Diagnostikenngrößen wie beispielsweise ventilatorisch- (Wassermann & McIlroy, 1964; Beaver, Wassermann & Whipp, 1986), laktat- (Sjodin & Jacobs, 1981; Urhausen et al., 1993; Mader & Heck, 1986; Stegmann, Kindermann & Schnabel, 1981; Kindermann, Simon & Keul, 1979; Davis et al., 1976; Coyle et al., 1982) und herzfrequenzbasierten (Conconi et al., 1982) Schwellenwerten ermittelt. Die Einteilung der Intensitätszonen in einem Drei-Zonen-Modell ist ausgerichtet an verschiedenen physiologischen und psychologischen Kenngrößen (Dekerle, Vanhatalo & Burnley, 2008; Stoggl & Sperlich, 2015; Stoggl & Sperlich, 2014).

In der Praxis ist eine Einteilung nach nur 3 Zonen oftmals nicht fein genug. Je nach Sportart und Verband werden bis zu neun Intensitäts- und Trainingszonen mit unterschiedlicher Denomination unterschieden (Orie et al. 2014; Seiler & Kjelleran, 2006; Fiskerstrand & Seiler, 2004).

Ein Vergleich mit den Trainingszonen für Ausdauersportler nach Seiler (2010) macht deutlich, dass die durch den Deutschen Kanu-Verband (DKV) angestrebte Intensitätsverteilung deutlich intensiver ausgelegt ist.

Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Intensitätszonen von Seiler (2010) grundlegend für Ausdauersportarten mit hohem Belastungsanteil der Beinmuskulatur ausgelegt sind. Im Kanurennsport hingegen wird ein Großteil der Vortriebsarbeit mit der Oberkörpermuskulatur geleistet.

Durch den höheren Anteil glykolytisch arbeitender Typ-2 Muskelfasern unterscheiden sich die physiologischen Reaktionen zwischen Ober- und Unterkörperarbeit voneinander, so dass die klassischen Intensitätseinteilungen von „Unterkörpersportarten“ schwer oder gar nicht im Kanurennsport nutzbar sind. Auch die physiologischen Anpassungen an ein Training von Oberkörper und Unterkörper sind unterschiedlich (Zinner et al., 2016), was zu deutlich unterschiedlichen Modellen in der Periodisierung des Trainings führt.

Traditionell wendet der DKV zur regelmäßigen Kontrolle der aeroben Leistungsentwicklung einen Laktat-Stufentest auf dem Freiwasser sowie unter Laborbedingungen in einer Gegenstromanlage an. Die in der Standarddiagnostik des DKV bislang nicht eingesetzte Messung von Atemgasen wird seit vielen Jahren als Goldstandard für die Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit sowie zur Festlegung von Trainingszonen eingesetzt.

Auch wenn bis dato nur wenige Studien vorhanden sind, so konnten wir bereits im Rahmen von einem im Jahr 2018 vorangegangenen Service-Forschungsprojekt¹ zeigen, dass deutlich höhere Korrelationen zwischen der Wettkampfleistung und der $VO_2\text{max}$ bei hoch-trainierten Kanuten bzw. Kanutinnen vorliegen als mit verschiedenen anderen leistungsdiagnostischen Parametern.

Daraus ergibt sich die Fragestellung, inwiefern eine Trainingszoneneinteilung auf Grundlage atemgasbasierter Bezugspunkte (z. B. ventilatorischer Schwelle 1 und 2) gegebenenfalls eine genauere Methode zur Trainingssteuerung darstellt als auf Grundlage von Laktatschwellen. Diese Herangehensweise hat sich u. a. S auch schon in Trainingsinterventionsstudien mit Elite-Kanuten als praktikabel und erfolgreich erwiesen (Garcia-Pallares et al., 2010; Garcia-Pallares et al. 2009; Kahl, 2005).

Ziel des vorliegenden Projekts war es zu überprüfen, ob

- die retrospektive Analyse der Trainingsanteile in verschiedenen Trainingszonen und spezifischen Trainingsumfängen sich mit dem in Trainerkreisen vorgegebenen Trainingskennziffern in unterschiedlichen Saisonabschnitten deckt (Soll-Ist-Vergleich).
- die retrospektive Quantifizierung der spezifischen individuellen Trainingsumfänge nach Trainingszoneneinteilung mittels ventilatorischer vs. laktat-basierter Bezugspunkte von Hochleistungskanuten zur Beantwortung der Frage welche der beiden Trainingssteuerungsmethoden im Soll-Ist-Vergleich für den Kanurennsport besser geeignet ist.

2 Methodik

Acht Sportlerinnen (16.3 ± 1.7 Jahre, 65.5 ± 6.5 kg, 171 ± 4 cm) und sechs Sportler (17.5 ± 2.3 Jahre, 78.4 ± 6.2 kg; 182 ± 6 cm) aus den Kadern des DKV (NK2, NK1) und Landes-Kanu-Verbandes NRW (LK+) nahmen an der Studie teil.

Die Untersuchung begann in der Vorbereitungsperiode der Kanuten Ende November/Anfang Dezember 2019 und endete August/September 2020 mit den Deutschen Meisterschaften. Der Beobachtungszeitraum wurde in drei Perioden (Vorbereitungsperiode 1, Vorbereitungsperiode 2, Unmittelbare Wettkampfvorbereitung [UWV]) unterteilt, die u. a. auch durch den pandemiebedingten Lockdown bestimmt wurden (Zinner et al., 2020). Zu Beginn und am Ende jeder Phase führten die Versuchspersonen eine leistungsdiagnostische Untersuchung durch.

Die Leistungsdiagnostik umfasste einen Stufentest (nähere Details s. Matzka et al., 2021), wie er aktuell vom Bundesleistungszentrum Essen/Duisburg im Rahmen seiner Leistungsdiagnostik der Kadersportler bzw. -sportlerinnen durchgeführt wird. Als zusätzliche Messung wurde hierbei eine Atemgasanalyse durchgeführt. Ziel der Tests war die Ermittlung von laktatbasierter (Laktat-Zonen) sowie ventilatorischer (VO_2 -Zonen) Bezugspunkte zur Definition der Trainingszonen in Anlehnung an Seiler (2010), Garcia-Pallares (2010) und Kahl (2005).

Im Zeitraum zwischen den Leistungsdiagnostiken fand durchgehend eine Trainingsmittelanalyse der spezifischen Trainingsinhalte statt. Die Trainingsmittelanalyse wurde mit Hilfe von GPS-/HF-Uhren (Polar M430) durchgeführt, sodass sowohl die Belastungsherzfrequenz sowie die zurückgelegten Kilometer jeder Trainingseinheit aufgezeichnet wurden. Mit Hilfe der ermittelten HF- und GPS-Daten wurde die Intensitätsverteilung jedes Trainings nach dem 5-Zonen-Modell nach Seiler et al. (2010) für die Laktat-Zonen als auch die VO_2 -Zonen ausgewertet. Um eine Vergleichbarkeit, der mittels GPS-Uhren erfassten, spezifischen Trainingseinheiten mit den von den Sportlerinnen und Sportlern in der online Datenbank für Trainingsdokumentation vom IAT protokollierten Trainingseinheiten zu gewährleisten, wurden die protokollierten Daten als Grundlage mit den

1 Differenzierte Analyse verschiedener leistungsdiagnostischer Untersuchungsmethoden zur Optimierung der Trainingsanalyse und -steuerung im Kanurennsport. BISP gefördertes Projekt ZMVI4-072012/18

Uhrendaten tageweise abgeglichen. Protokollierte Trainingseinheiten, die in den Uhrendaten nicht vorhanden waren, wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Grundsätzlich wurden je untersuchter Trainingsperiode ausschließlich die Daten derjenigen Sportlerinnen und Sportler in die Auswertung mit einbezogen, bei denen die mittels GPS-Uhren gemessenen Trainingskilometer mindestens 75 % der von den jeweiligen Personen protokollierten Trainingskilometer entsprachen. In Abhängigkeit von der Trainingsperiode konnten aufgrund von Krankheit, Verletzungen oder Quarantäne lediglich Daten von 10 (VP1), 7 (VP2) und 8 (UWV) Teilnehmenden in die Auswertung mit einbezogen werden.

3 Ergebnisse

Der Vergleich der protokollierten Trainingskilometer der Sportlerinnen und Sportler im IAT-Portal (611 km) mit den durch die GPS-Uhren gemessenen Trainingskilometern (582 km) ergab keinen signifikanten Unterschied ($p = 0.21$).

3.1 Vergleich IAT-Protokollierung und Zonen nach Laktat

Sowohl für VP2 und UWV als auch für den Vergleich im gesamten Beobachtungszeitraum unterschieden sich die Distanzen in den Zonen 3 bis 5, mit jeweils höheren Anteilen je Zone laut der IAT-Protokollierung, signifikant voneinander (alle $p \leq 0.012$). In VP1 unterschieden sich lediglich Zone 3 ($p < 0.001$) signifikant zwischen IAT-Protokollierung und GPS-Messung. Im gesamten Beobachtungszeitraum trainierten die Sportlerinnen und Sportler nach Laktat-Zonenbestimmung ca. 16 % der Gesamttrainingskilometer in den Zonen 3 bis 5. Bezogen auf die drei Trainingsperioden waren es 22 % (VP1), 15 % (VP2) bzw. 11 % (UWV) in den Zonen 3 bis 5. Die übrigen 78 % (VP1), 85 % (VP2), bzw. 89 % (UWV) der Trainingskilometer teilten sich laut GPS-Uhr in den Zonen 1 und 2 je Periode wie folgt auf: VP1 (Z1: 59 % / Z2: 19 %); VP2 (Z1: 67 % / Z2: 18 %); UWV (Z1: 56 % / Z2: 32 %). Im gesamten Beobachtungszeitraum entsprachen 62 % der Trainingskilometer der Zone 1 und 22 % der Zone 2.

3.2 Vergleich IAT-Protokollierung und Zonen nach VO_2

Sowohl für VP1 und UWV als auch für den Vergleich im gesamten Beobachtungszeitraum unterschieden sich die Distanzen in den Zonen 3 bis 5 signifikant voneinander, mit jeweils höheren Anteilen je Zone laut der IAT-Protokollierung (alle $p \leq 0.005$). In VP2 unterschieden sich lediglich Zone 3 ($p < 0.001$) und Zone 4 ($p = 0.001$) signifikant zwischen IAT-Protokollierung und GPS-Messung. Im gesamten Beobachtungszeitraum trainierten die teilnehmenden Personen nach VO_2 -Zonenbestimmung ca. 19 % der Gesamttrainingskilometer in den Zonen 3 bis 5. Bezogen auf die drei Trainingsperioden waren es 19 % (VP1), 23 % (VP2) bzw. 12 % (UWV) in den Zonen 3 bis 5. Die übrigen 81 % (VP1), 77 % (VP2), bzw. 88 % (UWV) der Trainingskilometer teilten sich laut GPS-Uhr in den Zonen 1 und 2 je Periode wie folgt auf: VP1 (Z1: 32 % / Z2: 49 %); VP2 (Z1: 30 % / Z2: 47 %); UWV (Z1: 55 % / Z2: 33 %). Im gesamten Beobachtungszeitraum entsprachen 37 % der Trainingskilometer der Zone 1 und 44 % der Zone 2.

3.3 Vergleich Zonen nach Laktat und Zonen nach VO_2

In VP1 und VP2 als auch im gesamten Beobachtungszeitraum unterschieden sich die Zone 1 VP1: $p = 0.009$; VP2 + Gesamt: $p < 0.001$ und Zone 2 (alle $p < 0.001$) zwischen Laktat- und VO_2 -Zonenbestimmung. In der UWV gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zonen.

Die multiple Regressionsanalyse zeigte, dass die Trainingskilometer in den 5-Zonen nach Laktatbestimmung einen Einfluss auf die $VO_{2,max}$ ($F(5,19) = 3.272$, $p = .027$), $v@75\%VO_2$ ($F(5,19) = 3.779$, $p = .015$), $v@90\%VO_2$ ($F(5,19) = 4.293$, $p = .009$), $v@4mmol$ ($F(5,19) = 3.177$, $p = .030$) und 1500m-Leistung aufweisen ($F(5,19) = 4.165$, $p = .010$). Die Trainingskilometer in den 5-Zonen nach VO_2 hatten laut multipler Regressionsanalyse einen Einfluss auf die abhängigen Variablen $VO_{2,max}$ ($F(5,19) = 4.593$, $p = 0.006$) und $v@75\%VO_2$ ($F(5,19) = 3.113$, $p = .032$). 42.8 % der Streuung der $VO_{2,max}$ kann durch die 5-Zonen nach VO_2 erklärt werden, was nach Cohen (1992) einem starken Effekt entspricht und gleichzeitig die

höchste Korrelation unter den abhängigen Variablen darstellt.

4 Diskussion

4.1 Soll-Ist-Vergleich

Ein Mittelwertvergleich der protokollierten Trainingskilometer durch die Sportler und Sportlerinnen ergab keinen signifikanten Unterschied zu den gemessenen Trainingskilometern laut GPS-/HF-Uhr mit geringfügig mehr Kilometern bei der Sportlerprotokollierung (IAT: 611,46 km vs. Uhr: 581,77 km). Da bei der Protokollierung auf der Online-Plattform des IAT die Distanzen der Pausen bei Intervallbelastungen durch die Sportler nicht protokolliert werden, die Uhren diese jedoch mitgemessen haben, hätte grundsätzlich ein Unterschied zugunsten einer höheren Gesamtdistanz laut GPS-/HF-Uhren vorliegen müssen. Dies spricht dafür, dass die Protokollierung durch die Sportler nicht durchweg den tatsächlich in der Einzeleinheit absolvierten Trainingskilometern entspricht. Dennoch entspricht die Intensitätsverteilung laut IAT-Protokollierung (GA1: 85 %, GA2: 11 %, GA3+: 4 %) der in der Auswertung berücksichtigten Trainingseinheiten den Vorgaben des DKV (GA1: 85-90 %, GA2: 8-10 %, GA3+: 4-7 %).

Der Vergleich zwischen der Soll-Intensitätsverteilung nach IAT-Protokollierung mit der Ist-Intensitätsverteilung sowohl auf Grundlage laktat- als auch ventilatorisch basierter Bezugspunkte zeigt hochgradige Unterschiede zwischen den vom DKV formulierten Intensitätsverteilungen und den realen Intensitätsverteilungen im spezifischen Training der Kanuten auf. Bei Betrachtung des gesamten Untersuchungszeitraums von Dezember 2019 bis August 2020 spielten sich im Mittel lediglich 16 % (nach Laktat-Zonen) bzw. 19 % (nach VO_2 -Zonen) der Trainingskilometer mit einer Intensität von mindestens $>60\% HF_{max}$ in den Intensitätsbereichen ab, die der DKV in seiner Rahmentrainingskonzeption beschreibt. 85 % (Laktat-Zonen) bzw. 81 % (VO_2 -Zonen) der Trainingskilometer fanden somit in Intensitätsbereichen der Zone 1 und Zone 2 statt.

Erklären lässt sich diese große Diskrepanz vor allem durch die Unterschiede in Zone 3 zwischen IAT-Protokollierung und GPS-/HF-Uhren-Messung. So fanden laut GPS-/HF-Uhren in Bezug auf die IAT-Protokollierung für Zone 3 lediglich 11 % nach Laktat-Zonenbestimmung bzw. 13 % nach VO_2 -Zonenbestimmung der Trainingskilometer in dieser Zone statt. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass die vom DKV vermuteten physiologischen Prozesse beim Grundlagenausdauertraining (GA1) nicht zutreffen. Im Vergleich mit internationalen Literaturangaben im Kanurennsport lässt sich diese Vermutung unterstützen (Garcia-Pallares, 2010; Garcia-Pallares, 2009).

In Verbindung mit der Trainingsmittelanalyse anhand der HF-Uhren aus der aktuellen Untersuchung lässt sich daraus entsprechend schließen, dass die vom DKV benannten Blutlaktatwerte für die Trainingszone zur Ausbildung der aeroben Grundlagenausdauer (GA1) zu hoch angesetzt sind. Trotz des höheren Anteils glykolytisch arbeitender Typ-2-Muskelfasern, scheint sich also die physiologische Reaktion in Bezug auf die Blutlaktatwerte und die relative VO_2 -Ausnutzung im Grundlagenausdauertraining in der oberkörperlastigen Muskelarbeit im Kanurennsport nicht groß von der Reaktion bei Ausdauersportarten mit hohem Belastungsanteil der Beinmuskulatur zu unterscheiden.

Auch in Bezug auf die Intensitätsbereiche der Zone 4 und Zone 5 weisen die Uhrendaten signifikante Unterschiede mit der Protokollierung durch die Sportler nach DKV-Vorgaben auf. Grundsätzlich liegen hier die zurückgelegten Distanzen je Zone bei den Uhrendaten niedriger als bei der Sportlerprotokollierung. Ein möglicher Grund hierfür liegt wahrscheinlich in dem verzögerten Herzfrequenzanstieg als physiologische Antwort auf die steigende Belastungsintensität (Hogan et al., 2020), was zu einer Unterschätzung der Trainingsintensität führt.

4.2 retrospektiver Vergleich der Intensitätszonenverteilung nach ventilatorischen vs. laktatbasierten Bezugspunkte

Eine gute Ausdauerleistungsfähigkeit ist ein wichtiger Bestandteil der Leistungsstruktur für erfolgreiche Kanuten bzw. Kanutinnen. Um darzustellen, ob sich im Vergleich der Intensitätszonenverteilung nach ventilatorischen und laktatbasierten Bezugspunkten eine Variante herausstellen lässt, die als „besser“ einzustufen ist, wurde neben einem retrospektiven Vergleich der Zonen nach Laktat und nach VO_2 eine Analyse der Zusammenhänge zwischen diesen und diversen maximalen sowie submaximalen Leistungsparametern durchgeführt.

Die multiple Regressionsanalyse zeigt Korrelationen der laktatbasierten Zonenverteilung mit einer Vielzahl an Leistungsparametern (VO_2max , $v@75\% \text{VO}_2$, $v@90\% \text{VO}_2$, $v@4\text{mmol}$ und TT-1500 m) auf, wobei die Zonenverteilung nach ventilatorischen Bezugspunkten nur mit der VO_2max und $v@75\% \text{VO}_2$ korreliert. Dies weist daraufhin, dass sich die Leistungsentwicklung zu großen Teilen durch die laktatbasierte Zonenverteilung erklären lässt und die Verteilung nach ventilatorischen Bezugspunkten geringere Aussagekraft für die Leistungsentwicklung hat. Die Korrelation der einzelnen physiologischen Leistungsparameter zeigt hingegen auf, dass mit dem Parameter $v@90\% \text{VO}_2$ unabhängig vom Betrachtungszeitraum jeweils ein ventilatorischer Parameter mit der Leistung in der Zeitfahrt über 1500 m in der letzten Stufe des Stufentests korreliert. Jedoch weisen bis auf $\text{Laktat}_{\text{max}}$ alle der gemessenen Parameter eine starke Korrelation mit der Leistung bei der 1500-m-Zeitfahrt auf, und die Unterschiede zwischen den Korrelationskoeffizienten sind so gering, dass aufgrund der geringen Probandenzahl eine eindeutige Aussage nicht getätigt werden kann.

Der retrospektive Vergleich der Zonenbestimmung auf Grundlage von laktatbasierten und ventilatorisch basierten Bezugspunkten deutet daraufhin, dass

- die beiden Varianten ausschließlich zu Unterschieden in der Bewertung der Zonen 1 und 2 führen, was ggf. in der Trainingssteuerung des Grundlagentrainings entscheidend sein kann und
- die laktatbasierte Zonenverteilung verglichen mit der nach ventilatorischen Bezugspunkten besser geeignet ist, verschiedenste maximale und submaximale Leistungsparameter zu erklären.

5 Literatur

- Beaver, W.L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, 60(6) 2020-2027.
- Conconi, F., et al. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology*, 52(4), 869-873.
- Coyle, E.F., et al. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(1), 93-107.
- Davis, J. A., et al. (1976). Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *Journal of Applied Physiology*, 41(4), 544-550.
- Dekerle, J., Vanhatalo, A., & Burnley, A. (2008). Determination of critical power from a single test. *Science & Sports*, 23(5), 231-238.
- Fiskerstrand, A., & Seiler, K. S. (2004). Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(5), 303-310.

- Garcia-Pallares, J., et al. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European Journal of Applied Physiology*, 110(1), 99-107.
- Garcia-Pallares, J., et al. (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *European Journal of Applied Physiology*, 106(4), 629-638.
- Hogan, C., et al. (2020). Comparison of Training Monitoring and Prescription Methods in Sprint Kayaking. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(5), 654-662.
- Kahl, J. (2005). *DKV-Rahmentrainingskonzeption – Kanurennsport und Kanuslalom*. Duisburg: Deutscher Kanu-Verband-Wirtschafts-und Verlags GmbH.
- Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42(1), 25-34.
- Mader, A. & Heck, H. (1986). A theory of the metabolic origin of “anaerobic threshold”. *International Journal of Sports Medicine*, 7(1), 45-65.
- Matzka, M., Zinner, C., Kunz, P., Holmberg, H. C., & Sperlich, B. (2021). Comparison of Physiological Parameters During On-Water and Ergometer Kayaking and Their Relationship to Performance in Sprint Kayak Competitions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(7), 958-964. doi: 10.1123/ijsp.2019-0912. PMID: 33626508
- Orie, J., et al. (2014). Thirty-eight years of training distribution in Olympic speed skaters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1), 93-99.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276-291.
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. O. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 49-56.
- Sjodin, B. & Jacobs, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 2(1), 23-26.
- Stegmann, H., Kindermann, W. & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 2(3), 160-165.
- Stoggl, T.L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in Physiology*, 6, 295.
- Stoggl, T., & Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in Physiology*, 5, 33.
- Urhausen, A., et al. (1993). Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine*, 14(3), 134-139.
- Wasserman, K., & McIlroy, M. B. (1964). Detecting the Threshold of Anaerobic Metabolism in Cardiac Patients during Exercise. *American Journal of Cardiology*, 14, 844-852.
- Zinner, C., et al. (2020). The Impact of the German Strategy for Containment of Coronavirus SARS-CoV-2 on Training Characteristics, Physical Activity and Sleep of Highly Trained Kayakers and Canoeists: A Retrospective Observational Study. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 579830.
- Zinner, C., et al. (2016). The Physiological Mechanisms of Performance Enhancement with Sprint Interval Training Differ between the Upper and Lower Extremities in Humans. *Frontiers in Physiology*, 6(7), 426.

Evaluation eines 10-wöchigen stroboskopischen Trainings zur Verbesserung der visuellen und visuomotorischen Leistung von Nachwuchsbadmintonspielern

(AZ 070706/19-20)

Andreas Mierau (Projektleitung) & Thorben Hülsdünker

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft

1 Problem

Hohe Ballgeschwindigkeiten und kurze Entfernungen machen die visuomotorische Reaktionsgeschwindigkeit zu einer der leistungsbestimmenden Faktoren im Badminton (Phomsoupha & Laffaye, 2015). Entsprechend erreichen Badmintonspieler signifikant schnellere Reaktionen im Vergleich zu Nichtsportlern (Hülsdünker, Strüder & Mierau, 2016; Loureiro & Freitas, 2012). Eine kürzlich abgeschlossene Studienreihe identifizierte deren Ursachen in einer schnelleren Wahrnehmung und Verarbeitung im Gehirn von Badmintonspielern bzw. -spielerinnen sowie deren schnelleren Umsatz in eine motorische Reaktion (Hülsdünker et al., 2016; Hülsdünker, Strüder & Mierau, 2017). Darüber hinaus war primär die Geschwindigkeit visueller Prozesse ursächlich für Unterschiede in der Reaktionsgeschwindigkeit zwischen den Spielenden. Diese Ergebnisse wurden im Tischtennis bestätigt (Hülsdünker, Ostermann & Mierau, 2019) und unterstreichen die Bedeutung visueller Prozesse für die visuomotorische Leistung im Badminton. Das visuelle System scheint damit einen vielversprechenden Ansatzpunkt für spezifische Trainingsmaßnahmen darzustellen.

Trotz dieser Erkenntnisse findet visuelles Training im Badminton bisher wenig bis keine Anwendung. Bisher beobachtete schnellere Reaktionen im visuellen System der Athleten und Athletinnen im Vergleich zu Nichtsportlern bzw. -sportlerinnen müssen entsprechend auf implizite Trainingsadaptationen zurückgeführt werden. Unter Berücksichtigung der Bedeutung visuomotorischer Reaktionen im Badminton,

bieten spezifische visuelle Trainingsmethoden großes Potential die visuomotorische Reaktionsleistung im Badminton zu verbessern. Dies gilt aufgrund der größeren neuronalen Plastizität im Kindes- und Jugendalter (Bengtsson et al., 2005; Fields, 2008; Penhune, 2011) insbesondere für den Nachwuchsbereich.

Eine Möglichkeit, das visuelle System explizit zu trainieren, bieten sogenannte Shutterbrillen. Diese Brillen induzieren einen stroboskopischen Effekt und reduzieren dadurch die visuelle Informationsmenge, die dem Gehirn zur Verfügung steht. Dadurch soll das visuelle System trainiert werden, die verbleibenden Signale effektiver zu nutzen. In einer Spielsituation unter normalen Bedingungen soll dies den Athleten und Athletinnen ermöglichen, Ballflugbahn und -geschwindigkeit schneller einzuschätzen und Reaktionen schneller einleiten zu können. Wenngleich diese Trainingsmethode bereits in einigen Untersuchungen zu signifikanten Verbesserungen der visuellen und visuomotorischen Leistung führte (Appelbaum, Cain, Schroeder, Darling & Mitroff, 2012; Mitroff et al., 2013; Smith & Mitroff, 2012), sind die langfristigen Effekte stroboskopischen Trainings sowie dessen Effektivität für Athleten und Athletinnen, insbesondere im Nachwuchsbereich, weitestgehend unbekannt.

Dieses Forschungsprojekt verfolgte das Ziel, die Effektivität spezifischen visuellen Trainings zur Verbesserung der visuomotorischen Leistung sowie die zu Grunde liegenden neuronalen Adaptationsmechanismen im Nachwuchsbadminton zu evaluieren.

Dafür wurde in einer kontrollierten Longitudinalstudie an 4 Leistungsstützpunkten (Mülheim, Bonn, Frankfurt, Kaiserslautern) mit insgesamt 45 Nachwuchsathleten und -athletinnen ein 10-wöchiges stroboskopisches Training durchgeführt.

2 Methode

Dieses Forschungsprojekt wurde als Antragsforschungsprojekt vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) gefördert und in Kooperation mit dem Deutschen Badmintonverband e. V. (DBV) und den Badmintonstützpunkten in Bonn, Frankfurt, Mülheim an der Ruhr und Kaiserslautern durchgeführt. Insgesamt nahmen 45 Nachwuchsbadmintonspieler bzw. -spielerinnen teil (Frankfurt = 14, Bonn = 11, Mülheim an der Ruhr = 9, Kaiserslautern = 11); 32 von ihnen (21 männlich, 11 weiblich, Alter: 13,7 Jahre, Trainingserfahrung: 6,2 Jahre, Training pro Woche: 12,6 Stunden) wurden in die finale Analyse aufgenommen. 13 Personen wurden aufgrund von Krankheit oder Verletzung (N = 5), fehlender Daten (N = 2) oder zu geringer Trainingszeit (N = 6) aus der Analyse ausgeschlossen. In der Interventions- und Kontrollgruppe trainierten jeweils 16 Spieler bzw. Spielerinnen.

intervall, in dem alle ohne die Shutterbrillen das normale Training fortsetzen.

Die Leistungstests erfolgten vor und nach dem Training sowie nach Abschluss des Retentionsintervalls. Es wurden jeweils ein Labor- sowie ein Feldtest durchgeführt. Der Labortest ermittelte die Reaktionsgeschwindigkeit unter standardisierten Bedingungen bei gleichzeitiger Analyse der neuronalen Aktivität mittels 64-Kanal EEG. So wurde analysiert, ob die angenommenen Verbesserungen in der Reaktionsgeschwindigkeit nach dem stroboskopischen Training mit Anpassungen in der neuronalen Signalverarbeitung einhergingen. Die Aufgabe im Labortest bestand in einem möglichst schnellen Tastendruck in Reaktion auf schnelle und langsame Bewegungsstimuli (jeweils 80 Trials) präsentiert auf einem Computerbildschirm. Analysiert wurden die Reaktionszeit der Spielenden, der Beginn der Muskelaktivität (EMG onset) sowie neuronale korrelate der visuellen Wahrnehmung und motorischen Verarbeitung. Neben der N2, N2-r und der BA6 negativity wurde auch ein gesamtvisueller Score der Verarbeitungsgeschwindigkeit (V_{lc}) als Differenz aus N2 und N2-r errechnet. Eine Übersicht über den Labortest und die ermittelten neuronalen Parameter zeigt Abb. 3 (S. 3).

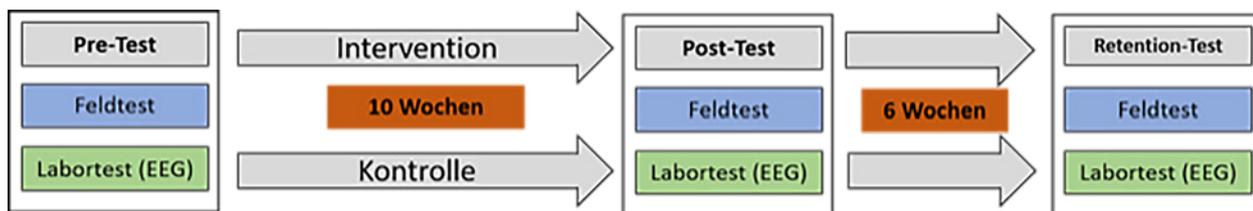


Abb. 1: Übersicht über das Versuchsprotokoll der Studie

Einen Überblick über das Versuchsprotokoll zeigt Abb. 1. Während der Interventionsphase trainierte die Interventionsgruppe mit den stroboskopischen Brillen, wohingegen die Kontrollgruppe ein identisches Training unter normalen Bedingungen durchführte. Als Trainingsaufgaben wurden fünf Optionen zur Verfügung gestellt aus denen die Trainer wählen konnten (siehe Abb. 2, S. 3). Die Trainingsschwierigkeit in der Interventionsgruppe wurde durch Änderungen der Einstellungen der Shutterbrille alle 2 Wochen angepasst. Nach Abschluss der Trainingsphase folgte ein 6-wöchiges Retentions-

Der Feldtest analysierte die Reaktionsgeschwindigkeit unter ökologisch valideren Bedingungen. Die Spielerinnen und Spieler sollten Bälle, gespielt aus einer Ballmaschine als Netzdrops, möglichst präzise abwehren. Entfernung und Geschwindigkeit der Ballmaschine wurden so gewählt, dass es der Reaktionszeit auf einen Smash unter realen Bedingungen entsprach. In 5 Blöcken wurden jeweils 25 Bälle gespielt. Die analysierten Parameter waren die Reaktionsgeschwindigkeit auf den Ball, die Qualität des Ball-Schläger Kontaktes, sowie die Qualität des Netzdrops.

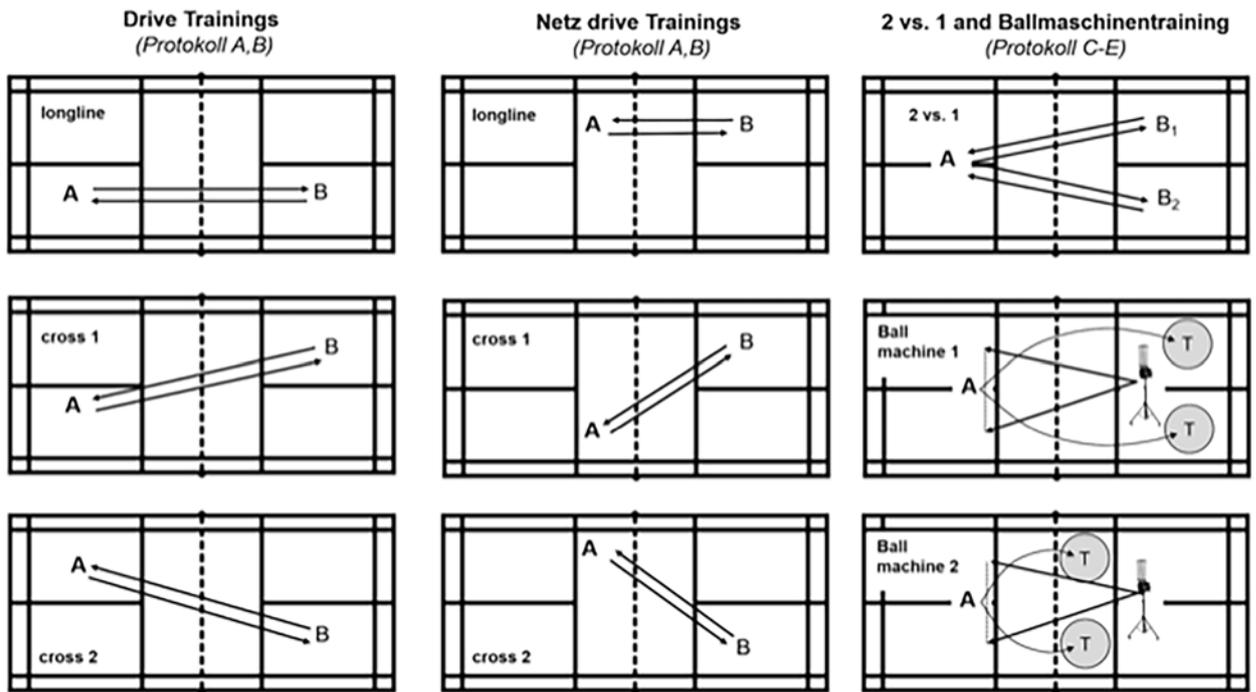


Abb. 2: Übersicht über die Trainingsprotokolle. Abbildung basierend auf Hülsdünker et al. (2020a)

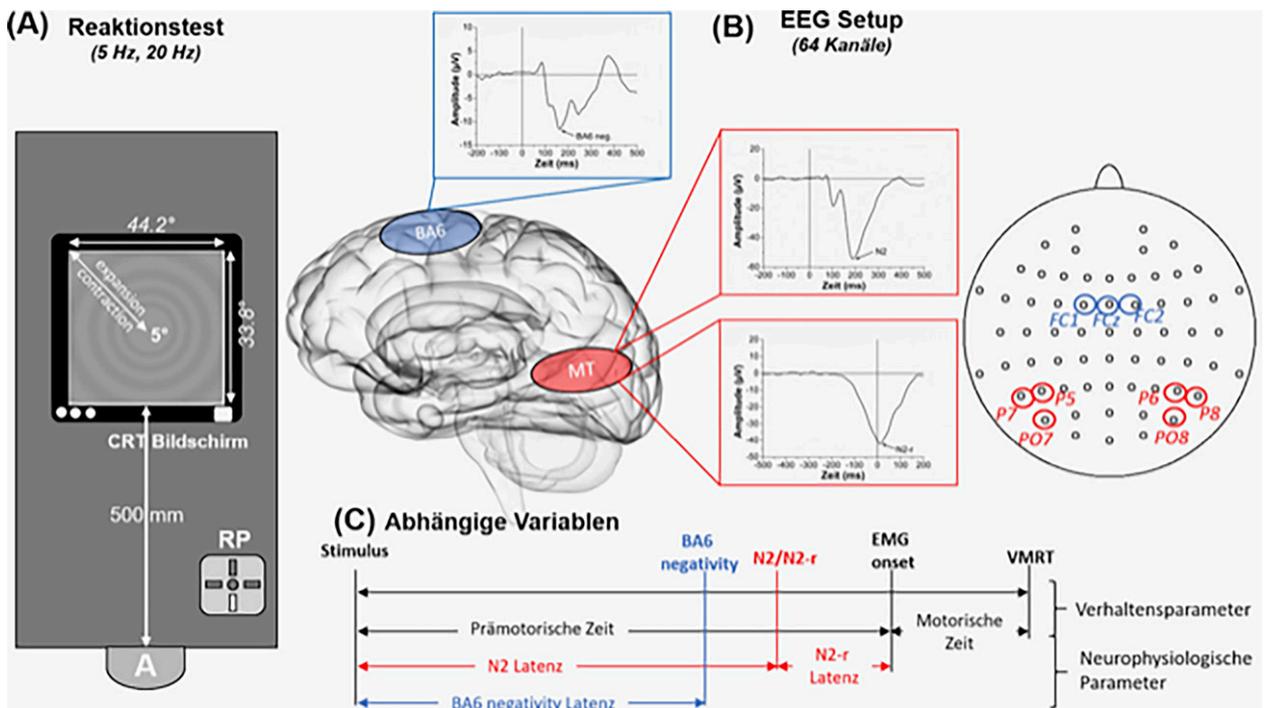


Abb. 3: Übersicht über den Versuchsaufbau. (A) visuomotorischer Reaktionstest auf radiale motion onset Stimuli zur Aktivierung des Areals MT. RP = response pad, A = Athlet. (B) Schematische Darstellung der untersuchten neuronalen Regionen, die motorischen (blau) und visuellen (rot) ereigniskorrelierten Signale sowie deren repräsentative Kanäle im EEG. BA6 = prä- und supplementär motorisches Areal (Brodmann Areal 6 (BA6)), MT = bewegungssensitives mid-temporales visuelles Areal. (C) Behaviorale und neurophysiologische abhängige Variablen während des Reaktionstests. Abbildung modifiziert basierend auf Hülsdünker et al. (2020b)

Für die Analyse der Daten des Labortests wurden Varianzanalysen (ANOVAs) mit dem Zwischen-subjektfaktor „Gruppe“ (Intervention, Kontrolle) sowie den Innersubjektfaktoren „Zeit“ (pre, post, retention) und „Geschwindigkeit“ (schnell, langsam) für die behavioralen (EMG onset, VMRT, motorische Zeit) und neurophysiologischen Daten (N2-Latenz, N2-r-Latenz, BA6-Negativity-Latenz, V_{lc}) durchgeführt. Zur Identifikation von Korrelationen zwischen der trainingsinduzierten Änderung der Reaktionsgeschwindigkeit und der Beteiligung neuronaler Prozesse wurden Korrelationen innerhalb und zwischen den Testpersonen berechnet. Basierend auf den Vorgaben von Cohen 1988 wurden folgende Effektstärken definiert: kleiner Effekt ($\eta^2 = 0.01$; $d = 0.2$, $r = 0.1$), mittlerer Effekt ($\eta^2 = 0.06$; $d = 0.5$, $r = 0.3$), starker Effekt ($\eta^2 = 0.14$; $d = 0.8$, $r = 0.5$). Folgende Signifikanzschwellen wurden verwendet: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ und *** $P < 0.001$.

3 Ergebnisse

3.1 Labortest

Es zeigte sich ein Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Zeit und Gruppe ($F_{2,60} = 7.31$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.196$). Während sich die Reaktionszeit in der Interventionsgruppe sowohl nach dem Training ($t_{15} = 3.54$, $p = 0.005$, $d = 0.63$) als auch nach Ende der Retention Phase ($t_{15} = 2.80$, $p = 0.041$, $d = 0.50$) signifikant reduzierte, wurden keine Änderungen in der Kontrollgruppe festgestellt (post-test: $t_{15} = 1.29$, $p > 0.99$, $d = 0.23$; Retention-Test: $t_{15} = 0.35$, $p > 0.99$, $d = 0.06$). Gleiche Ergebnisse wurden auch für die visuomotorische Reaktionszeit (VMRT) ermittelt. Analysen der motorischen Zeit ergaben weder Haupt noch Interaktionseffekte ($p > 0.06$). Eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Zeit und Gruppe ($F_{2,56} = 3.54$, $p = 0.036$, $\eta^2 = 0.11$) wurde auch für den V_{lc} score ermittelt ($F_{1,28} = 6.16$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.18$). Allerdings erreichten die Bonferroni-korrigierten post-hoc Tests nicht das Signifikanzlevel.

3.2 Feldtest

ANOVA-Analysen des Feldtests zeigten einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor „Zeit“ (Reaktionszeit: $F_{2,54} = 18.4$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.41$; Netzdrop: $F_{2,54} = 18.74$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.41$; Treffpunkt: $F_{2,54} = 16.46$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.38$). Post-hoc Analysen zeigten schnellere Reaktionen, eine bessere Qualität des Treffpunktes sowie eine höhere Treffgenauigkeit im Netzdrop nach dem Training sowie nach der Retention Phase.

Eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren „Zeit“ und „Gruppe“ wurde jedoch nur für die Reaktionszeit festgestellt ($F_{2,54} = 3.18$, $p = 0.049$, $\eta^2 = 0.11$). Hier zeigten die post-hoc Analysen eine Beschleunigung der Reaktionsgeschwindigkeit in der Kontroll-, nicht jedoch in der Interventionsgruppe.

3.3 Korrelationen

Für die Innersubjektkorrelationen zeigten die N2 ($r = 0.59$ [$F_{1,150} = 14.81$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.09$]) und N2-r Latenz ($r = -0.64$ [$F_{1,150} = 105.44$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.41$]) sowie der V_{lc} -score $r = 0.68$ [$F_{1,150} = 126.80$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.46$]) eine signifikante Korrelation mit dem EMG onset. Keine Korrelation wurde für die BA6 negativity Latenz beobachtet ($r = 0.11$ [$F_{1,150} = 1.95$, $p = 0.165$, $\eta^2 = 0.01$]).

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich für die Zwischensubjektkorrelationen. Auch hier korrelieren trainingsinduzierte Änderungen im EMG onset signifikant mit Anpassungen in der N2-r ($t_{32} = -6.22$, $r = -0.75$, $p < 0.001$) und V_{lc} -Latenz ($t_{32} = 7.42$, $r = 0.80$, $p < 0.001$). Die N2-Latenz verfehlte knapp die Signifikanzschwelle ($t_{32} = 1.84$, $r = 0.31$, $p = 0.075$). Keine Korrelation zeigte sich zwischen EMG onset und BA6 negativity Latenz ($t_{32} = 0.37$, $r = 0.07$, $p = 0.709$).

Trainingsinduzierte Änderungen der Reaktionsgeschwindigkeit sowie deren Korrelation mit der visuellen Wahrnehmungs- und Verarbeitungsgeschwindigkeit sind in Abb. 4 (S. 5) dargestellt.

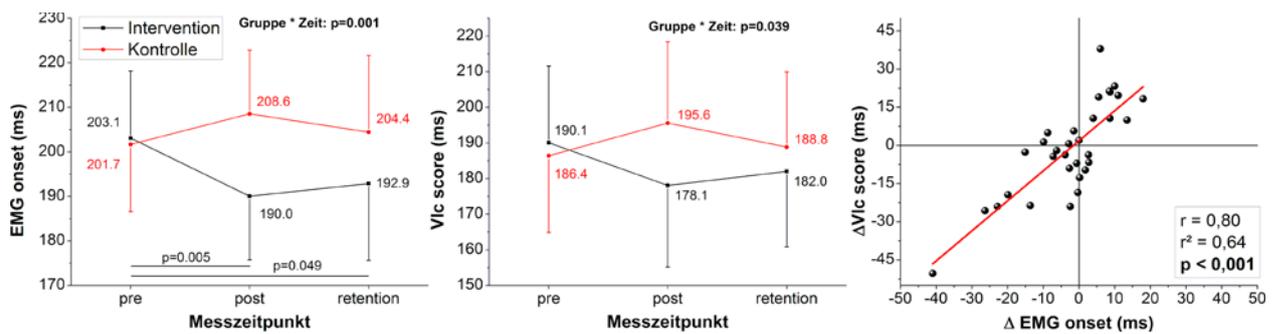


Abb. 4: Zusammenfassung der behavioralen Reaktionszeit) und neurophysiologischen (V_{lc} -Score) Ergebnisse. Linke Grafik: Veränderung der Reaktionszeit (EMG onset) in der Interventions- (Schwarz) und Kontrollgruppe (rot) über die drei Messzeitpunkte. Mittlere Grafik: Veränderung des V_{lc} -Scores über die drei Messzeitpunkte. Rechte Grafik: Korrelation zwischen der Veränderung der Reaktionsgeschwindigkeit und der Veränderung des V_{lc} -Scores vom pre-Test zum post-Test. Fehlerbalken repräsentieren 95 % Konfidenzintervalle.

4 Diskussion

Die beobachtete Beschleunigung visuomotorischer Reaktionen in dieser Studie unterstützt eine Reihe vorangegangener Untersuchungen, die positive Effekte stroboskopischen Trainings auf basale visuelle Prozesse wie die Wahrnehmung von Bewegungskohärenz (Appelbaum, Schroeder, Cain & Mitroff, 2011) oder 3D-Sehen (Wilkins & Gray, 2015) berichteten. Darüber hinaus bestätigen die Ergebnisse sportartspezifische Studien im Bereich Ice-Hockey (Mitroff et al., 2013), Fußball (Wilkins, Nelson & Twedde, 2018) und Badminton (Hülsdünker et al., 2018), die ebenfalls positive Effekte stroboskopischen Trainings auf die visuomotorische Leistungsfähigkeit von Athleten und Athletinnen zeigen konnten. Wengleich bisherige sportartspezifische Untersuchungen jedoch durch eine geringe Stichprobengröße ($N \leq 11$) limitiert waren, bestätigt die vorliegende Studie die zuvor gezeigten Effekte mit einer größeren Anzahl an Teilnehmenden. Darüber hinaus konnte erstmalig gezeigt werden, dass die positiven Effekte auf die Reaktionszeit nicht nur kurzfristig sind, sondern auch einige Wochen nach Ende des Trainings noch vorliegen. Diese Information ist besonders für die Trainingsplanung und eine mögliche Implementierung stroboskopischen Trainings vor entscheidenden Spielen/Turnieren wichtig.

Im Gegensatz zum Labortest konnten für die meisten Parameter des Feldtests keine Unterschiede zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu der gestellten Hypothese, dass stroboskopisches Training die visuomotorische Leistung auch unter sportartspezifischeren Bedingungen verbessert. Auch steht es im Kontrast zu vorherigen Untersuchungen im Ice-Hockey (Mitroff et al., 2013) und Badminton (Hülsdünker et al., 2018). Die Ursachen hierfür liegen jedoch wahrscheinlich in der Technik der Ballmaschine. Da die Bälle bereits vor Auswurf aus der Ballmaschine zu sehen sind, ist der Aufgabenerfolg mehr von Antizipation als Reaktion abhängig. Darüber hinaus zeigt die Aufgabe trotz Trainingsaufgaben vor dem Test einen starken Lerneffekt. Dieser hat möglicherweise die Trainingseffekte der stroboskopischen Intervention maskiert.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Untersuchung eine Beschleunigung der visuomotorischen Reaktion nach einem 10-wöchigen stroboskopischen Training. Diese Effekte waren sowohl kurzfristig direkt nach Ende des Trainings als auch nach 6 Wochen noch zu beobachten. Verbesserungen der Reaktionsgeschwindigkeit waren auf eine schnellere Wahrnehmung und Verarbeitung im visuellen System des Gehirns zurückzuführen. Somit bietet stroboskopisches Training einen vielversprechenden Ansatz für das Training des visuellen Systems insbesondere in visuomotorische anspruchsvollen Sportarten.

5 Praxistransfer

Ausgehend von den positiven Effekten stroboskopischen Trainings auf die Reaktionszeit und den Erfahrungen aus der Studie, können folgende Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen für den Einsatz stroboskopischen Trainings ausgesprochen werden:

- › Stroboskopisches Training kann zum Training der Reaktionsgeschwindigkeit eingesetzt werden.
- › Stroboskopisches Training adressiert insbesondere das visuelle System und eignet sich für Spieler und Spielerinnen mit Schwächen in der visuellen Wahrnehmungsgeschwindigkeit. Da aus vorherigen Studien bekannt ist, dass visuelle und visuomotorische Geschwindigkeit stark korrelieren, lässt sich die Trainingsempfehlung auf Spieler bzw. Spielerinnen mit langsamen visuomotorischen Reaktionen verallgemeinern.
- › Stroboskopisches Training sollte die Quantität visueller Informationen reduzieren, nicht die Qualität. Aufgaben mit kritischen visuellen Informationen scheinen für stroboskopisches Training nicht geeignet zu sein.
- › Durch die hohen kognitiven Anforderungen sollte stroboskopisches Training intermittierend durchgeführt werden (mehrere Intervalle von ca. 2-3 min Länge).
- › Effekte, die durch ein mehrwöchiges Training mit der stroboskopischen Brille induziert werden, sind auch nach Trainingsende noch mehrere Wochen sichtbar. Dies erlaubt eine gewisse Flexibilität bei der Implementierung stroboskopischer Einheiten in den Trainingsplan.
- › Paarweises Training mit Wechseln der stroboskopischen Brille zwischen den Spielern bzw. Spielerinnen führt zu einer höheren effektiven Shutterzeit bei gleichem Zeitaufwand.
- › 2-3 Trainingseinheiten pro Woche mit einer effektiven Shutterzeit von jeweils 15 Minuten scheinen ausreichend zu sein.
- › Die Einstellungen der Brille sollten dem Leistungsstand des jeweiligen Spielers bzw. der jeweiligen Spielerin angepasst werden. Es sollten Settings verwendet werden, die einen Spielfluss ermöglichen.
- › Die Einstellungen sollten im Verlauf des Trainings (z. B. alle 2 Wochen) angepasst werden, um Adaptationseffekte zu vermeiden und die Schwierigkeit mit zunehmender Leistung zu erhöhen.
- › Es sollten nur Übungen ohne starke Kopffotation verwendet werden. Ansonsten kann die Diskrepanz zwischen visuellen und vestibulären Informationen zu Unwohlsein und Schwindel führen.
- › Spieler bzw. Spielerinnen mit neurologischen Erkrankungen oder Auffälligkeiten (z. B. Epilepsie, Migräne, ...) dürfen auf keinen Fall die Brillen benutzen.

6 Literatur

- Appelbaum, L. G., Cain, M. S., Schroeder, J. E., Darling, E. F., & Mitroff, S. R. (2012). Stroboscopic visual training improves information encoding in short-term memory. *Attention, Perception & Psychophysics*, 74(8), 1681-1691. doi:10.3758/s13414-012-0344-6
- Appelbaum, L. G., Schroeder, J. E., Cain, M. S., & Mitroff, S. R. (2011). Improved Visual Cognition through Stroboscopic Training. *Frontiers in Psychology*, 2, 276. doi:10.3389/fpsyg.2011.00276
- Bankosz, Z., Nawara, H., & Ociepa, M. (2013). Assessment of simple reaction time in badminton players. *Trends in Sport Sciences*, 1(20), 54-61.
- Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forssberg, H., & Ullén, F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1148-1150. doi:10.1038/nn1516
- Bhabhor, M. K., Vidja, K., Bhandari, P., Dodhia, S., Kathrotia, R., & Joshi, V. (2013). A comparative study of visual reaction time in table tennis players and healthy controls. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 57(4), 439-442.
- Born, R. T., & Bradley, D. C. (2005). Structure and function of visual area MT. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 157-189. doi:10.1146/annurev.neuro.26.041002.131052
- Fields, R. D. (2008). White matter in learning, cognition and psychiatric disorders. *Trends in Neurosciences*, 31(7), 361-370. doi:10.1016/j.tins.2008.04.001
- Hülsdünker, T., Gunasekara, N., & Mierau, A. (2020a). Short- and Long-Term Stroboscopic Training Effects on Visuomotor Performance in Elite Youth Sports. Part 1: Reaction and Behavior. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. doi:10.1249/MSS.0000000000002541
- Hülsdünker, T., Gunasekara, N., & Mierau, A. (2020b). Short- and Long-Term Stroboscopic Training Effects on Visuomotor Performance in Elite Youth Sports. Part 2: Brain-Behavior Mechanisms. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. doi:10.1249/MSS.0000000000002543
- Hülsdünker, T., Ostermann, M., & Mierau, A. (2019). The Speed of Neural Visual Motion Perception and Processing Determines the Visuomotor Reaction Time of Young Elite Table Tennis Athletes. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 13, 879. doi:10.3389/fnbeh.2019.00165
- Hülsdünker, T., Rentz, C., Ruhnow, D., Käsbauer, H., Strüder, H. K., & Mierau, A. (2018). The Effect of a 4-Week Stroboscopic Training on Visual Function and Sport-Specific Visuomotor Performance in Top Level Badminton Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-23. doi:10.1123/ijsp.2018-0302
- Hülsdünker, T., Strüder, H. K., & Mierau, A. (2016). Neural Correlates of Expert Visuomotor Performance in Badminton Players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2125-2134. doi:10.1249/MSS.0000000000001010
- Hülsdünker, T., Strüder, H. K., & Mierau, A. (2017a). Visual but not motor processes predict simple visuomotor reaction time of badminton players. *European Journal of Sport Science*, 71(6), 1-11. doi:10.1080/17461391.2017.1395912
- Hülsdünker, T., Strüder, H. K., & Mierau, A. (2017b). Visual Motion Processing Sub-serves Faster Visuomotor Reaction in Badminton Players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(6), 1097-1110. doi:10.1249/MSS.0000000000001198
- Jurcak, V., Tsuzuki, D., & Dan, I. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: their validity as relative head-surface-based positioning systems. *NeuroImage*, 34(4), 1600-1611. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.09.024

- Koessler, L., Maillard, L., Benhadid, A., Vignal, J. P., Felblinger, J., Vespignani, H. et al. (2009). Automated cortical projection of EEG sensors: anatomical correlation via the international 10-10 system. *NeuroImage*, 46(1), 64-72. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.02.006
- Koppelaar, H., Kordestani Moghadam, P., Khan, K., Kouhkani, S., Segers, G., & van Warmerdam, M. (2019). Reaction Time Improvements by Neural Bistability. *Behavioral Sciences*, 9(3). doi:10.3390/bs9030028
- Kuba, M., Kubova, Z., Kremlacek, J., & Langrova, J. (2007). Motion-onset VEPs: characteristics, methods, and diagnostic use. *Vision Research*, 47(2), 189-202. doi:10.1016/j.visres.2006.09.020
- Loureiro, L. d. F. B., & Freitas, P. B. d. (2012). Influence of the performance level of badminton players in neuromotor aspects during a target-pointing task. Ncia do n?vel de desempenho de jogadores de badminton em aspectos neuromotores durante uma tarefa de apontar um alvo. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 18(3), 203-207. doi:10.1590/S1517-86922012000300014
- Mitroff, S. R., Friesen, P., Bennett, D., Yoo, H., & Reichow, A. W. (2013). Enhancing Ice Hockey Skills Through Stroboscopic Visual Training. A Pilot Study. *Athletic Training & Sports Health Care*, 5(6), 261-264. doi:10.3928/19425864-20131030-02
- Penhune, V. B. (2011). Sensitive periods in human development: evidence from musical training. *Cortex*, 47(9) (a journal devoted to the study of the nervous system and behavior), 1126-1137. doi:10.1016/j.cortex.2011.05.010
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2014). Shuttlecock velocity during a smash stroke in badminton evolves linearly with skill level. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 17 Suppl 1, 140-141. doi:10.1080/10255842.2014.931550
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2015). The science of badminton: game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. *Sports Medicine*, 45(4), 473-495. doi:10.1007/s40279-014-0287-2
- Schwarz, K. A., & Büchel, C. (2015). Cognition and the Placebo Effect – Dissociating Subjective Perception and Actual Performance. *PloS ONE*, 10(7), e0130492. doi:10.1371/journal.pone.0130492
- Smith, T. Q., & Mitroff, S. R. (2012). Stroboscopic Training Enhances Anticipatory Timing. *International Journal of Exercise Science*, 5(4), 344-353.
- Wilkins, L., & Appelbaum, L. G. (2019). An early review of stroboscopic visual training: insights, challenges and accomplishments to guide future studies. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 11(1), 1-16. doi:10.1080/1750984X.2019.1582081
- Wilkins, L.; & Gray, R. (2015). Effects of stroboscopic visual training on visual attention, motion perception, and catching performance. *Perceptual and Motor Skills*, 121(1), 57-79. doi:10.2466/22.25.PMS.121c11x0
- Wilkins, L., Nelson, C., & Tweddle, S. (2018). Stroboscopic Visual Training: a Pilot Study with Three Elite Youth Football Goalkeepers. *Journal of Cognitive Enhancement*, 2(1), 3-11. doi:10.1007/s41465-017-0038-z
- Zwierko, T., Osinski, W., Lubinski, W., Czepita, D., & Florkiewicz, B. (2010). Speed of Visual Sensorimotor Processes and Conductivity of Visual Pathway in Volleyball Players. *Journal of Human Kinetics*, 23, 21-27. doi:10.2478/v10078-010-0003-8

Biomechanische und neuromuskuläre Einflussgrößen auf die Dreisprungleistung jugendlicher Nachwuchslleistungssportler

(AZ 070803/19-20)

Daniel Hahn (Projektleitung), Alessa Jaspert & Janina Tennler

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

1 Problemstellung

Der Dreisprung ist eine komplexe Disziplin, die hohe technische und konditionelle Anforderungen an die Athletinnen und Athleten stellt. In Deutschland findet man diese Disziplin deshalb erst für 15-jährige im Wettkampfangenbot. Dadurch ergibt sich das Problem, dass die dreisprungspezifischen Anforderungen, wie bspw. der vorgegebene Sprungrhythmus bzw. die Fähigkeit, aktive Sprünge aus dem Anlauf durchführen zu können, häufig erst unmittelbar vor einem Dreisprung-Wettkampf erstmalig trainiert werden (Elbe, 1998). Bei jugendlichen Athletinnen bzw. Athleten lassen sich dementsprechend deutliche Leistungsunterschiede hinsichtlich Gesamtweite sowie technischer Ausführung des Dreisprungs beobachten. So lässt sich zum Beispiel bei vielen im zweiten Teilsprung, dem Step, ein weniger betonter Absprung oder gar ein Schritt anstatt eines Sprungs erkennen. Der Hop-Step-Übergang gilt jedoch über alle Altersklassen hinweg als Schlüsselstelle für erfolgreiche Dreisprünge (Hay, 1993).

Der Großteil der Veröffentlichungen zum Dreisprung bezieht sich auf kinematische Parameter, welche im Rahmen von internationalen Meisterschaften oder hochklassigen Wettkämpfen an Erwachsenen erhoben wurden (Fukashiro et al., 1981; Fukashiro & Miyashita, 1983; Hay, 1999; Hay & Miller, 1985; Mendoza & Nixdorf, 2011; Panoutsakopoulos et al., 2016). Nur wenige Studien beschäftigen sich hingegen mit dem Dreisprung von Jugendlichen (Haberland & Lohmann, 1985; Jaitner et al., 2016; Jaspert et al., 2017; Larkins, 1988; Simpson et al., 2007).

Der Zusammenhang zwischen Anlaufgeschwindigkeit und Dreisprungweite wurde von verschiedenen Autorengruppen untersucht. Dabei wurden für Spitzenathletinnen bzw. -athleten Korrelationen zwischen $r = 0,69$ (Männer) bzw. $r = 0,65$ (Frauen) (Mendoza & Nixdorf, 2011) und $r = 0,91$ (Männer) (Fukashiro & Miyashita, 1983) für Anlaufgeschwindigkeit und Dreisprungweite ermittelt, während Haberland und Lohmann (1985) eine Korrelation von $r = 0,76$ für jugendliche Dreispringer und Jaitner et al. (2016) eine Korrelation von $r = 0,44$ für jugendliche Dreispringerinnen ermittelten. Hinsichtlich des prozentualen Anteils der Stepweite an der Gesamtsprungweite, wurde für Spitzendreispringer/innen ein Anteil von 28-30 % (Fukashiro et al., 1981; Hay & Miller, 1985) berichtet, bei Anfängern nimmt der Step jedoch einen geringeren Anteil von etwa 25 % ein (Larkins, 1988; Simpson et al., 2007). Für diese Teilweitenanteile wurden signifikante Unterschiede zwischen jugendlichen und Elite-Dreispringern ermittelt, jedoch keine Unterschiede bei Dreispringerinnen (Jaspert et al., 2017).

Die Muskelaktivität während des Dreisprungs wurde bisher nur von Perttunen et al. (2000) analysiert, wobei sich zeigte, dass die höchste Aktivierung der Beinmuskulatur während der Amortisationsphase der Landungen erfolgte und die Voraktivierung höher war als die Muskelaktivität während der Absprungphase. Mit Kraftfähigkeiten von Dreispringern und Dreispringerinnen beschäftigten sich nur Allen et al. (2016) und Čoh et al. (2015).

Demnach führt ein höheres Kraftniveau zu größeren Sprungweiten (Allen et al., 2016), was sich mit Erkenntnissen aus der Praxis zur Bedeutung von Maximal- und Reaktivkraftfähigkeiten deckt (Killing et al., 2008).

In Bezug auf den Dreisprung von jugendlichen Athletinnen bzw. Athleten besteht insgesamt ein großes Forschungsdefizit. Die Bedeutung der Anlaufgeschwindigkeit, der Hop-/Step-Kinematik sowie der Einfluss der Muskelaktivität und der individuellen Kraftfähigkeiten auf die Gesamtweite wurden für Jugendliche bisher nicht explizit untersucht. Dieses Projekt zielte darauf ab, Faktoren zu bestimmen, die die Dreisprungleistung von jugendlichen Sportlerinnen und Sportlern positiv bzw. negativ beeinflussen. Hierbei standen kinematische Parameter in Bezug auf die Step-Technik sowie die Reaktiv-, Explosiv- und Maximalkraftfähigkeiten im Mittelpunkt der Untersuchungen.

2 Methodik

Insgesamt haben N = 7 Athleten und N = 37 Athletinnen der Altersklassen 14-17 (Jahrgänge 2005-2002) an einer Dreisprungdiagnostik im Feld und N = 6 Athleten und N = 23 Athletinnen an einer Kraftdiagnostik im Labor teilgenommen.

Das Projekt bestand aus zwei Teilen:

- einer Feldmessung, bei der die Sprintschnelligkeit sowie ausgewählte Dreisprungparameter in einer Leichtathletikhalle erfasst wurden, und
- einer Kraftdiagnostik im Labor.

Aufgrund der COVID-19 Pandemie waren ab März 2020 keine weiteren Messungen in Leichtathletik-Hallen möglich. Im Rahmen der späten Wettkampf-Saison des Leichtathletik-Verbandes Nordrhein sowie des Fußball- und Leichtathletik-Verbandes Westfalen im September 2020 war es möglich, weitere Daten zu erheben.

Die maximale Sprintschnelligkeit sowie die kinematischen und elektromyografischen Dreisprungparameter wurden in einer Leichtathletikhalle ermittelt. Nach einem individuellen sprungspezifischen Warm-Up wurden drei fliegende Sprints (30-m mit 20-m Anlauf) durchgeführt. Hierbei kamen Doppellichtschranken (Messfrequenz 8000 Hz; Microgate Witty Gate, Italien) zum Einsatz. Die maximale Sprintschnelligkeit wurde als mittlere Geschwindigkeit über den schnellsten 10-m-Abschnitt ($v_{max} = 10m / t_{min}$) bestimmt. Im Anschluss an die Sprints wurden die Inertialsensoren und die EMG-Sender (Abb. 1) angebracht.

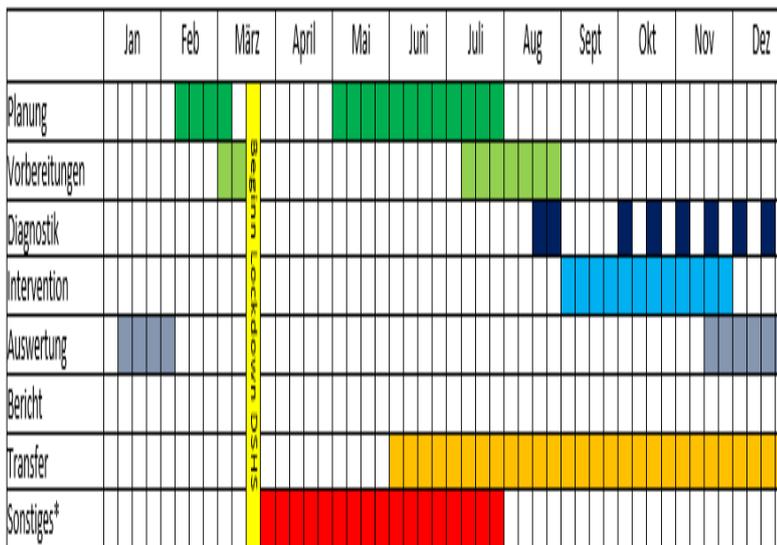


Abb. 1: Positionierung der Inertialsensoren (Kreuzbein, Oberschenkel re/li, Unterschenkel re/li, Spann (Schuhoberseite) re/li) und EMG-Sensoren (M. tibialis anterior, M. soleus, M. gastrocnemius medialis, M. biceps femoris, M. rectus femoris, M. vastus lateralis sowie M. gluteus maximus, Hop-/Step-Absprunghüfte).

Die Athlet/innen führten mindestens drei Dreisprünge aus einem selbstgewählten Anlauf durch. Die Erfassung der Teilsprungweiten sowie Stütz- und Flugzeiten beim Dreisprung erfolgte mit dem *Optojump next*-System (Messfrequenz 1000Hz; Microgate, Italien).

Die Bestimmung der tatsächlichen Sprungweite sowie der Teilsprungweiten beim Dreisprung erfolgte nach Hay (1999) (Abb. 2).

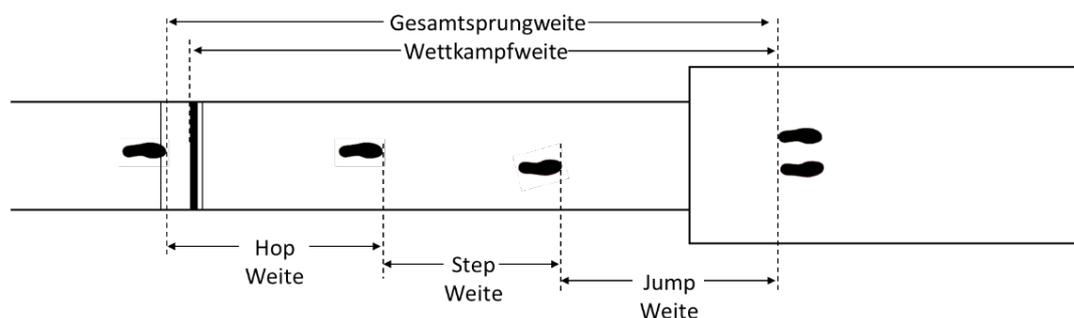


Abb. 2: Bestimmung der Teilsprungweiten und Gesamtsprungweite

Für die Bewegungsanalyse beim Dreisprung wurden Inertialsensoren (Messfrequenz 286 Hz; *myon aktos-t*, Schweiz) eingesetzt. Die Bestimmung von Kniewinkeln und Spreizwinkel erfolgte mit der Software *EMGandMotionTools* (Cometa S.r.l., Italien). Zusätzlich zum *Optojump next* und den Inertialsensoren kam zur Untersuchung des Dreisprungs auch ein EMG-System (Messfrequenz 2000Hz; *myon aktos*, Schweiz) zum Einsatz. Das mobile und kabellose System ist mit dem *myon aktos-t* kombinierbar. Die Elektrodenpositionierung erfolgte nach den Empfehlungen von Seniam (www.seniam.org, 23.06.2021). Die EMG-Daten wurden mit der Software *EMGandMotionTools* erhoben und in *Spike* (Cambridge Electronic Design Ltd., UK) weiterverarbeitet. Der jeweils weiteste Dreisprungversuch sowie die zugehörige Anlaufgeschwindigkeit wurden zur Analyse herangezogen. Die Synchronisation mit den Inertialsensoren und dem EMG-System erfolgte über die Beschleunigungsdaten des Inertialsensors am Schuh bzw. am M. Soleus (EMG-Sender). Im Rahmen der Wettkämpfe fand keine Sprintdiagnostik statt, es erfolgte nur die Erfassung der Anlaufgeschwindigkeiten sowie der Teilweiten, Kontaktzeiten und Flugzeiten mit den Microgate-Systemen.

Alle Dreisprung-Versuche wurden zur qualitativen Bewertung der Step-Ausführung auf Video aufgenommen und dann in zwei Gruppen eingeordnet: „Schritt“ oder „Sprung“.

Im Rahmen der Kraftdiagnostik erfolgte die Bestimmung von Explosiv-, Maximal- und Reaktivkraftparametern.

Vorab wurde ein 30-minütiges Warm-Up absolviert. Die Athletinnen, die am Feldtest im Rahmen von Wettkämpfen teilgenommen hatten, führten nach der Erwärmung die Sprintdiagnostik durch. Es wurden zunächst drei Standweitsprünge (1 min Pause) durchgeführt. Die Sprungweite der Standweitsprünge wurde händisch mit einem Maßband zentimetergenau gemessen, wobei der weiteste Versuch jeweils in die Auswertung einging. Im Anschluss erfolgten je drei Drop-Jumps in randomisierter Reihenfolge: beidbeinig aus 32 cm sowie 42 cm Höhe (DJ32, DJ42), einbeinig aus 22 cm sowie 32 cm Höhe (sDJ22, sDJ32; mit dem Hop-/Step-Absprungbein). Die Drop-Jumps wurden auf einer Kraftmessplatte (Typ 9260AA, Kistler, Schweiz; Messfrequenz 2000Hz) ausgeführt, um die Stütz- und Flugzeiten erfassen zu können. Anhand der Kontakt- (t_c) und Flugzeiten (t_f) der Drop-Jumps wurde die Sprunghöhe ($h = g/8 \cdot t_c^2$) berechnet sowie der Reaktivkraftindex nach Flanagan und Comyns (2008) bestimmt. Der jeweils beste Versuch jeder Höhe wurde zur Analyse herangezogen. Die isometrische Maximalkraft sowie die isometrische Explosivkraft von Knieflexion, Knieextension und Plantarflexion wurden nur für das Hop-/Step-Absprungbein am isokinetischen Dynamometer IsoMed2000 (D. & R. Ferstl GmbH, Deutschland) in randomisierter Reihen-

folge bestimmt. Aus zeitökonomischen Gründen wurden Knieflexion und Knieextension unmittelbar hintereinander durchgeführt.

Die Erfassung der Kraftfähigkeiten der Knieextensoren und -flexoren erfolgte im Sitzen bei 60° bzw. 55° gebeugtem Knie (Knieinnenwinkel: 120° bzw. 125°). Die Maximal- und Explosivkraft der Plantarflexoren erfolgte in Rückenlage bei leicht gebeugtem (unterstütztem) Knie und neutralem Fußgelenkwinkel (90°). In jeder Position wurden zunächst mindestens je sechs explosive Versuche und drei maximale isometrische Kontraktionen über ca. sechs Sekunden durchgeführt. Die Drehmomente wurden als Analogsignal mit externer Software (Spike2, CED, England) erfasst und ausgewertet. Der relevante Parameter für die Explosivkraft war der mittlere Kraftanstieg zwischen 50 ms und 100 ms. Die Maximalkraft wurde als höchstes Drehmoment im Zeitverlauf als absolutes Drehmoment bestimmt. Der jeweils beste Versuch wurde für die weitere Analyse herangezogen.

Die Ergebnisse der männlichen Jugend wurden aufgrund der kleinen Stichprobengröße nur deskriptiv ausgewertet.

Für die weibliche Jugend erfolgte die Analyse

über einfache Zusammenhänge- bzw. Unterschiedsstatistiken (Pearson/Spearman bzw. Welchs t-test/Mann-Whitney-U-Test in Abhängigkeit von der Normalverteilung nach Shapiro-Wilk).

3 Ergebnisse

Im Mittel erreichte die männliche Jugend eine Gesamtweite von $11,03 \pm 1,07$ m mit Teilweiten von $3,98 \pm 0,45$ m (Hop, H), $2,80 \pm 0,35$ m (Step, S) und $4,25 \pm 0,81$ m (Jump, J). Die relativen Teilweiten lagen bei $36,0 \pm 1,7$ % (H), $25,6 \pm 4,5$ % (S) und $38,3 \pm 4,3$ % (J). Bei der weiblichen Jugend lag die mittlere Sprungweite bei $10,33 \pm 0,74$ m mit Teilweiten von $3,73 \pm 0,25$ m (H), $2,52 \pm 0,46$ m (S) und $3,95 \pm 0,46$ m (J). Die relativen Teilweiten lagen bei $36,5 \pm 1,3$ % (H), $24,8 \pm 3,8$ % (S) und $38,7 \pm 3,7$ % (J). Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte der männlichen und weiblichen Jugend differenziert nach der Schritt- und Sprung-Gruppe.

Für die Gruppe der weiblichen Jugend zeigte die Gesamtsprungweite eine signifikante positive Korrelation mit der Anlaufgeschwindigkeit ($r = 0,789$, $p < 0,001$) und der mittleren Sprunggeschwindigkeit ($r = 0,600$, $p < 0,001$). Der Step-

Tab. 1: Mittelwerte und Standardabweichung der Gesamtsprungweite (W_{ges}), absoluter und relativer Anlaufgeschwindigkeit (v_{AL} , v_{AL} %), Hop- und Step-Anteil (H %, S %), Hop-Sprunghöhe (h_H), Step-Stützzeit (t_S), Unterschied zwischen der Hop- und Step-Geschwindigkeit (Δv_{HS}), Unterschied der Hop- und Step-Dauer (Δd_{HS}) sowie Unterschied zwischen der Anlauf- und Hop-Geschwindigkeit (Δv_{ALH}) der männlichen und weiblichen Jugend. Signifikante Unterschiede zwischen der „Schritt“- und „Sprung“-Gruppe der weiblichen Jugend sind entsprechend gekennzeichnet ($p < 0,005^*$; $p < 0,001^{**}$)

	Männliche Jugend		Weibliche Jugend	
	Schritt (n = 4)	Sprung (n = 3)	Schritt (n = 16)	Sprung (n = 21)
W_{ges} [m]	$11,68 \pm 0,68$	$10,17 \pm 0,90$	$9,97 \pm 0,57$	$10,40 \pm 0,81$
v_{AL} [m/s]	$7,89 \pm 0,22$	$7,08 \pm 0,49$	$7,25 \pm 0,37$	$7,36 \pm 0,64$
v_{AL} % [%]	$90,3 \pm 0,9$	$88,9 \pm 2,0$	$87,6 \pm 4,1$	$90,0 \pm 7,6$
H % [%]	$36,9 \pm 1,4$	$34,9 \pm 1,6$	$36,8 \pm 1,4$	$36,3 \pm 1,2$
S % [%]	$22,5 \pm 2,8$	$29,8 \pm 1,7$	$21,0 \pm 2,5$	$27,6 \pm 1,3^{**}$
h_H [m]	$0,24 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,03$	$0,21 \pm 0,03$
t_S [s]	$0,176 \pm 0,012$	$0,183 \pm 0,12$	$0,158 \pm 0,018$	$0,180 \pm 0,023^*$
Δv_{HS}	$0,32 \pm 0,58$	$-0,24 \pm 0,13$	$0,82 \pm 0,45$	$-0,25 \pm 0,28^{**}$
Δd_{HS}	$-0,245 \pm 0,064$	$-0,061 \pm 0,005$	$-0,270 \pm 0,054$	$-0,118 \pm 0,036^{**}$
Δv_{ALH}	$-0,77 \pm 0,14$	$-0,32 \pm 0,04$	$-0,60 \pm 0,15$	$-0,59 \pm 0,24$

Anteil ($r = 0,104$, $p = 0,540$), die Differenz der Hop- und Step-Dauer ($r = 0,158$, $p = 0,358$) und die Geschwindigkeitsdifferenz von Hop und Step ($r = -0,214$, $p = 0,210$) korrelieren nicht signifikant mit der Gesamtsprungweite.

Die Daten der Inertialsensoren konnten nicht ausgewertet werden, da es leider Ausfälle der Sensoren, Signalsättigung und Problemen mit dem Start der Aufnahme per Fernbedienung gab, was darauf schließen lässt, dass sich die Sen-

soren nicht für hochdynamische Bewegungsformen wie dem Dreisprung eignen.

Die Ergebnisse der Schnelligkeits- und Kraftdiagnostik der männlichen und weiblichen Jugend, differenziert nach der Step-Ausführung, können aus den Tabellen 2 und 3 abgelesen werden.

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichung der Gesamtsprungweite (W_{ges}), maximalen Sprintgeschwindigkeit (v_{max}), Standweitsprungweite (SLJ), Maximalkraft (MVC) von Knieextension (KE), Knieflexion (KF) und Plantarflexion (PF) sowie Explosivkraft (RTD) von KE, KF und PF der männlichen und weiblichen Jugend. Signifikante Unterschiede zwischen der „Schritt“- und „Sprung“-Gruppe der weiblichen Jugend sind gekennzeichnet ($p < 0,05^*$).

	Männliche Jugend		Weibliche Jugend	
	Schritt (n = 4)	Sprung (n = 2)	Schritt (n = 10)	Sprung (n = 13)
Wges [m]	11,68 ± 0,68	10,26 ± 1,26	10,03 ± 0,62	10,22 ± 0,71
vmax [m/s]	8,84 ± 0,26	7,97 ± 0,74	8,09 ± 0,38	7,96 ± 0,54
SLJ [m]	2,59 ± 0,12	2,37 ± 0,34	2,25 ± 0,72	2,15 ± 0,14*
MVC KE [Nm]	246 ± 41	206 ± 17	184 ± 46	208 ± 27
MVC KF [Nm]	117 ± 26	113 ± 6	97 ± 17	105 ± 17
MVC PF [Nm]	208 ± 45	197 ± 8	151 ± 36	157 ± 23
RTD KE [Nm/s]	1529 ± 436	1679 ± 302	1030 ± 342	1230 ± 203
RTD KF [Nm/s]	1316 ± 637	1395 ± 564	735 ± 165	823 ± 193
RTD PF [Nm/s]	1105 ± 239	1089 ± 381	761 ± 179	753 ± 204

Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichung der Drop-Jump-Parameter Reaktivkraftindex (RSI) und Sprunghöhe (h) der beidbeinige Drop-Jumps aus 42cm (DJ42) und 32cm (DJ32) sowie einbeinigen Drop-Jumps aus 32 cm (sDJ32) und 22 cm (sDJ22) der männlichen und weiblichen Jugend.

	Männliche Jugend		Weibliche Jugend	
	Schritt (n = 4)	Sprung (n = 2)	Schritt (n = 10)	Sprung (n = 13)
RSI DJ42	1,87 ± 0,31	1,75 ± 0,15	1,66 ± 0,40	1,76 ± 0,32
RSI DJ32	1,72 ± 0,41	1,49 ± 0,17	1,49 ± 0,38	1,67 ± 0,32
RSI sDJ32	0,86 ± 0,19	0,69 ± 0,08	0,70 ± 0,23	0,78 ± 0,14
RSI sDJ22	0,91 ± 0,14	0,64 ± 0,23	0,69 ± 0,20	0,83 ± 0,18
hDJ42 [m]	0,36 ± 0,03	0,33 ± 0,01	0,29 ± 0,06	0,31 ± 0,03
hDJ32 [m]	0,35 ± 0,07	0,32 ± 0,00	0,28 ± 0,06	0,31 ± 0,04
hsDJ32 [m]	0,26 ± 0,07	0,18 ± 0,03	0,17 ± 0,06	0,19 ± 0,04
hsDJ22 [m]	0,27 ± 0,06	0,17 ± 0,02	0,17 ± 0,05	0,20 ± 0,04

Die maximale Sprintschnelligkeit (v_{max}) sowie die Standweitsprungweite (SLJ) zeigten positive signifikante Korrelationen mit der Dreisprungweite bei weiblichen Jugendlichen (v_{max} : $r = 0,611, p < 0,005$; SLJ: $r = 0,579, p < 0,005$).

Die Dreisprungweite korreliert nicht signifikant mit der Maximalkraft und Explosivkraft der Knieextension und Plantarflexion, jedoch mit dem Reaktivkraftindex resultierend aus allen Drop-Jumps (Abb. 3).

4 Diskussion

Das Leistungsniveau der untersuchten Dreispringerinnen und Dreispringer bildet das Leistungsniveau dieser Altersklasse in Deutschland ab. Die Ergebnisse bieten daher einen guten Überblick über die Kraftfähigkeiten sowie die kinematischen Parameter von jugendlichen Dreispringerinnen und Dreispringern.

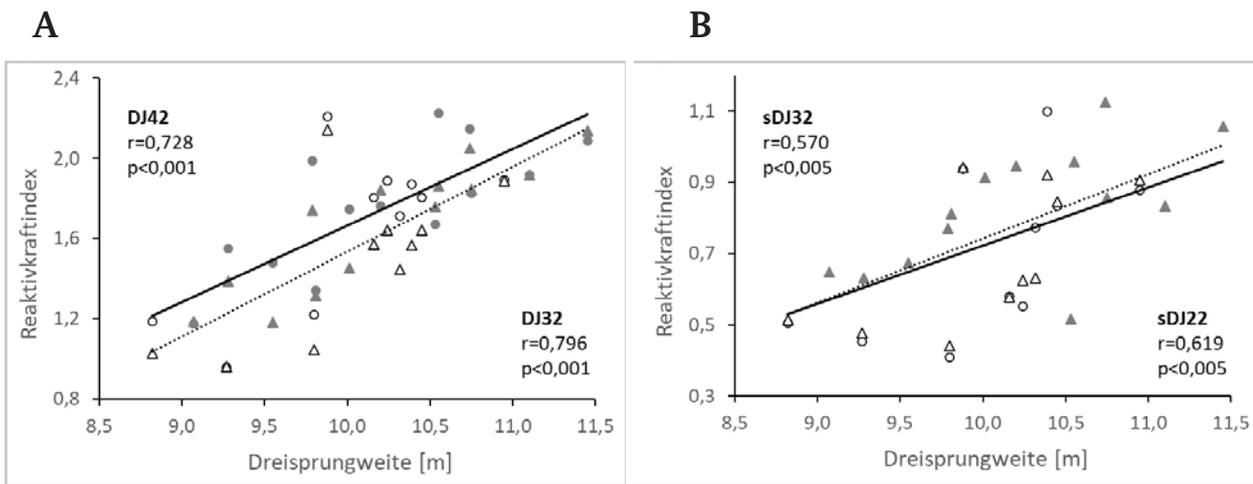


Abb. 3: Korrelation zwischen der Dreisprungweite und dem Reaktivkraftindex der beidbeinigen Drop-Jumps von 42cm (•, durchgängige Linie) und 32cm (▲, gestrichelte Linie) (A) sowie Reaktivkraftindex der einbeinigen Drop-Jumps von 32cm (•, durchgängige Linie) und 22cm (▲, gestrichelte Linie) (B) der weiblichen Jugend. Weiße Punkte/Dreiecke zeigen die Ergebnisse der „Schritt“-Gruppe, dunkle Punkte/Dreiecke die der „Sprung“-Gruppe.

Wie bei den Inertialsensoren gab es auch bei den EMG-Datensätzen immer wieder Ausfälle sowie erhebliche Bewegungsartefakte, die eine statistische Auswertung unmöglich machten. Es konnten jedoch deutliche interindividuelle Unterschiede in der neuromuskulären Aktivität während der Hop- und Step-Stützphasen sowie für die Voraktivierung im Hop-/Step-Absprungbein gefunden werden. Auffällig ist, dass die Aktivität in den Bein- und Fußstreckern vor dem Bodenkontakt zunimmt und während der Hop- und Step-Stützphasen in der Regel höher war, als während der Stützphasen im Anlauf. Beim Beinbeuger war die Aktivität während der Stützphase jedoch geringer als während der Voraktivierung.

Die Ergebnisse der weiblichen Jugend zeigen klar, dass sich zwei Step-Techniken unterscheiden lassen: ein schrittbetonter Step und ein sprungbetonter Step. Die Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich der Step-Kinematik, jedoch nicht in der Gesamtsprungweite. Die „Schritt“-Gruppe erreichten einen kleineren Step-Anteil ($21,0 \pm 2,5 \%$), einen größeren Unterschied in der Sprungdauer zwischen Hop und Step ($-0,270 \pm 0,054$ s) und einen Gewinn an Horizontalgeschwindigkeit ($0,82 \pm 0,45$ m/s). Die Athletinnen der „Sprung“-Gruppe zeigten hingegen einen größeren Step-Anteil ($27,6 \pm 1,3 \%$), einen kleineren Unterschied in der Sprungdauer zwischen Hop und Step ($-0,118 \pm 0,036$ s) und verloren im Mittel an Horizontalgeschwindigkeit ($-0,25 \pm 0,28$ m/s). Auch für die jugendlichen Dreispringer lassen die Ergebnisse vermuten, dass sich zwei Step-Techniken unterscheiden lassen.

Obwohl die Ergebnisse nicht statistisch gesichert sind, scheinen die Unterschiede in der Step-Technik bei den männlichen Jugendlichen auf die Hop-Technik zurückzuführen zu sein. Ein zu hoher bzw. zu weiter Hop wird in der Praxis als typischer Anfängerfehler angesehen (Killing et al., 2008). Das Kraftniveau der Dreispringer scheint dagegen weniger relevant für die Step-Ausführung zu sein.

Bei der weiblichen Jugend bringt ein sprungbetonter Step in der untersuchten Altersgruppe keinen Vorteil für die Gesamtsprungweite. Wir nehmen an, dass sich die „Schritt“-Gruppe durch den kurzen Step, welche mit einem Gewinn an Horizontalgeschwindigkeit einhergeht, einen Vorteil für den letzten Teilsprung, den Jump, verschafft und den Nachteil der kurzen, zweiten Teilweite dadurch ausgleicht. Anders als in der Praxis angenommen (Killing et al., 2008), konnten wir die Unterschiede in der Step-Technik von jugendlichen Dreispringerinnen nicht auf den Hop zurückführen.

Die Bedeutung einer hohen Anlaufgeschwindigkeit beim Dreisprung ist wissenschaftlich belegt (Haberland & Lohmann, 1985; Mendoza & Nixdorf, 2011; Panoutsakopoulos et al., 2016; Panoutsakopoulos & Kollias, 2008), und auch in der Praxis wird der Anlaufgeschwindigkeit von Jugendlichen eine hohe Bedeutung zugesprochen (Killing et al., 2008). Wie bei Panoutsakopoulos und Kollias (2008) konnte auch im vorliegenden Projekt ein positiver Zusammenhang zwischen Gesamtsprungweite und der gemittelten Horizontalgeschwindigkeit aus Hop und Step ermittelt werden. Neben der Anlaufgeschwindigkeit soll auch das reaktive Sprungvermögen eine wesentliche Leistungskomponente für den Dreisprung bei Jugendlichen darstellen und die Maximalkraft eine große Rolle spielen (Killing et al., 2008). Die Athletinnen der „Schritt“- und „Sprung“-Gruppe unterscheiden sich jedoch nur in ihrer Standweitsprungleistung, wobei die „Schritt“-Gruppe sogar signifikant größere Sprungweiten erreicht. Der Reaktivkraftindex der beid- und einbeinigen Drop-Jumps sowie die maximale Sprintgeschwindigkeiten jugendlicher Dreispringerinnen zeigen mittlere bis hohe Korrelationen mit der Dreisprungleistung, was die Bedeutung des Schnelligkeits- und Reaktivkraftniveaus unterstreicht.

Zusammenfassend lassen sich folgende Aussagen treffen:

- › Bei jugendlichen Dreispringern und Dreispringerinnen lassen sich zwei Step-Techniken unterscheiden: ein schrittbetonter Step, welcher sich durch einen kürzeren Teilweitenanteil und einen Gewinn an Horizontalgeschwindigkeit charakterisieren und durch einen (akustisch vernehmbaren) zeitlich längeren Hop erkennen lässt, sowie einen sprungbetonten Step mit einem größeren Teilweitenanteil, einem Verlust an Horizontalgeschwindigkeit und einem geringeren zeitlichen Unterschied zwischen Hop und Step.
- › Die Unterschiede in der Step-Technik der jugendlichen Dreispringerinnen lassen sich nicht auf die Hop-Technik oder die Kraftfähigkeiten zurückführen.
- › Bei Dreispringerinnen der U16 und U18 hat die Step-Technik keinen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtsprungweite.
- › Eine gute Dreisprungleistung jugendlicher Athletinnen hängt mit einem hohen Schnelligkeitsniveau, hohen Anlaufgeschwindigkeiten, hohen horizontalen Sprunggeschwindigkeiten und guten Reaktivkraftfähigkeiten zusammen.

5 Literatur

- Allen, S. J., Yeadon, M. R. F., & King, M. A. (2016). The effect of increasing strength and approach velocity on triple jump performance. *Journal of Biomechanics*, 49(16), 3796-3802. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.10.009>
- Čoh, M., Matjačić, Z., Peharec, S., Bačić, P., Rausavjević, N., & Mačkala, K. (2015). Kinematic, Dynamic and EMG Analysis of Drop Jumps in Female Elite Triple Jump Athletes. *Collegium antropologicum*, 39 (Suppl 1), 159-166. Abruf unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26434025/>
- Elbe, J. (1998). Den Dreisprung im Schüleralter vorbereiten. Teil 1. *leichtathletiktraining*, 9(8), S. 24-25.
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 32-38. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318187e25b>
- Fukashiro, S., Iimoto, Y., Kobayashi, H., & Miyashita, M. (1981). A biomechanical study of the triple jump. *Medicine and science in sports and exercise*, 13(4), 233-237. <https://doi.org/10.1249/00005768-198104000-00005>
- Fukashiro, S., & Miyashita, M. (1983). An estimation of the velocities of three take-off phases in 18-m triple jump. *Medicine and science in sports and exercise*, 15(4), 309-312. <https://doi.org/10.1249/00005768-198315040-00010>
- Haberland, H.-D., & Lohmann, W. (1985). Analyse des Dreisprungniveaus in der Altersklasse 15 und Ableitung für das Aufbautraining. *Theorie und Praxis des Leistungssports*, 23(1), 12-26.
- Hay, J. G. (1993). Citius, altius, longius (faster, higher, longer): The biomechanics of jumping for distance. *Journal of Biomechanics*, 26, 7-21. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(93\)90076-q](https://doi.org/10.1016/0021-9290(93)90076-q)
- Hay, J. G. (1999). Effort Distribution and Performance of Olympic Triple Jumpers. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(1), 36-51. <https://doi.org/10.1123/jab.15.1.36>
- Hay, J. G., & Miller, J. A. (1985). Techniques Used in the Triple Jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 185-196. Abruf unter <https://www.semanticscholar.org/paper/Techniques-Used-in-the-Triple-Jump-Hay-Miller/cbe7d8647e9838449b510f0d3ca014f0d0c7e834>
- Jaitner, T., van Haren, A., & Hahn, D. (2016). Kinematic step-parameters and triple jump performance in female youth athletes. 21st Annual Congress of the European College of Sport Science, 6th-9th July 2016, Vienne, Austria.
- Jaspert, A., Jaitner, T., & Hahn, D. (2017). Differences and similarities of kinematic triple jump parameters between youth and elite athletes. 22nd Annual Congress of the European College of Sport Science, 5th-8th July 2017, Essen, Germany.
- Killing, W., Bartschat, E., & Zingon, H. (Hrsg.). (2008). *Jugendleichtathletik Sprung: Offizieller Rahmentrainingsplan des Deutschen Leichtathletik-Verbandes für die Sprungdisziplinen im Aufbautraining*. Philippka-Sportverlag.
- Larkins, C. (1988). The Optimal Contribution of the Phase Distances in the Triple Jump: Novices Versus Elites. In E. Kreighbaum & A. McNeill (Vorsitz), *6 International Symposium on Biomechanics in Sports*, Bozeman, Montana. Abruf unter <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/1803>
- Mendoza, L., & Nixdorf, E. (2011). Biomechanical Analysis of the Horizontal Jump Events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 26(3/4), 25-60.
- Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I. A. (2008). Essential parameters in female triple jump technique. *New Studies in Athletics*, 23(4), 52-61.

- Panoutsakopoulos, V., Theodorou, A. S., Katsavelis, D., Roxanas, P., Paradisis, G., & Argeitaki, P. (2016). Gender differences in triple jump phase ratios and arm swing motion of international level athletes. *Acta Gymnica*, 46(4), 174-183. <https://doi.org/10.5507/ag.2016.016>
- Perttunen, J. O., Kyröläinen, H., Komi, P. V., & Heinonen, A. (2000). Biomechanical loading in the triple jump. *Journal of sports sciences*, 18(5), 363-370. <https://doi.org/10.1080/026404100402421>
- Simpson, S. E., Wilson, C., & Kerwin, D. G. (2007). The Changes in Effort Distribution from Novice to Experienced Performers in the Triple Jump. In H.-J. Menzel & M. H. Chagas (Vorsitz), *XXV ISBS Symposium 2007*, Ouro Preto/Brazil.

Feedback-Optimierung im Skisprung

(AZ 071601/20)

Jakob Ketterer¹, Benedikt Lauber^{1,2} & Albert Gollhofer¹ (Projektleitung)

¹Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

²Universität Freiburg, Department of Neurosciences and Movement Sciences

1 Bisheriger Kenntnisstand und eigene Vorarbeiten

Bereits seit vielen Jahren besteht an der Schanzenanlage in Hinterzarten sowie in den biomechanischen Laboren des Instituts für Sport und Sportwissenschaft (IfSS) der Universität Freiburg die Möglichkeit einer leistungsdiagnostischen Betreuung für Athletinnen und Athleten und Trainerinnen und Trainer des DSV (Skisprung und Nordische Kombination). Ein besonderer Fokus liegt bei den leistungsdiagnostischen Messungen auf dem Absprung, der im Skisprung eine zentrale, leistungsbestimmende Funktion einnimmt. Um eine effektive Weiterentwicklung dieses leistungsbestimmenden Faktors gewährleisten zu können, sind moderne Diagnoseverfahren, welche präzise und nach wissenschaftlichen Standards reproduzierbare Daten liefern können, eine Grundvoraussetzung. Nur deren Einsatz erlaubt eine zielgerichtete und auf das Individuum abgestimmte, effektive Ausbildung der isolierten sportmotorischen Fertigkeiten auf einem hohen Leistungsniveau. Die bisher eingesetzten Diagnoseverfahren konnten diese Aufgabe nur zum Teil erfüllen. Daher mussten neue Verfahren etabliert werden, um auf Entwicklungen im internationalen Vergleich reagieren zu können. In diesem Zusammenhang haben wir erfolgreich in einer vom BISp geförderten Studie 3D-Messungen von Imitationssprüngen im Labor durchführen können. In einem zweiten vom BISp geförderten Projekt ist es uns zum ersten Mal überhaupt gelungen, eine 3D-Leistungsdiagnostik direkt an der Schanze durchzuführen. Dadurch ist es nun möglich, direkte 3D-Ableitungen biomechanischer Kenngrößen an der Schanze vorzunehmen und deren Signifikanz für die Leistungsfähigkeit herzustellen. Es ist nun möglich, den Trainerinnen und Trainern sowie den Athletinnen und Athleten innerhalb

kurzer Zeit ein Videofeedback der Absprungbewegung zusammen mit biomechanischen Kenngrößen bereitzustellen. Im Sinne einer regelmäßigen Anwendung dieser Form des Feedbacks ist es das Ziel des hier vorliegenden Transferprojektes, die dreidimensionalen Bewegungsanalysen des Absprungs an der Sprungschanze und das daraus resultierende 3D-Videofeedback an das Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) zu übertragen.

Da die Athleten bzw. Athletinnen nur wenige Sprünge pro Trainingseinheit an der Schanze durchführen können, gilt es, das Training so effektiv wie möglich zu gestalten (Schwameder, 2008). Eine Möglichkeit, Trainingsprozesse effektiver und objektivierbarer zu gestalten, ist die Präsentation von externem Feedback. Ein Beispiel hierfür ist die Rückmeldung des Trainers oder der Trainerin. Diese Form des Feedbacks beinhaltet in der Regel ein qualitatives, subjektives Merkmal der Bewegungsausführung. Der Nachteil dieser Art von Feedback ist jedoch, dass sie nicht objektivierbar ist und dass die Wahrnehmung der Trainerinnen und Trainer und der einzelnen Athletinnen und Athleten unter Umständen sehr unterschiedlich sein kann. Darin liegt der Vorteil der objektiven Rückmeldung, beispielsweise durch Videofeedback. Es konnte bereits gezeigt werden, dass so genanntes verstärkendes Feedback, welches von einer externen Quelle stammt, motorische Lernprozesse (i. e. Trainingsprozesse) verbessern kann und nachweislich Vorteile gegenüber der subjektiven Eigenwahrnehmung hat (für einen Überblick siehe Lauber & Keller, 2012).

In Vorbereitung der nun angestrebten Implementierung eines ad-hoc 3D-Videofeedbacks auf der Sprungschanze sind bereits zwei BISp-Projekte (BISp ZMVI-072031, FKZ 2516BI2031) realisiert worden.

Ziel des ersten Pilotprojektes (BISp ZMVI-072031) war es

- › biomechanisch relevante Faktoren zur Beurteilung des Absprungsverhaltens bei unterschiedlichen Varianten von Imitationssprüngen unter Laborbedingungen zu evaluieren.

Mit Kader- und Nachwuchsspringern wurden in der Folge einfache trainingsrelevante Sprungformen wie beispielsweise Counter-Movement-Jump („Elasto“) und Squat-Jump („Stato“) aber auch komplexe Imitationssprünge aus dem Stand und aus der Anfahrt auf einem Rollbrett (in der Ebene sowie von einer Rampe) biomechanisch analysiert. Neben den üblicherweise ermittelten zweidimensionalen biomechanischen Kenngrößen zur Bestimmung des Absprungsverhaltens (z. B. vertikale Absprunggeschwindigkeit oder Geschwindigkeit der Knieextension) konnten so insbesondere auch biomechanische Parameter der Frontalebene wie etwa der Valgus index, ein Merkmal der Beinsymmetrie, betrachtet werden (Abb. 1).

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass sich ausgewählte Kenngrößen, beispielsweise zwischen Athleten bzw. Athletinnen unterschiedlicher Leistungsstufen, unterscheiden. Jene Parameter sollten daher im Sinne einer Leistungsdiagnostik erhoben werden.

Hierauf aufbauend wurden in einem Folgeprojekt (BISp FKZ 2516BI2031) die Erkenntnisse aus den Labormessungen auf die Schanze übertra-

gen und ein Mess- und Auswertesystem entwickelt und evaluiert, welches es zum ersten Mal ermöglicht, eine 3D-Bewegungsanalyse des Absprungs direkt an der Schanzenanlage zu realisieren. Die Sprünge wurden hierbei mit Hilfe einer videogestützten 3D-Bewegungsanalyse gemessen und analysiert. Die Daten werden mit sechs Kameras (250 Hz) erfasst und anschließend mit Programmen der Firma SIMI (Simi Reality Motion Systems GmbH, Unterschleißheim) bearbeitet. Mittels SIMI Shape wird der Springer während des gesamten Absprungvorgangs hinweg getrackt und das in Shape hinterlegte Ganzkörpermodell an die Proportionen dieses Springers angepasst.

In SIMI Motion werden anschließend mittels inverser Kinematik Segment- und Winkelverläufe dargestellt und unterschiedliche biomechanische Parameter wie bspw. die synchrone Öffnung des Knie- & Hüftwinkels (A), die maximale Absprunggeschwindigkeit (B), und die Lage und der Verlauf des KSP (C) berechnet und mit der Sprungleistung korreliert.

Die in Abb. 2 (S. 3) dargestellten Ergebnisse zeigen den Zusammenhang zwischen den genannten Parametern und der Sprungweite im Detail.

Wie bereits beschrieben, kommt es nur zu einer sehr geringen Anzahl an Sprüngen direkt an der Schanze, weshalb ein Großteil des Trainings im Trockenen erfolgt. Die Auswahl der richtigen Imitationsformen im Trockenen mit dem Ziel einer Leistungsverbesserung an der Schanze ist daher von elementarer Bedeutung.

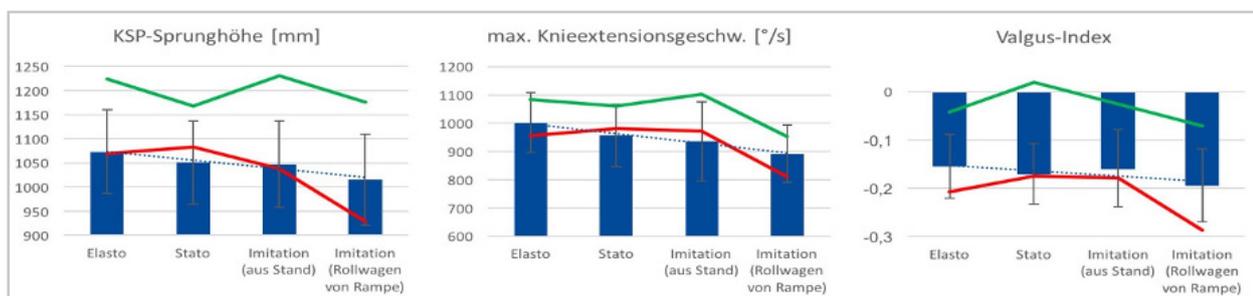


Abb. 1: Auszug der Ergebnisse der ersten Studie: Vergleich einiger ausgewählter biomechanischer Kenngrößen des Absprungsverhaltens der Gesamtheit aller $N = 18$ Athleten (Balkendiagramm; $MW \pm SD$) zwischen vier verschiedenen Sprungformen. Man erkennt deutlich, dass sich mit steigender Komplexität der Bewegung – bis hin zum Imitationssprung auf dem von einer Rampe abfahrenden Rollbrett – die max. Knieextensionsgeschwindigkeit reduziert. Interessant ist auch der Vergleich von Athleten unterschiedlicher Leistungsstufen. Beispielsweise in der Sagittalebene sind eindeutige Unterschiede zwischen einem A-Kader-Athlet und eines Athleten des Landeskader Jugend festzustellen.

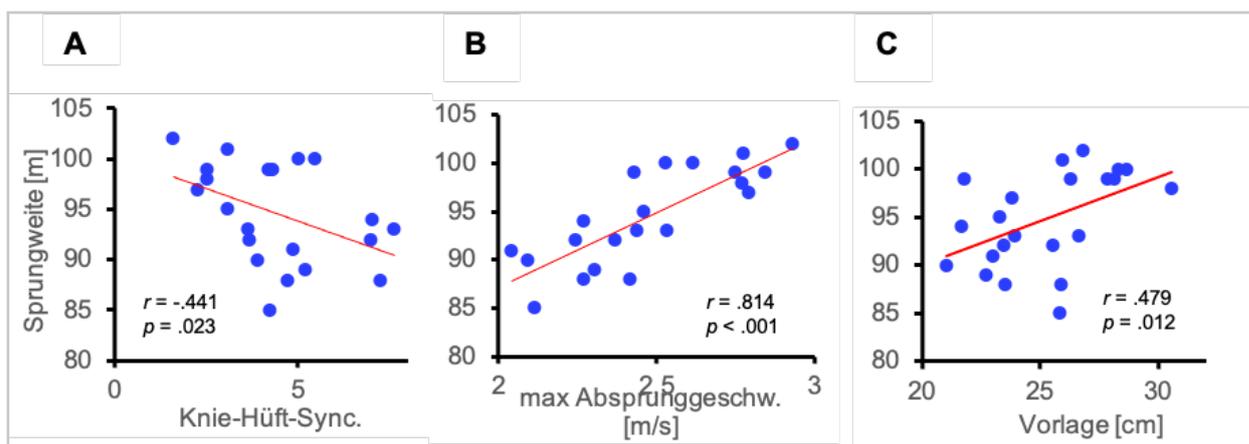


Abb.2: Beispielhafte Darstellung verschiedener Parameter und deren Korrelation mit der Sprungweite

Um dies zu gewährleisten, muss man wissen, inwieweit die unterschiedlichen Imitationsformen biomechanische Ähnlichkeiten mit der Absprungbewegung an der Schanze aufweisen. Aufgrund dessen haben wir die Absprungkinematik verschiedener Imitations sprünge im Labor mit der Absprungkinematik an der Schanze über ein mixed-effects model verglichen. So können Imitationssprünge identifiziert werden, die Schanzensprünge hinsichtlich nachweislich leistungsbezogener biomechanischer Kriterien ähneln (Ketterer, Gollhofer, & Lauber, 2020). Zu diesen leistungsrelevanten biomechanischen Parametern des Absprungs zählen maximale vertikale Absprunggeschwindigkeit (Arndt et al., 1995; Virnavirta & Komi, 1993; Vodičar & Jošt, 2010), die maximale Knieextensionsgeschwindigkeit (Janur et al., 2011), die anterior Verlagerung des Körperschwerpunktes im Verlauf des Absprungs (Janura et al., 2011; Jost, Coh, & Janez, 2000) sowie der vorwärtsorientierte Drehimpuls (Arndt et al., 1995; Müller, 2009).

Durch diesen Vergleich ist nun möglich herauszuarbeiten, welche Imitationsform sich hinsichtlich der erhobenen biomechanischen Parameter von der Schanze unterscheidet. Durch eine leicht verständliche heat-map kann dies für Trainerinnen und Trainer zudem zugänglich gemacht werden (Abb. 3, S. 4).

Diese Informationen über die Ähnlichkeit zwischen imitierten Sprüngen und echten Schanzensprüngen sind für Trainer und Athleten höchst relevant, um ihre Trainingsprogramme effektiv zu gestalten.

Unsere Untersuchung zeigt eindrücklich, dass nicht nur die üblicherweise durchgeführten Imitationssprünge mit Hallenschuhen, ohne Trainerunterstützung und ohne Rollwagen im Training eingesetzt werden sollten. Auch komplexere Imitationsformen wie z. B. mit Skisprungschuhen und Trainerunterstützung sollten einen wesentlichen Bestandteil im täglichen Skisprungtraining darstellen. Wenn bei einem Skispringer oder einer Skispringerin spezifische Defizite auf der Schanze festgestellt werden, z. B. eine unzureichende Vorverlagerung des Körperschwerpunktes, können die Ergebnisse der vorliegenden Studie den Trainerinnen und Trainern bei der Auswahl der geeigneten Imitationsform helfen, um diesen Parameter schanzengetreu simulieren zu können.

2 Transfer

Aufbauend auf den vorherigen Entwicklungs- und Validierungsschritten gilt es nun, das in den beiden vom BISp geförderten Projekten etablierte Mess- und Feedbacksystem und die dadurch entstandenen Möglichkeiten einer direkten feedbackbasierenden Leistungskontrolle in den regelmäßigen Trainingsprozess zu integrieren. Die Implementierung und Validierung des neuen Mess- und Feedbacksystem war sehr aufwendig und hat sich über einen Zeitraum vom 2.5 Jahren erstreckt. Die Reliabilität der Messmethode wurde Ebenfalls in den beiden bereits durchgeführten BISp Projekten untersucht und bestätigt werden (siehe Tab. 1, S. 5).

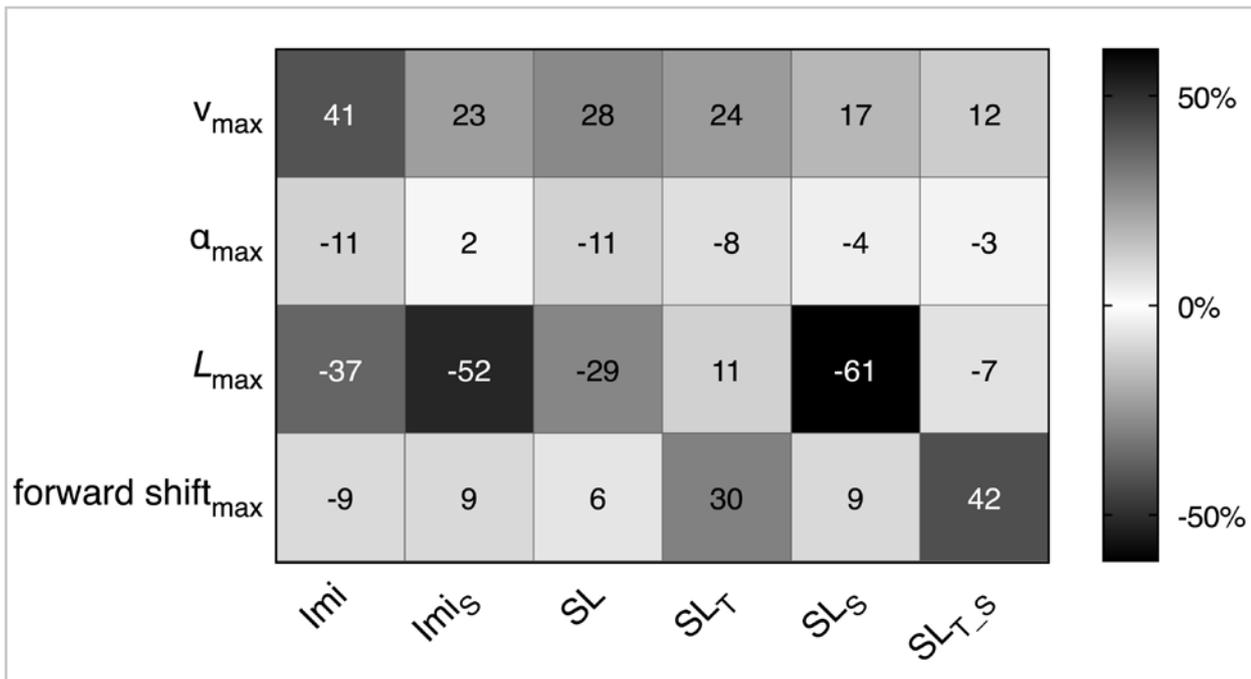


Abb. 3: Einfache „heat map“, die die prozentualen Unterschiede zwischen jeder Imitationsform und dem Sprung auf der Schanze hinsichtlich der maximalen Absprunggeschwindigkeit (v_{max}), der maximalen Knieextensionsgeschwindigkeit (α_{max}), dem maximalen anterior shift des Körperschwerpunktes (forward shift_{max}) und des maximalen vorwärtsgerichteten Drehimpulses (L_{max}). Zum Beispiel ist bei der Imitationsform „Imi“ (Imitationsprung ohne Schuhe, ohne Rollwagen und ohne Trainerunterstützung) der Mittelwert für v_{max} um 41 % größer, der Mittelwert für forward shift_{max} um 9 % kleiner, der Mittelwert für α_{max} um 11 % kleiner und der Mittelwert für L_{max} um 37 % kleiner als der Mittelwert für den jeweiligen Parameter auf der Schanze.

Die leistungssportliche Relevanz des Projektes wurde vom zuständigen Fachverband als hoch eingestuft. Da das IAT in sehr regelmäßigen Abständen die Leistungsentwicklung der Spitzenathleten und -athletinnen dokumentiert und durch neue Innovationen für den Skisprung relevante Parameter identifiziert, ist der Transfer an das IAT sehr gewinnbringend für den Leistungssport. Die daraus entstandene Möglichkeit einer objektiven und regelmäßigen Leistungsdiagnostik ist einmalig und wird von der sportlichen Leitung im Bereich Skisprung als sehr wichtig eingestuft.

Wie bereits beschrieben war die Etablierung und Validierung des 3D Messsystem sehr aufwendig, da es sich um eine sehr komplexe Bewegungsanalyse handelt, welche nach unserem Kenntnisstand einmalig in Deutschland ist. Dies bedeutet umfangreiche Schulungen der Trainer und des IAT, welche von den Mitarbeitern des Instituts für Sport und Sportwissenschaft durchgeführt werden.

Die Schulungen sollten eine Mischung aus theoretischem Input im Sinne von Kurzvorträgen und „Hands-On“ Einheiten darstellen. Da sich aufgrund der Covid-19 Pandemie Reisen und gemeinsame persönliche Treffen als unmöglich herausstellen sollten, wurden sämtlich Schulungen online durchgeführt.

Das Hauptaugenmerk dieser Schulungen widmete sich der Auswertung der erhobenen Daten. Die Software erlaubt eine Vielzahl an Auswertungs- und Einstellungsmöglichkeiten, wovon die für den Skisprung wichtigsten Parameter besprochen und implementiert wurden. Zudem wurde umfassend über die Eigenschaften des Messsystems, wie dessen Reliabilität, berichtet. Hierzu wurden extra neue Analysen angefertigt, um die von verschiedenen Personen ausgewerteten Daten vergleichen zu können.

Tab. 1: ICC und SEM der Intra-Rater Reliabilitätsanalysen für die entsprechenden untersuchten Parameter. Die Kennwerte für die beiden Rater sind separat angegeben.

Parameter	Rater 1				Rater 2			
	ICC	95 % Konfidenzintervall		SEM	ICC	95 % Konfidenzintervall		SEM
		Untergrenze	Obergrenze			Untergrenze	Obergrenze	
v_{TO} (m/s)	.98	.91	.99	.08	.98	.93	1	.07
v_{knee} (m/s)	.95	.82	.99	64.8	.90	.60	.97	97.7
KH-Sync	.76	.14	.94	1.0	.71	-.12	.93	1.55
VI	.93	.71	.98	.03	.80	.25	.95	.05
Vorlage (cm)	.99	.95	.99	.005	.99	.95	.99	.005
Drehimpuls (Nms)	.99	.99	1...	15.08	.99	.99	1	15.23

ICC = Interclass correlation coefficient; SEM = Standard error of measure

2.1 Aufbau an der Schanze

Da der geplante Einsatz des Messsystems direkt an der Schanze ist, sollte den betroffenen Personen in einem nächsten Schritt der Aufbau und Einsatz direkt an der Schanze vermittelt werden. Aufgrund der topografischen Voraussetzungen an der Schanze sind der Aufbau und die Kalibrierung wesentlich aufwendiger als im Labor. Zum einen handelt es sich um sehr stark abfallendes Gelände und zum anderen ist die Positionierung der Kameras nur in größerem Abstand zum Schanzentisch möglich. Dadurch ist auch ein sehr großer Messbereich zu kalibrieren, was zeitaufwändig ist und sehr genau erfolgen muss, da selbst kleine Ungenauigkeiten zu großen Abweichungen der Ergebnisse führen. Aufgrund der aktuellen Covid-19 Problematik und der bereits in anderen Zusammenhängen erlangten Erfahrungen mit dem System seitens des IAT, konnte dieser Schritt nicht vor Ort, sondern via Videokonferenz durchgeführt werden.

Da während des Trainings bzw. während eines Wettkampfes die Athletinnen und Athleten in sehr kurzer Zeit hintereinander springen, ist ein reibungsloser Ablauf der Messungen nötig, was mehrere Tage an Übung und Schulung erfordert.

2.2 3D-Video-Feedback

Das Ziel der Messungen war die Erstellung von unmittelbaren Video-Reports mit relevanten biomechanischen Parametern, welche den Athletinnen und Athleten sowie den Trainerinnen und Trainern wenige Minuten nach dem Sprung zur Verfügung stehen. Dafür war zunächst zu klären, welche Parameter rückgemeldet wer-

den sollen. Im folgenden Schritt wurde dann die Auswertroutine in der SIMI Software dementsprechend angepasst und vorbereitet, da während der Messung keine Zeit für Anpassungen besteht. Die Software bietet mehrere Möglichkeiten zur Erstellung von Videoreports, welche zunächst aufgezeigt wurden.

Der letzte Schritt war dann die Erstellung einer sogenannten „pipeline“, in der definiert wird, wie die unmittelbare Auswertung der Daten erfolgen soll und wie der Report erstellt werden soll.

Ziel dieser Transfermaßnahme war es, das 3D Videofeedback an der Schanze, welches bisher vom Institut für Sport und Sportwissenschaft in Freiburg erstellt wurde, in die tägliche Trainingspraxis und somit in die Verantwortung des IAT zu überführen. Das IAT verfügte aufgrund von Einsätzen mit dem System bei anderen Sportarten bereits über ein vertieftes Wissen hinsichtlich des Aufbaus des Systems.

Daher lag das Hauptziel dieser Transfermaßnahme in der Vermittlung der Auswerte- und Feedback-Möglichkeiten. Dieses Ziel wurde zum Großteil auch erreicht, und alle vom Sportinstitut in Freiburg entwickelten Auswertroutinen und Softwareeinstellungen wurden beim IAT implementiert. Aufgrund der Pandemielage war es jedoch leider nicht möglich, eine gemeinsame Messung an der Schanze durchzuführen. Nach Ablauf des Projektes wurde jedoch vereinbart, dass der Austausch zwischen IAT und dem Sportinstitut in Freiburg weitergeführt werden soll, gerade mit Hinblick auf mögliche Messungen nach dem Ende der Pandemie.

3 Literatur

- Arndt, A., Brüggemann, G. P., Virnavirta, M., & Komi, P. (1995). Techniques used by Olympic ski jumpers in the transition from takeoff to early flight. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(2), 224-237.
- Janura, M., Cabell, L., Svoboda, Z., Elfmark, M., & Janurová, E. (2011). Analysis of the beginning of the early flight phase of the ski jump in athletes with different performance levels. *Acta Gymnica*, 41(3), 7-13.
- Janura, M., Cabell, L., Svoboda, Z., Elfmark, M., & Zahalka, F. (2011). Kinematic analysis of the take-off and start of the early flight phase on a large hill (HS-134 m) during the 2009 Nordic world ski championships. *Journal of Human Kinetics*, 27(1), 5-16.
- Jost, B., Coh, M., & Janez, P. (2000). Analysis of correlation between selected kinematic variables of the take-off and the length of the ski-jump. *Proceedings of 18th ISBS*, 256-259.
- Ketterer, J., Gollhofer, A., & Lauber, B. (2020). Biomechanical agreement between different imitation jumps and hill jumps in ski jumping. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 31(3), 1-9.
- Lauber, B. & Keller, M. (2014). Improving motor performance: selected aspects of augmented feedback in exercise and health. *European Journal of Sport Science*, 14, 36-43.
- Müller, W. (2009). Determinants of ski-jump performance and implications for health, safety and fairness. *Sports Medicine*, 39(2), 85-106.
- Schwameder, H. (2008). Biomechanics research in ski jumping – 1991-2006. *Sports Biomechanics*, 7, 114-136.
- Virnavirta, M., & Komi, P. V. (1993). Measurement of take-off forces in ski jumping – Part II. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 3, 237-243.
- Vodičar, J., & Jošt, B. (2010). The factor structure of chosen kinematic characteristics of take-off in ski jumping. *Journal of Human Kinetics*, 23(1), 37-45.

Wettkampfanalyse Taekwondo 2020

(AZ 071607/20)

Daniel Link (Projektleitung), Steffen Lang & Klaus Haggemüller

Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften,
Lehrstuhl für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

1 Einleitung

Taekwondo Zweikampf ist seit dem Jahr 2000 olympische Disziplin. Im Spitzenbereich wird die Sportart dominiert durch das Ursprungsland Südkorea, gefolgt von China und den USA. In den letzten Jahren konnten auch Großbritannien, die Türkei und der Iran ihre sportlichen Leistungen im Taekwondo deutlich verbessern. Die letzte olympische Medaille im Taekwondo für Deutschland errang Helena Fromm im Jahr 2012. In den folgenden Olympischen Spielen war Deutschland mit 3 Athleten vertreten, konnte die Medaillen-Ränge aber nicht mehr erreichen. Ziel dieses Projektes war es, kurzfristig die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Athleten für die Olympische Spiele 2020 zu verbessern und mittelfristig die Grundlage für eine professionelle Wettkampfanalyse zu schaffen. Der Projektgegenstand umfasste die Entwicklung eines Beobachtungssystems, die Etablierung eines technischen Workflows zur Datenerfassung und halbautomatisierten Auswertung sowie die Realisation erster Betreuungsmaßnahmen in Zusammenarbeit mit der Deutschen Taekwondo Union (DTU).

2 Methoden- und Technologieentwicklung

Bei der Entwicklung eines Beobachtungssystems für die Wettkampfbeobachtung war zu berücksichtigen, dass keine weltweit einheitliche Begriffsdefinition für Taekwondo-Techniken vorliegt. Die ursprünglich in Koreanisch bezeichneten Aktionen werden unterschiedlich übersetzt und auch interpretiert. Mittels einer Literaturrecherche wurden die in der Praxis verwendeten Bezeichnungen zunächst vollumfänglich identifiziert und in Abstimmung mit dem Taekwondo Bundestrainer in einem Definiti-

onskatalog zusammengefasst. Dieser beinhaltet verschiedene Kampfactionen mit rund 20 Attributen sowie die Metainformationen zu einem Wettkampf (Ort, Datum, Kämpfer, Weltranglistenpositionen usw.). Die Anzahl der Aktionen Pro Kampf variiert je nach Dauer und Intensität des Kampfes zwischen 60 und 140.

Die Erfassung der Kämpfe erfolgte auf Basis des Softwaretools Athlyzer der Athlyzer GmbH aus Frankfurt. Die quantitative Auswertung der Daten wurde über Excel realisiert. Um dies zu ermöglichen, wurde ein Konvertierungstool entwickelt, das die Rohdaten aus Athlyzer einliest, aufbereitet, mit Metainformationen zum Wettkampf ergänzt und dann exportiert. Aus dieser Exportdatei können über Excel-Markos quantitative Reports zu einem Kampf erstellt werden.

3 Betreuungsmaßnahmen

Der ursprüngliche Betreuungsplan sah vor, Analysen des Olympiaqualifikationsturnieres in Mailand (Mai 2020) sowie der Olympischen Spiele in Tokio 2020 (August 2020) durchzuführen und diese für Interventionen während dieser Wettkämpfe zu verwenden. Da diese Wettkämpfe aufgrund der Covid-19 Pandemie jedoch ausfielen, wurden stattdessen Videoaufnahmen der hochrangigen Weltanglisten-Turniere der Jahre 2019 ausgewertet. Hierzu gehörten: US Open, Las Vegas, 08.03.2019, Grand Prix, Rom, 09.06.2019, Grand Prix, Manchester, 25.06.2019, Grand Prix Final, Chiba, 13.09.2019, Grand Prix, Sofia, 20.10.2019, Grand Prix Final, Moscow, 06.12.2019 und der Grand Slam, Wuxi, 10.01.2020. Aus den insgesamt 56 Finalkämpfen wurden nach Rücksprache mit den Bundestrainern 15 Wettkämpfe, die als besonders relevant in Hinblick auf die Olympiaqualifikation erachtet wurden, ausgewählt und Gegnerprofile erstellt.

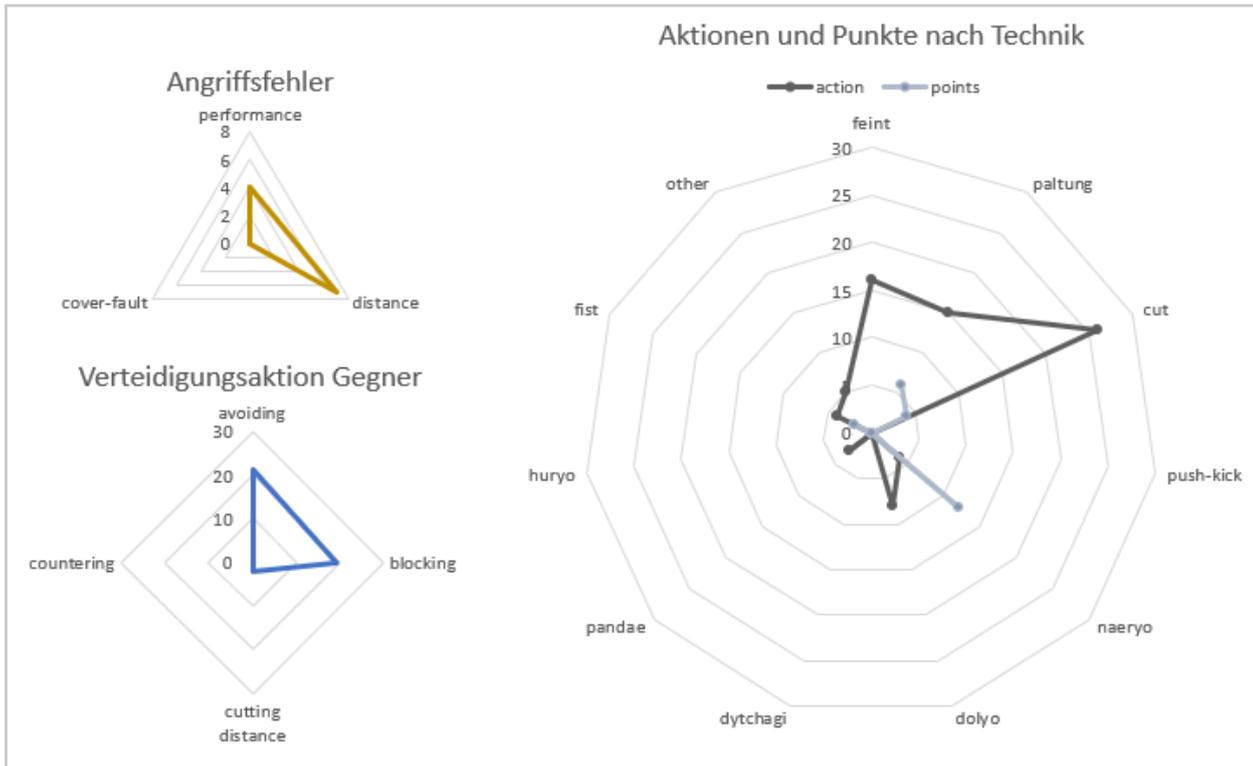


Abb. 1: Gegneranalyse Maicon Siqueira (Auszug)

Ein solches Gegnerprofil wird in Abb. 1 beispielhaft anhand des Brasilianers Maicon Siqueira gezeigt, der am 14. Dezember 2019 gegen den deutschen Olympiateilnehmer Alexander Bachmann kämpfte. Sie zeigt die eingesetzten Techniken, Treffer bzw. Gegentreffer und Abwehraktionen. Weitere Analysen zeigten, dass Siqueira alle punkterfolgreichen Aktionen mit dem hinteren rechten Bein ausführte, er mit geringer Variabilität der Angriffsaktionen arbeitete, aber offensiv-explosiv agierte.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Technik Cut-Kick von den Elite Athleten am häufigsten eingesetzt wird. Finten nutzen die männlichen Top-Athleten häufiger als der Nachwuchs. Die Punkte werden in dieser Klasse überwiegend aus der Defensive erzielt. Eine weitere Auffälligkeit ist die Besonderheit der weiblichen Athleten, die überwiegend mit dem vorderen Bein arbeiten, die Aktionen mit dem hinteren Bein aber häufiger zu einem Punkt führen. Elite-Athletinnen erzielen mit Fauststößen kaum Punkte.

Neben Gegnerprofilen wurden auch bereits erste Leistungsstrukturanalysen erstellt (Abb. 2).

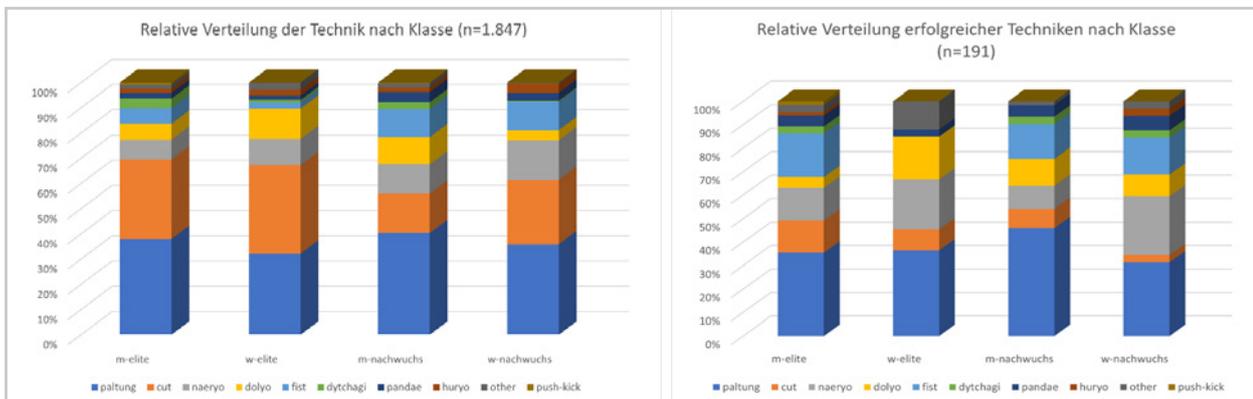


Abb. 2: Relative Verteilung von Technik und Erfolg nach Klassen

4 Fazit und Ausblick

Die ersten Einsätze der Wettkampfanalyse im Taekwondo zeigen ermutigende Ergebnisse sowohl für die individuelle Wettkampfvorbereitung als auch für die Aufklärung der Leitungsstruktur der Sportart. Die Etablierung eines ersten technischen Workflows über Athlyzer und Excel ist sicherlich als ein Fortschritt aufzufassen, allerdings werden damit die Möglichkeiten einer modernen Wettkampfdiagnostik nicht ausgeschöpft. In nachfolgenden Projekten sollen daher spezifische Software-Tools zur Datenerfassung und Analyse entwickelt werden, die – analog zum Beachvolleyball (Link & Ahmann, 2018), Goalball (Link & Weber, 2018) oder Paratennis (Link, Fuchs und Ziegler, 2018) – speziell auf die Bedürfnisse im Taekwondo zugeschnitten sind.

5 Literatur

- Link, D., & Ahmann, J. (2013). Moderne Spielbeobachtung im Beach-Volleyball auf Basis von Positionsdaten. *Sportwissenschaft*, 43(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1007/s12662-013-0282-z>
- Link, D., & Weber, C. (2018). Finding the gap: An empirical study of the most effective shots in elite goalball. *PLOS ONE*, 13(4), e0196679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196679>
- Link, D., Fuchs, M., & Ziegler, V. (2018). Spielanalyse Paratennis 2017. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft, *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2017/2018*, 95-97.

Wettkampfanalyse Badminton 2020

(AZ 071610/20)

Fabian Hammes¹, David Fischer-Eisentraut², Hannes Käsbauer³ & Daniel Link (Projektleitung)¹

¹Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften,
Lehrstuhl für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

²Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) Leipzig

³Deutscher Badminton-Verband e. V.

1 Einleitung

Systematische Wettkampfanalysen sind ein zentrales Element im heutigen Spitzensport. Auch Badminton bildet hierbei keine Ausnahme. So sind neben dem Praxiseinsatz in den letzten Jahren zahlreiche Veröffentlichungen erschienen, die sich mit der Thematik beschäftigen. In vielen Fällen stehen hierbei allerdings die Spieleröffnung (Fischer et al., 2016) sowie die Punkterzielung, bzw. die Aktion, mit der ein Ballwechsel beendet wird (Barreira & Chiminazzo, 2020), im Vordergrund. Mit dem vorliegenden Projekt wurde hingegen *der Mittelteil* eines Ballwechsels, aus dem sich in vielen Fällen bereits eine Punkterzielung ableiten lässt (Fischer et al., 2017; Gawin et al., 2012), in den Fokus der Spielanalyse genommen. Insbesondere der Wechsel von einem taktischen Gleichgewichtszustand in ein Ungleichgewicht innerhalb des Ballwechsels, der sich durch besonders gute oder besonders schlechte Aktionen (sog. *Keyplays*) herbeiführen lässt, wurde näher untersucht. Die Sportwissenschaft spricht in Anlehnung an die Theorie der dynamischen Systeme häufig von *Perturbationen*, also von Störungen des relativen Gleichgewichtes (Robins & Hughes, 2015).

Das Ziel des vorliegenden Projekts bestand zunächst darin, diese *Keyplays*, die bisher lediglich relativ lose beschrieben wurden, genau zu definieren, um anschließend daraus eine Erfassungssystematik für die Wettkampfanalyse ableiten zu können. Die neu gewonnenen Erkenntnisse wurden beim World Tour-Turnier in Saarbrücken im Oktober 2020 erstmals zur taktischen Gegneranalyse in der Praxis erprobt.

2 Entwicklung einer Erfassungssystematik

Für eine Definition der Gleichgewichts- bzw. Ungleichgewichtszustände wurde zunächst auf eine Darstellung von Uhre (2019) zurückgegriffen. Die hier in einem Modell beschriebenen Zonen – rote Zone für einen klaren Nachteil, gelbe Zone für ein Gleichgewicht und grüne Zone für einen klaren Vorteil einer Seite – wurden in einem ersten Schritt konkretisiert und somit objektivierbar gemacht. Diese Konkretisierung des Zonenmodells beinhaltet u. a. Beschreibungen, in welcher Höhe der Schlagtreffpunkt stattfinden muss, damit ein Schlag der grünen, gelben oder roten Zone zugeordnet werden kann.

Auf das Zonenmodell wurde anschließend für eine Definition der *Keyplays* zurückgegriffen. Demnach ist ein positives *Keyplay ein deutlicher Zonenwechsel für Partei A in die grüne Zone* (Zone 3). Partei B agiert somit vor dem *Keyplay* aus der grünen (Zone 3) oder gelben Zone (Zone 2), im direkten Anschluss an das *Keyplay* allerdings deutlich aus der roten Zone (Zone 1). Auf der anderen Seite handelt es sich bei einem negativen *Keyplay um einen deutlichen Zonenwechsel für Partei A in die rote Zone* (Zone 1). Der vor dem *Keyplay* angesiedelte Schlag von Partei B findet aus der gelben (Zone 2) oder roten Zone (Zone 1) statt, während der Schlag nach dem *Keyplay* aus der grünen Zone (Zone 3) erfolgt.

Mit der Erstellung von Attributen der *Keyplays* wurde das Ziel verfolgt, diese möglichst genau, aber mit vertretbarem Aufwand zu beschreiben.

Diese Beschreibung ist nötig, um anschließend aussagekräftige statistische Auswertungen durchführen zu können. Auch im Hinblick auf die zukünftige Anwendung von Algorithmen der künstlichen Intelligenz wurden die Attribute mit entsprechenden Ausprägungen ausgewählt. Bei der Auswahl der Attribute konnte auf die Erkenntnisse der Wettkampfanalyse im Beachvolleyball (I1-070504/19-20) zurückgegriffen werden, da sich strukturell hier durchaus Ähnlichkeiten erkennen lassen.

Folgende Attribute wurden erstellt:

- › Positiv/Negativ,
- › Schlagtechnik,
- › Feldzone Schlag,
- › Schlagplatzierung,
- › Schlagrichtung,
- › Schlag,
- › Schlagzone,
- › Deckung Gegner,
- › Besonderheit,
- › Punkt in der Folge.

Da sich die Schlagrichtung (Attribut 5) aus den Attributen 3 und 4 direkt ableiten lässt, wird es nicht als eigenständiges Attribut geführt, womit insgesamt neun vollwertige Attribute ein Keyplay beschreiben.

3 Exemplarische Einzelfallanalyse

Aufgrund des geringen Umfangs an bisher durchgeführten Analysen wird im Folgenden eine exemplarische Einzelfallanalyse dargestellt. Bei der dargestellten Analyse handelt es sich um ein Herreneinzel, das zum Zweck der taktischen Gegneranalyse während der Saarlorlux Open 2020 erstellt wurde. In Abb. 1 sind die wesentlichen Erkenntnisse daraus zusammengefasst.

Während auf der linken Hälfte die Auswertung in Bezug auf die negativen Keyplays gezeigt wird, behandelt die rechte Hälfte die positiven Keyplays. Auf allen dargestellten Spielfeldern gibt die untere Hälfte die Spielfeldseite der analysierten Person an, und somit aus welcher Zone die Keyplays erfolgten, während die obere Hälfte die Spielfeldseite des Gegners darstellt, womit diese die Schlagplatzierung der Keyplays anzeigt. Die Summe der unteren Hälfte ergibt somit auch immer die Summe der oberen Hälfte. Die groß dargestellten Spielfelder geben eine Übersicht über alle vorkommenden Keyplays. Die am häufigsten vorkommenden Keyplays werden in den kleineren Spielfeldern nochmals mit höherer Informationsdichte dargestellt – die jeweils oberen drei Spielfelder zeigen die häufigsten Schlagplatzierungen, die jeweils unteren drei Spielfelder die am häufigsten vorkommenden Schlagzonen.

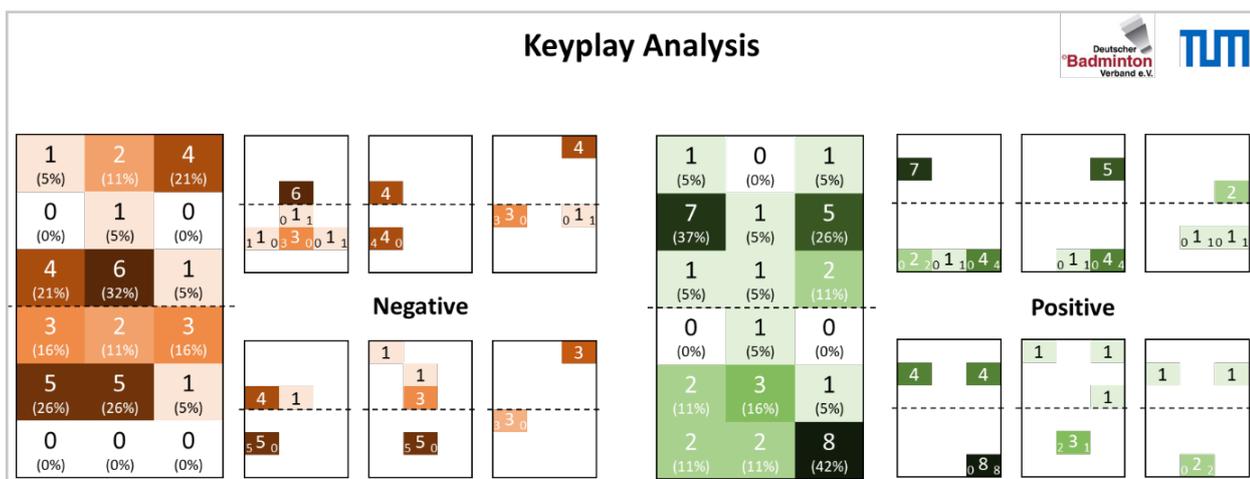


Abb. 1: Exemplarische Keyplayanalyse

Zusätzlich wird hier dargestellt, von wo die entsprechenden Keyplays kommen (oben) bzw. wohin die Keyplays gespielt werden (unten). Ebenfalls gezeigt wird – durch die kleinen Zahlen in der linken und rechten unteren Ecke einer Zone –, ob die Schläge mit der Vor- oder der Rückhand ausgeführt wurden.

In der vorliegenden Analyse war die größte Auffälligkeit, dass der analysierte Spieler im Hinterfeld von seiner rechten Seite, und da es sich um einen Rechtshänder handelt von seiner Vorhandseite, deutlich gefährlicher agierte als von seiner Rückhandseite. Diese Erkenntnis kommt daher, dass er von der Vorhandseite im Hinterfeld 8 positive Keyplays produzierte, von der Rückhandseite jedoch lediglich 2. Diese Information ist daher von hohem Nutzen für den eigenen Spieler, da es sich relativ einfach umsetzen lässt, im Gleichgewichtszustand des Ballwechsels tendenziell bei eigenen langen Bällen eher die Rückhandseite als die Vorhandseite des Gegners anzuspielden.

Weiterhin konnte eine vermeintliche Abwehrschwäche auf der Rückhandseite erkannt werden – zu sehen an den 5 negativen Keyplays in der Abwehr auf der Rückhandseite, während auf der Vorhandseite lediglich ein negatives Keyplay identifiziert wurde. Auch diese Information lässt sich relativ leicht in eine taktische Marschroute umsetzen, indem bei eigenem Angriff tendenziell eher die Rückhandseite der analysierten Person angespielt werden sollte.

4 Fazit

Die ersten exemplarischen Studien lassen auf ein hohes leistungsdiagnostisches Potential des entwickelten Analyseverfahrens schließen. Dies wird insbesondere auch durch Rückmeldungen aus dem Trainerteam der DBV bestätigt. Die Rückmeldungen zeigen allerdings auch, dass ein regelmäßiger Austausch zu dem Thema sehr hilfreich ist, um zukünftig einzelne Punkte konkretisieren zu können. Bspw. bedarf es weiterer Klärung, ob direkte Winner bzw. unerzwungene Fehler (sog. Unforced Errors) Teil der Keyplayanalyse sein sollen, obwohl sie sich nicht auf den Mittelteil des Ballwechsels beziehen. Trotzdem gibt die neuartige Analyse bereits im vorhande-

nen Stadium einen guten und leicht zu lesenden Überblick über die Stärken und Schwächen von Spielerinnen und Spielern, auf die in einem Videostudium gezielt geachtet werden kann. Tatsächliche wissenschaftliche Belege bspw. in Bezug auf die Wirksamkeit einzelner Keyplays in bestimmten Spielsituationen erhoffen wir uns in der nahen Zukunft, wenn die Stichprobenmenge für solche Auswertungen ausreichend ist.

5 Literatur

- Barreira, J., & Chiminazzo, J. G. C. (2020). Who, how and when to perform winner points and unforced errors in badminton matches? An analysis of men's single matches in the 2016 Olympic Games. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 20(4), 610-619.
- Fischer, D., Schemel, U., Hasse, H., & Büsch, D. (2016). Kritische Betrachtung der Spieleröffnung als leistungsbestimmender Faktor in den Doppeldisziplinen im Badminton. *Leistungsfaktoren in den Spiel- und Zweikampfsportarten*, 5, 75-88.
- Fischer, D., Schemel, U., Kranitz, M., & Hasse, H. (2017). Analyse der Olympischen Spiele 2016 im Badminton. In J. Wick & I. Seidel, & D. Büsch (Hg.), *Olympiaanalyse Rio 2016: Olympiazklusanalysen und Auswertungen der Olympischen Spiele 2016* (S. 222-237). Meyer & Meyer.
- Gawin, W., Beyer, C.-N., Büsch, D., & Hasse, H. (2012). Analyse der Olympischen Spiele 2012 in der Sportart Badminton. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 19(2), 16-34.
- Robins, M., & Hughes, M. (2015). Dynamic systems and 'perturbations'. In M. Hughes & I. M. Franks (Hg.), *Essentials of Performance Analysis in Sports* (2. Aufl., S. 239-269). Routledge.
- Uhre, L. (22. August 2019). *Simplifying Complex Tactical Training for Singles*. BWF. World Coaching Conference, Basel. <https://bwfbadminton.com/news-single/2019/09/26/how-transition-training-helped-peter-gade>

Sozial- und Verhaltenswissenschaften

Optimierung von Ausdauerleistung durch psychologische Selbstregulationsstrategien

(AZ 071003/19-20)

Anna Hirsch, Maik Bieleke, Raphael Bertschinger & Wanja Wolff (Projektleitung)

Universität Konstanz, Sportwissenschaft, Sportpsychologie

1 Hintergrund

Herausragende sportliche Leistung ist ein Ausdruck gelingender Selbstregulation. Eine Vielzahl an Forschungsergebnissen zeigt, dass gute Selbstregulation (oder Selbstkontrolle) erfolgreiche Leistung befördert (Englert, 2016). Diese Annahme wird auch vermehrt durch Ergebnisse aus den Neurowissenschaften unterstützt (Wolff et al., 2020). Selbstregulation wird hierbei als Zusammenspiel verschiedener psychischer Prozesse der Anpassung von Erleben und Verhalten im Dienste der Zielerreichung definiert (Vohs & Baumeister, 2016). Die Relevanz von Selbstregulation für sportliche Leistung wird auch von aktuellen Theorien zur Ausdauerleistung betont: Nach dem psychobiologischen Model der Ausdauerleistung beenden Athleten bzw. Athletinnen eine Aufgabe nicht allein aufgrund von muskulärer Erschöpfung, sondern aufgrund der wahrgenommenen Anstrengung (Marcora, 2008; Marcora et al., 2008; Marcora, 2009). Sie beenden dementsprechend eine anstrengende Aufgabe dann, wenn das subjektiv gerechtfertigte oder mögliche Anstrengungslevel überschritten wird. Damit entspricht der Leistungsabbruch eher einem bewussten Akt der Selbstregulation als einem reinen Produkt physiologischer Erschöpfung (Pageaux, 2014). Es wird angenommen, dass psychologische Strategien die Ausdauerleistung verbessern, wenn sie die Anstrengungswahrnehmung reduzieren und/oder die Anstrengungsbereitschaft erhöhen (z. B. Blanchfield et al., 2014).

In diesem Projekt wurden Durchführungsintentionen verwendet (sogenannte „Wenn-Dann Pläne“, Gollwitzer, 1999, 2014). Dabei handelt es sich um eine umfassend untersuchte Selbstregulationsstrategie (siehe Bieleke, Keller, & Gollwitzer, 2021 für einen Überblick).

Wir haben diese Strategie verwendet, um zu untersuchen, ob mittels Durchführungsintentionen die wahrgenommene Anstrengung reduziert und damit die Ausdauerleistung verbessert werden kann. Bei Durchführungsintentionen wird das Erreichen eines Ziels (z. B. „Ich möchte X erreichen“) durch Wenn-dann-Pläne unterstützt (z. B. „Wenn ich überholt werde, dann fahre ich ruhig und konzentriert weiter!“). Positive Auswirkungen von Durchführungsintentionen auf sportliche Leistung wurden bereits im Tennis (Achtziger et al., 2008) und im Golf (Stern et al., 2013) festgestellt. Auch wird die tatsächliche Umsetzung von körperlicher Aktivität durch Durchführungsintentionen erleichtert (Bélanger-Gravel et al., 2013; Rhodes & Bruijn, 2013). Entsprechend besteht vielfach die Annahme, dass Durchführungsintentionen eine hilfreiche Strategie im Sport sein könnten (zum Beispiel Brick et al., 2016; McCormick et al., 2018). Tatsächlich müssen im Sport viele Herausforderungen bewältigt werden, bei denen die Wirksamkeit von Durchführungsintentionen bereits gezeigt wurde (für eine allgemeine Übersicht, siehe Gollwitzer & Oettingen, 2011; spezifisch für den Ausdauersport, siehe Wolff et al., 2019). So automatisieren sie beispielsweise das Erkennen kritischer Situationen und das Initiieren von zielgerichteten Handlungen (Gollwitzer, 2014). Diese Eigenschaften sind für effektive Selbstregulation im Sport (beispielsweise im Umgang mit Abbruchtendenzen unter hohem Stress- und Belastungserleben; Wolff et al., 2019) essentiell. Allerdings mangelt es bislang an Untersuchungen, die die Effektivität von Durchführungsintentionen dezidiert in konkreten sportlichen Leistungskontexten untersuchen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Makroevidenz zu ihrer Wirksamkeit im Sport bereits vorliegt (z. B. bezogen auf den Aufbau regelmäßigen Sportverhaltens) – eine umfassende Prüfung im Mikrokontext (z. B. bezogen auf einzelne Leistungssituationen im Leistungssport) bislang aber noch nicht stattgefunden hat. Aus diesem Grund hat sich das hier vorgestellte Forschungsprojekt das Ziel gesetzt, mithilfe eines multimethodischen Ansatzes zu untersuchen, ob und wie exakt auf die akuten Anforderungen des Ausdauersports zugeschnittenen Durchführungsintentionen leistungssteigernd wirken können. Diese Forschungsfrage wird am Beispiel Radsport untersucht, und es werden Machbarkeit und Effektivität von Durchführungsintentionen geprüft, die den situativen (Aufgabe) und individuellen (Athlet/Athletin) Anforderungen im Radsport gerecht werden.

2 Methode

Durchführungsintentionen, im folgenden auch Wenn-Dann Pläne genannt, wurden im Verlauf unseres Projektes in verschiedenen Kontexten untersucht. Für die Formulierung eines Wenn-Dann Planes sind zwei Kernelemente entscheidend: eine kritische Situation, die für das Erreichen des Ziels entscheidend sein könnte (z. B. ein inneres Hindernis, das der Zielerreichung im Weg steht) und ein zielgerichtetes Verhalten, das für den zieldienlichen Umgang mit dieser Situation eingesetzt werden könnte (z. B. wie das Hindernis überwunden werden kann). Diese beiden Elemente werden dann zu einem Wenn (Situation)-Dann (Verhalten) Plan verknüpft. Im Radsport könnte zum Beispiel das Ziel, eine Etappe der Tour de France zu gewinnen, durch Versagensängste bedroht sein. Die Sportler und Sportlerinnen könnten sich dann selbst ermutigen, indem sie sich an die eigene gute Vorbereitung erinnern (z. B. „Wenn ich Angst spüre, zu versagen, dann sage ich mir: ich habe gut trainiert!“). Zur umfassenden Untersuchung der Wirksamkeit von Wenn-Dann Plänen im Ausdauersport wurden Stichproben mit verschiedenen Perspektiven und Qualifikationen analysiert: im Freizeitsport und Amateurradsport, bei Kaderathletinnen und -athleten, im (semi-)professionellen Radsport und bei Elite-Traineeinnen und -trainern.

Bei Untersuchungen der sportlichen Leistung wurde mit Messwiederholungen (Zeitpunkt: vor der Intervention (T1) vs. nach der Intervention (T2)) und dem Vergleich zwischen zwei Stichproben (Bedingung: Zielintention vs. Durchführungsintention) gearbeitet. Schließlich wurden über die verschiedenen Studien hinweg multimethodale Methoden zur Erfassung sportlichen Erlebens und Verhaltens eingesetzt (z. B. Selbstberichte, beobachtbares Verhalten, physiologische und neuropsychologische Prozesse).

3 Ergebnisse

3.1 Einsatz von Wenn-Dann Plänen im Freizeitsport

In einer ersten Studie wurden zuerst die Hindernisse (Wenn-Komponente) und Strategien (Dann-Komponente) von Freizeitsportlerinnen und -sportlern mit qualitativen Methoden exploriert und dann die hieraus formulierten Wenn-Dann Pläne hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Leistungsverbesserung in einem Wingate-Test (anaerobe Leistungsfähigkeit) und einem Stufentest (aerobe Ausdauer) untersucht (Studie 1; Hirsch et al., 2021). In beiden Tests war Anstrengungserleben das häufigste genannte Hindernis, während die Motivation, gut zu sein, Selbstanfeuerung und Körperfokus und Fokus auf Radfahren die häufigsten Strategien darstellten. Zusätzlich zu bereits in der Literatur etablierten Hindernissen wurde auch Langeweile (im Stufentest) als testspezifisches Hindernis genannt, welches ein bislang eher unterbeforschtes Hindernis im Ausdauersport ist (Wolff et al., 2021). Die Zusammensetzung der identifizierten Hindernisse und Strategien in maßgeschneiderte Wenn-Dann Pläne führte weder im Wingate- noch im Stufentest zu einer Verbesserung der Leistung, dennoch konnten wichtige Anwendungshinweise für den Einsatz von Durchführungsintentionen im Freizeitsport abgeleitet werden. Es scheint wichtig zu sein, weniger erfahrene Athletinnen und Athleten über mögliche Hindernisse (z. B. Muskelschmerzen) und Strategien (wie Selbstanfeuerung) aufzuklären, einen Plan zu verwenden, der mit zeitlichem Abstand zu einer sportlichen Aufgabe geübt werden kann, und insgesamt

sicherzustellen, dass sich die Freizeitsportlerinnen und -sportler in dem entsprechenden Sport auskennen, um deren Selbstwirksamkeitsempfinden zu erhöhen.

In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass im Freizeitsport unter bestimmten Bedingungen Wenn-Dann Pläne leistungssteigernd einsetzen können (Studie 2; Hirsch et al., 2020). Nach Absolvieren einer ersten statisch-muskulären Halteaufgabe wurden Freizeitsportlerinnen und -sportler befragt, ob sie die Aufgabe aufgrund von Anstrengung oder Schmerz beendet hatten. Anschließend erarbeiteten sie einen entsprechenden Wenn-Dann Plan, der spezifisch auf den Abbruchgrund fokussiert war (z. B. „Und wenn meine Anstrengung/mein Schmerz zu hoch wird, dann sage ich mir: Ich kann noch weiter machen!“) und führten die Halteaufgabe ein zweites Mal durch. Es zeigte sich, dass die impliziten Annahmen der Freizeitsportlerinnen und -sportler über ihre Leistungslimitationen (physisch oder psychisch) die Wirkweise von Wenn-Dann Plänen moderierten und dass Pläne, welche kongruent zu den impliziten Annahmen und den wahrgenommenen Leistungslimitationen der Teilnehmenden waren, deren Leistung verbesserten. So waren in der Bedingung mit Durchführungsintentionen stärkere Entitätsüberzeugungen (d. h., der Glaube daran, dass Sportlichkeit angeboren und unveränderlich ist) mit längerer Durchhaldedauer assoziiert, wenn Versuchspersonen planten, Anstrengung (als mentale Limitierung) zu ignorieren, aber mit geringerer Durchhaldedauer, wenn sich auf Schmerz (als körperliche Limitierung) fokussiert wurde (siehe Abb. 1, S. 4). Bei Geist-über-Körper-Überzeugungen (d. h., der Glaube daran, dass Leistung eher durch psychische als durch physische Faktoren limitiert ist) zeigte sich ein genau gegensätzliches Bild. So profitieren beispielsweise Freizeitsportlerinnen und -sportler mit hohen Entitätsüberzeugungen und niedrigen Geist-über-Körperüberzeugungen von einem anstrengungsfokussierten Wenn-Dann Plan (im Vergleich zu einer Zielintentionsbedingung).

3.2 Einsatz von Wenn-Dann Plänen im Amateur-/Eliteradsport

Für den fundierten Einsatz von Wenn-Dann Plänen im Spitzenradsportbereich beleuchteten wir die inneren Herausforderungen (Wenn-Komponente) und zielgerichteten Verhaltensweisen (Dann-Komponente) von Elite- und Jugendathletinnen bzw. -athleten des Bundes Deutscher Radfahrer (BDR) in Wettkampfsituationen mit einem hierfür eigens entwickelten Fragebogen (Studie 3; Hirsch et al., in Vorbereitung). Eine umformulierte Version dieses Fragebogens wurde verwendet, um diese Forschungsfragen aus der Perspektive von Elite-Trainerinnen und -trainern (ebenfalls des BDR) zu untersuchen (Studie 4; Hirsch et al., in Vorbereitung). Die häufigsten genannten inneren Hindernisse waren der Umgang mit anspruchsvollen Situationen, Druck und Konzentration, während die am häufigsten genannten zielgerichteten Verhaltensweisen Vorbereitung, Selbstermutigung, Entspannung (Athletinnen bzw. Athleten) und Konzentration (Trainerinnen bzw. Trainer) waren. Diese Studien zeigten einerseits, dass sowohl Athletinnen und Athleten als auch Trainerinnen und Trainer über umfassendes Wissen bezüglich innerer Hindernisse und anwendbarer Strategien verfügen, was es ihnen leicht machen sollte, effektive Wenn-Dann Pläne zu fassen und anzuwenden. Andererseits könnte man in weiterer Forschung Wenn-Dann Pläne mehr in Richtung negative Emotionen (Hindernis) und in Richtung Entspannung, Konzentration, Vorbereitung und Selbstanfeuerung (Strategie) konzipieren.

Anhand der Ergebnisse dieser Befragung wurde schließlich die Effektivität von Wenn-Plänen in einem multimethodalen Experiment unter Einbezug von behavioralen, psychophysiologischen und neuronalen Parametern untersucht, um die bisherigen Erkenntnisse dieser Projektreihe zu bündeln (Studie 5; Publikation in Vorbereitung). Dazu absolvierten Kaderathletinnen und -athleten (dank einer Kooperation mit dem Württembergischen Radsportverband) und erfahrene Amateurradsportlerinnen und -sportler ein 3000 Meter langes virtuelles Bergzeitfahren auf dem Fahrradsimulator (Dahmen et al., 2011) entweder mit Wenn-Dann Plänen oder ohne Pläne (Kontrollgruppe).

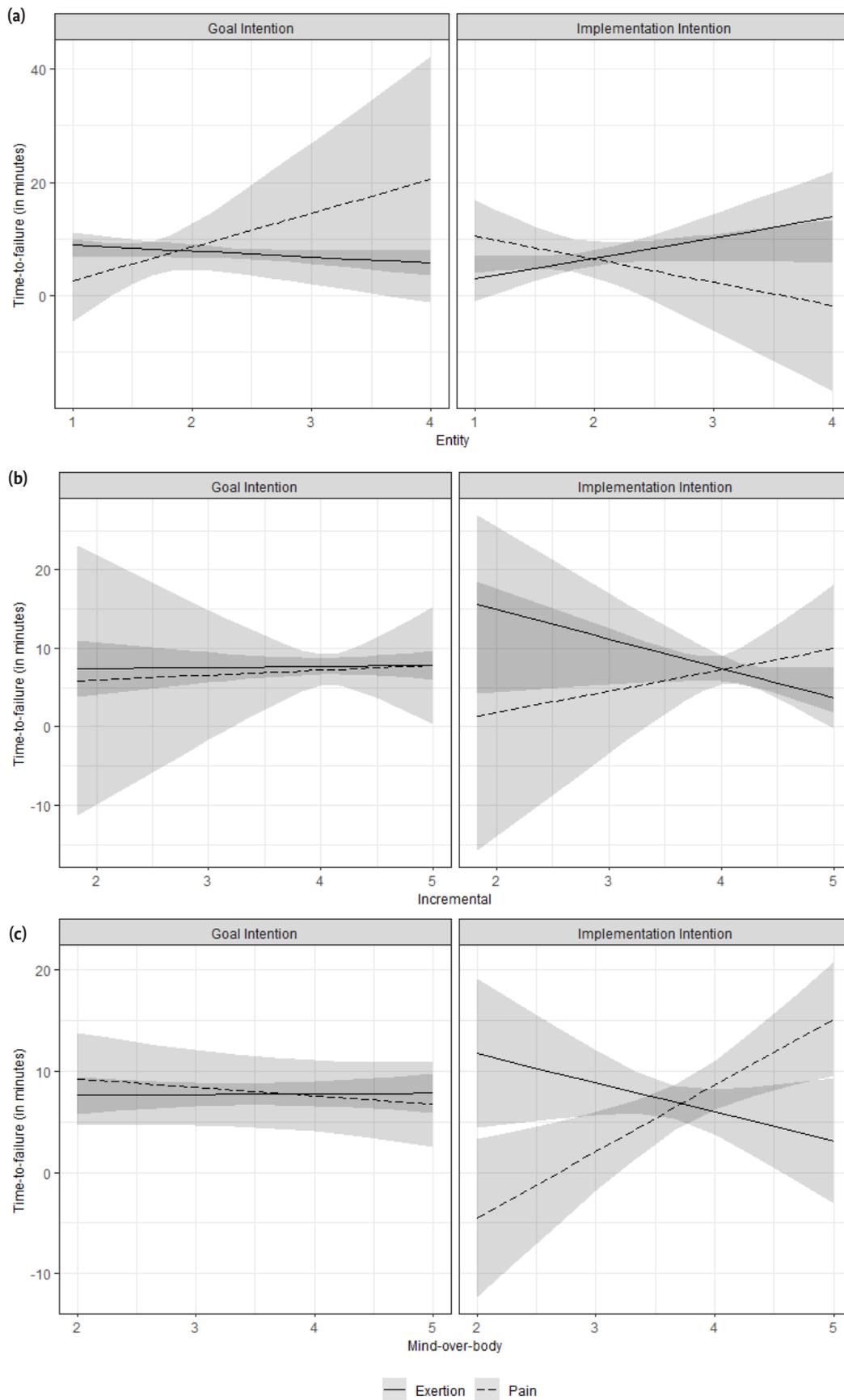


Abb. 1: Geschätzte Durchhaltedauer in Abhängigkeit von der Bedingung (Ziel vs. Wenn-Dann-Plan), der Limitierung (Anstrengung vs. Schmerz) und (a) Entitätsüberzeugungen, (b) inkrementelle Überzeugungen und (c) Geist-über-Körper-Überzeugungen (Abbildung aus Hirsch et al., 2020).

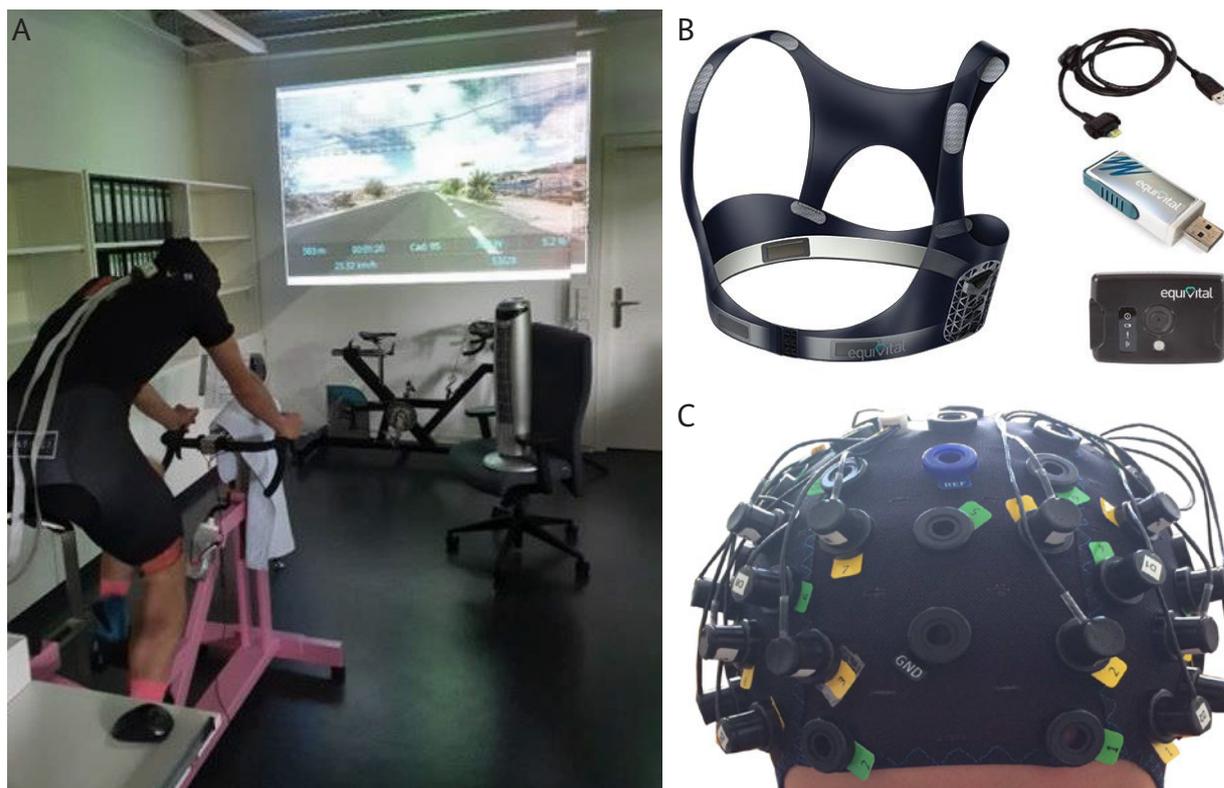


Abb. 2: Messgeräte Studie 5: A) Fahrradsimulator für virtuelles Bergzeitfahren, ausgestattet mit B) Equival Gurt (Hidalgo Equival) und C) fNIRS-Kappe (Abbildung aus Wolff et al., 2020).

Dabei wurden leistungsbezogene Parameter (Zeit, Poweroutput; Abb. 2A), psychologische Parameter (Belastungsempfinden), physiologische Parameter (Herzfrequenz, Herzratenvariabilität, Atemfrequenz und Hauttemperatur, gemessen mit Equival; Hidalgo Equival; Abb. 2B) und neuronale Aktivität im dorsolateralen präfrontalen Kortex (dlPFC) mit funktionaler Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS; NIRx Medical Technologies LLC, 2015; Abb. 2C) erhoben (siehe Aufbau und Komponenten in Abb. 2). Der dlPFC ist für die Untersuchung der Wirksamkeit von Wenn-Dann Plänen im Sport zweifach von besonderer Bedeutung: zum einen wird der laterale PFC (lPFC) mit selbstregulatorischen Prozessen assoziiert (Cohen & Lieberman, 2010; Miller & Cohen, 2001), außerdem bilden sich in der kortikalen Aktivität gegebenenfalls Effekte selbstregulatorischer Strategien ab, die nicht notwendigerweise im beobachtbaren Verhalten sichtbar sind (z. B. Wolff et al., 2016). Zum anderen führten Durchführungsintentionen in bisherigen Studien zu einer vergleichsweise geringeren Aktivität im lPFC (Hallam et al., 2015; Huppert et al., 2006).

in einer fNIRS-Studie von Wolff et al. (2018) führten Wenn-Dann Pläne auch im Verlauf einer ausdauersportlichen Belastung zu reduzierter Aktivierung im lateralen Präfrontalkortex (lPFC). Wenn-Dann Pläne sollten also auch während des Bergzeitfahrens zu einer geringeren Involvement des lPFC führen, da die Automatisierung bewusste Verhaltenskontrolle weniger relevant macht. Eine vorläufige Auswertung legt zunächst keine globalen Leistungsunterschiede durch die Anwendung von spezifischen Wenn-Dann Plänen sowie keine Unterschiede in der Oxygenierung nahe. Allerdings stehen Analysen beispielsweise zu den dynamischen Veränderungen der erfassten physiologischen und neuronalen Parameter noch aus. So beeinflussen Wenn-Dann Plänen das subjektive Anstrengungserleben teilweise erst gegen Ende einer Belastung (z. B. Bieleke & Wolff, 2017). Außerdem sind gemeinsame Analysen der erfassten Parameter geplant, die Einblick beispielsweise in die Effizienz der Leistungserbringung liefern können (z. B. Kosten auf subjektiver und neuronaler Ebene im Verhältnis zur erbrachten Leistung).

4 Diskussion

Zusammenfassend liefert dieses interdisziplinäre Projekt wichtige Erkenntnisse zum Einsatz von Wenn-Dann Plänen im Spitzensportbereich und auch im Freizeitsportbereich auf neuro- und sportwissenschaftlicher Ebene sowie zum Zusammenspiel zugrundeliegender Moderatoren. Dass eine dezidierte Verbesserung der sportlichen Leistung nicht in allen Experimenten gefunden wurde, macht deutlich, mit welchen komplexen Anforderungen Ausdauersportlerinnen und -sportler sich auseinandersetzen müssen und dass eine effektive Kombination von Hindernis und Strategie im Wenn-Dann Format eine hochindividualisierte Herangehensweise verlangt. Die vorliegenden Ergebnisse legen daher nahe, dass pauschale Empfehlungen zum Erstellen und Anwenden von Wenn-Dann Plänen im Spitzensport zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausgesprochen werden können und dass weitere vertiefende Forschung zu der effektiven Individualisierung von Wenn-Dann Plänen benötigt wird. Ergebnisse einer abschließenden projektnahen Publikation – einem Scoping Review zur Effektivität von Wenn-Dann Plänen im Sport – deuten zum Beispiel darauf hin, dass es wichtig sein könnte, persönliche und situative Faktoren bei der Wenn-Dann Plan Erstellung zu berücksichtigen (Bieleke, Wolff, et al., 2021). Neben einer reinen Verbesserung auf beobachtbarer Leistungsebene bieten Interventionen wie Wenn-Dann Pläne möglicherweise auch auf psychischer Ebene eine Unterstützung für Athletinnen und Athleten im Umgang mit herausfordernden Situationen. Dies könnte ihre Zufriedenheit und Selbstsicherheit weiter fördern (vgl. McCormick & Meijen, 2019) und damit langfristig ebenfalls Leistung verbessern. Die Projektergebnisse stellen einen wichtigen Beitrag im Bereich der heterogenen empirischen Befundlage im Bereich der Wenn-dann-Planungsforschung im Sport dar und bieten Orientierung zur Anwendung von Durchführungsintentionen im Ausdauersportbereich über verschiedene sportliche Populationen hinweg. Darüber hinaus können die Erkenntnisse dieses Projektes für die Konzeption weitergehender sportpsychologischer Interventionen verwendet werden. Die umfassende Untersuchung in sportlichen Teilbereichen macht außerdem einen Transfer auf andere Ausdauersportarten möglich.

5 Literatur

- Achtziger, A., Gollwitzer, P. M., & Sheeran, P. (2008). Implementation intentions and shielding goal striving from unwanted thoughts and feelings. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 34(3), 381-393. <https://doi.org/10.1177/0146167207311201>
- Bélanger-Gravel, A., Godin, G., & Amireault, S. (2013). A meta-analytic review of the effect of implementation intentions on physical activity. *Health Psychology Review*, 7(1), 23-54. <https://doi.org/10.1080/17437199.2011.560095>
- Bieleke, M., Keller, L., & Gollwitzer, P. M. (2021). If-then planning. *European Review of Social Psychology*, 32(1), 88-122. <https://doi.org/10.1080/10463283.2020.1808936>
- Bieleke, M., Wolff, W., Englert, C., & Gollwitzer, P. M. (2021). If-Then Planning in Sports. *Zeitschrift Für Sportpsychologie*, 28(3), 109-120. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000336>
- Blanchfield, A. W., Hardy, J., & Marcora, S. M. (2014). Non-conscious visual cues related to affect and action alter perception of effort and endurance performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 967. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00967>
- Brick, N., MacIntyre, T. E., & Campbell, M. J. (2016). Thinking and action: A cognitive perspective on self-regulation during endurance performance. *Frontiers in Physiology*, 7, 159. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00159>
- Cohen, J. R., & Lieberman, M. D. (2010). The common neural basis of exerting self-control in multiple domains. *Self-Control in Society, Mind, and Brain*, 1, 141-162. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195391381.003.0008>
- Dahmen, T., Byshko, R., Saupe, D., Röder, M., & Mantler, S. (2011). Validation of a model and a simulator for road cycling on real tracks. *Sports Engineering*, 14, 95-110. <https://doi.org/10.1007/s12283-011-0076-1>

- Englert, C. (2016). The strength model of self-control in sport and exercise psychology. *Frontiers in Psychology*, 7, 314. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00314>
- Gollwitzer, P. M. (1999). Implementation intentions: Strong effects of simple plans. *American Psychologist*, 54(7), 493–503. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.54.7.493>
- Gollwitzer, P. M. (2014). Weakness of the will: Is a quick fix possible? *Motivation and Emotion*, 38, 305–322. <https://doi.org/10.1007/s11031-014-9416-3>
- Gollwitzer, P. M., & Oettingen, G. (2011). Planning promotes goal striving. In K. D. Vohs & R. F. Baumeister (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 162–185). Guilford Press.
- Hallam, G. P., Webb, T. L., Sheeran, P., Miles, E., Wilkinson, I. D., Hunter, M. D., Barker, A. T., Woodruff, P. W. R., Totterdell, P., Lindquist, K. A., & Farrow, T. F. D. (2015). The neural correlates of emotion regulation by implementation intentions. *PloS One*, 10(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119500>
- Hidalgo Equival. *Equival EQ02 SEM* (Version EQ-02-SEM-012) [Computer software]. ADInstruments. UK. <https://www.equival.com/products/eq02-lifemonitor>
- Hirsch, A., Bieleke, M., Bertschinger, R., Schüler, J., & Wolff, W. (2021). Struggles and strategies in anaerobic and aerobic cycling tests: A mixed-method approach with a focus on tailored self-regulation strategies. *PloS One*, 16(10), e0259088. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259088>
- Hirsch, A., Bieleke, M., Schüler, J., & Wolff, W. (in Vorbereitung). Inner Obstacles and Goal-Directed Behaviors of Elite and Youth Level Cyclists: A Qualitative Analysis From the Perspective of Athletes and Coaches.
- Hirsch, A., Bieleke, M., Schüler, J., & Wolff, W. (2020). Implicit theories about athletic ability modulate the effects of if-then planning on performance in a standardized endurance task. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph17072576>
- Huppert, T. J., Hoge, R., Diamond, S. G., Franceschini, M. A., & Boas, D. A. (2006). A temporal comparison of BOLD, ASL, and NIRS hemodynamic responses to motor stimuli in adult humans. *NeuroImage*, 29(2), 368–382. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.08.065>
- Marcora, S. M. (2008). Do we really need a central governor to explain brain regulation of exercise performance? *European Journal of Applied Physiology*, 104(5), 929. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0818-3>
- Marcora, S. M. (2009). Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. *Journal of Applied Physiology*, 106(6), 2060–2062. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90378.2008>
- Marcora, S. M., Bosio, A., & Morree, H. M. de (2008). Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 294(3), R874–83. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00678.2007>
- McCormick, A., & Meijen, C. (2019). Pursuing the next challenges: Directions for research on the psychology of endurance performance. In C. Meijen (Ed.), *Endurance performance in sport: Psychological theory and interventions* (pp. 212–224). Routledge.
- McCormick, A., Meijen, C., Marcora, S. M., & Marcora, S. (2018). Psychological demands experienced by recreational endurance athletes. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16(4), 1–16. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2016.1256341>

- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- NIRx Medical Technologies LLC. (2015). *NIR-Sport™ user manual* [Computer software].
- Pageaux, B. (2014). The psychobiological model of endurance performance: An effort-based decision-making theory to explain self-paced endurance performance. *Sports Medicine*, 44, 1319-1320. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0198-2>
- Rhodes, R. E., & Bruijn, G.-J. de (2013). How big is the physical activity intention-behaviour gap? A meta-analysis using the action control framework. *British Journal of Health Psychology*, 18(2), 296-309. <https://doi.org/10.1111/bjhp.12032>
- Stern, C., Cole, S., Gollwitzer, P. M., Oettingen, G., & Balcetis, E. (2013). Effects of implementation intentions on anxiety, perceived proximity, and motor performance. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 39(5), 623-635. <https://doi.org/10.1177/0146167213479612>
- Vohs, K. D., & Baumeister, R. F. (Eds.). (2016). *Handbook of self-regulation: Research, theory, and applications* (Third edition). The Guilford Press.
- Wolff, W., Bieleke, M., Hirsch, A., Wienbruch, C., Gollwitzer, P. M., & Schüler, J. (2018). Increase in prefrontal cortex oxygenation during static muscular endurance performance is modulated by self-regulation strategies. *Scientific Reports*, 8(1), 15756. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34009-2>
- Wolff, W., Bieleke, M., Martarelli, C. S., & Dankert, J. (2021). A Primer on the Role of Boredom in Self-Controlled Sports and Exercise Behavior. *Frontiers in Psychology*, 12, 637839. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.637839>
- Wolff, W., Bieleke, M., & Schüler, J. (2019). Goal striving and endurance performance. In C. Meijen (Ed.), *Endurance performance in sport: Psychological theory and interventions* (pp. 125-137). Routledge.
- Wolff, W., Hirsch, A., Bieleke, M., & Shenhav, A. (2020). Neuroscientific approaches to self-regulatory control in sports. In C. Englert & I. Taylor (Eds.), *Self-regulation and motivation in sport and exercise psychology*. Routledge.
- Wolff, W., Schindler, S., Englert, C., Brand, R., & Kissler, J. (2016). Uninstructed BIAT faking when ego depleted or in normal state: Differential effect on brain and behavior. *BMC Neuroscience*, 17, 18. <https://doi.org/10.1186/s12868-016-0249-8>

Bekämpfung der Spielwettbewerbsmanipulation

Evaluierung von Präventionsmaßnahmen im organisierten Sport

(AZ 081805/19-20)

Daniel Memmert (Projektleitung), Christoph Breuer, Martin Nolte, Michel Brinkschulte, Sören Dallmeyer, Thomas Giel, Julia Bauer, Julian Ferber & Adrian Wassmuth

Deutsche Sporthochschule Köln

1 Ausgangslage

Spielmanipulation stellt heutzutage eine der größten Bedrohungen für die Integrität des Sports dar. Sie führt zu einem Vertrauensverlust in die Fairness des Wettbewerbs. Doch leider rücken Wettbewerbsverzerrungen immer wieder in den Fokus der Öffentlichkeit. Dabei scheinen alle am Spielgeschehen beteiligten Personengruppen beeinflussbar zu sein. Um die Relevanz der Thematik zu erfassen, lohnt es sich, ihre direkten und indirekten Auswirkungen zu betrachten. Die ersichtlichsten Konsequenzen sind dabei zumeist die ökonomischen Verluste der Verbände und Vereine. Durch den Vertrauensverlust in den Sport wird dieser von minderer Qualität wahrgenommen (Emrich, Pierdzioch & Pitsch, 2015). Deshalb kommt es zu geringeren Zuschauerzahlen (Preston & Szymanski, 2003), abnehmender langfristiger Fanbindung (Gorse, Chadwick & Byers, 2014) und damit zu einem geringeren Interesse von Sponsoren und Anzeigenkunden. In letzter Konsequenz könnte dies die soziale Stellung des Sports unterminieren, was mit einem Verlust von öffentlicher Unterstützung und öffentlichen Geldern einhergehen dürfte (Rittner & Breuer, 2002).

Neben der ethischen, ökonomischen und gesellschaftspolitischen Relevanz muss auch die juristische Perspektive betrachtet werden. Der sportlichen Gemeinschaft und den Verbänden liegt besonders der Schutz ihrer Mitglieder vor der organisierten Kriminalität am Herzen. Um dieser gesellschaftlichen Aufgabe nachzukommen und einen gesetzlichen Rahmen für bisherige Grauzonen zu schaffen, wurde die Aufnahme der Strafbarkeit von Sportwettbetrug und der Manipulation von berufssportlichen Wettbe-

werben ins Strafgesetzbuch (§§ 265c, 265d StGB) beschlossen. Für Sport und Gesellschaft wurden damit Normen für die Verurteilung und Bestrafung für Betrug und Manipulation im Sport geschaffen. Viel wichtiger ist jedoch, dass der Gesetzgeber damit auch die Aufklärung und Prävention dieser Thematik in den öffentlichen Fokus stellt.

Als Reaktion auf vergangene Vorfälle kamen Bemühungen auf, sich mit der Thematik auseinanderzusetzen und Maßnahmen zur Prävention von Spielmanipulation zu entwickeln. Und obwohl es sich beim allgemeinen Themenfeld der (wettbezogenen) Spielmanipulation um ein aufstrebendes Forschungsgebiet handelt (siehe Forrest & McHale, 2019; Herrmann, 2020; Ötting, Langrock & Deutscher, 2018), ist der wissenschaftliche Stand zu den entsprechenden Präventionsmethoden noch rudimentär (vgl. Koch & Maennig, 2006; Moriconi, 2018). Unter dieser Prämisse entstand daher das vorliegende Projekt, dessen Hauptziel es war, eine Bestandsaufnahme der (im Jahr 2019/20) vorhandenen und durchgeführten Maßnahmen zum Thema Spielmanipulation durchzuführen. Zum anderen sollten eben diese Maßnahmen sowie auch die Institutionen, von denen diese angeboten bzw. durchgeführt werden, von den daran teilnehmenden Personen im Rahmen einer Befragung evaluiert werden. Des Weiteren sollte die Kenntnis der in den ausgewählten Sportverbänden geltenden rechtlichen Strukturen (Reglements, Vorschriften, Ehrenkodizes etc.) sowie die Einschätzung des Verhaltens anderer und des eigenen Verhaltens in Bezug auf Spielmanipulation evaluiert werden. Die untersuchten Zielsportarten waren hier Fußball, Eishockey, Tennis und Boxen.

Zudem wurde ein Laborexperiment durchgeführt, welches zum Ziel hatte, Kausalmechanismen aufzudecken und Einflussfaktoren zu identifizieren, welche die Entscheidung für oder gegen eine Spielmanipulationstat beeinflussen.

2 Methode

Um die Bestandsaufnahme sowie die genannten Evaluationen durchzuführen, wurden Online-Fragebögen entwickelt. Die Hauptzielgruppen der Studie waren Personen, welche zum Zeitpunkt der Teilnahme in den obersten (Profi-)Ligen der genannten Sportarten in Deutschland aktiv waren. Die Struktur des Fragebogens umfasste Abschnitte zur Evaluierung der bekannten und durchgeführten Maßnahmen zum Thema Spielmanipulation im Sport sowie der Institutionen, welche diese Maßnahmen anbieten und durchführen, zum Regelverständnis, zur Einschätzung des Verhaltens anderer sowie zum eigenen Verhalten in Bezug auf Spielmanipulation.

Im Rahmen des Laborexperiments traten die teilnehmenden Personen gegeneinander an, indem sie eine kognitive Aufgabe (das korrekte Verschieben eines Reglers auf einer Linie auf dem PC-Bildschirm) besser lösen mussten als die anderen Personen. Abhängig von der Experimentalgruppe wurden verschiedene Anreize dafür gegeben, eine Runde absichtlich zu verlieren.

3 Ergebnisse

Die Bestandsaufnahme zeigte, dass sowohl im Fußball- als auch im Eishockeysport bereits eine Vielzahl an präventiven Maßnahmen in Bezug auf Spielmanipulation vorhanden ist. Diese bauen auf die geltenden Regeln und Vorschriften in den Satzungen der Verbände auf. Hier ist das Engagement der Dachverbände (DFB, DFL, DEL) unverkennbar. Die Kenntnis über vorhandene Maßnahmen und Institutionen fiel bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern eher gering aus. Die bekannten Maßnahmen und Institutionen wurden allerdings positiv bewertet. Für den Tennis- sowie den Boxsport wurde durch die Bestandsaufnahme deutlich, dass es auf nationaler Ebene bislang keine flächende-

ckenden, organisierten Präventionsmaßnahmen im Hinblick auf Spielmanipulation gibt. In beiden Fällen verlässt man sich momentan noch auf Maßnahmen im Rahmen des internationalen Wettbewerbs. Bei beiden Sportarten besteht zudem ein Nachholbedarf in der Formulierung von entsprechenden Regeln und Vorschriften bezüglich Spielmanipulation auf nationaler Ebene. Bei diesen beiden Sportarten fiel zudem die Kenntnis über vorhandene Maßnahmen und Institutionen eher gering aus. In allen vier Sportarten deuten die Ergebnisse darauf hin, dass den involvierten Personengruppen für sie essentielle Vorschriften und Regelungen in Bezug auf Spielmanipulation zum Teil nicht bekannt sind. Dies äußerte sich unter anderem auch darin, dass sich Teilnehmerinnen und Teilnehmern teilweise nicht sicher waren, ob sie schon einmal Spielmanipulation begangen hatten. Dass andere Personen in der eigenen Sportart Spielmanipulation betreiben, wurde als eher gering eingeschätzt.

Mit Hilfe des durchgeführten Laborexperiments konnte nachgewiesen werden, dass eine effektive Bekämpfung von Match-Fixing deutlich besser über eine höhere Entdeckungswahrscheinlichkeit als über höhere Strafen sichergestellt werden kann.

4 Diskussion

Die Prävention der Manipulation von Sportwettbewerben wird als äußerst wichtig angesehen, um das Vertrauen in die Integrität des Sports und in die Fairness des Wettbewerbs zu schützen. So entstand besonders von Seiten der Politik in den letzten Jahren ein steigendes Engagement, aus welchem beispielsweise das Inkrafttreten des Gesetzes gegen Sportwettbetrug und Spielmanipulation (§§ 265c, 265d StGB) im Jahr 2017 sowie die Gründung der Nationalen Plattform zur Bekämpfung der Manipulation von Sportwettbewerben im Jahr 2019 resultierten. Die Ergebnisse lassen jedoch vermuten, dass im deutschen Sport Wissenslücken in Bezug auf Spielmanipulation vorhanden sind. Durch die Recherchen wurde deutlich, dass Optimierungspotenziale hinsichtlich der Präventionskonzepte der Sportverbände vorhanden sind.

Und obwohl sich einige Sportverbände teilweise schon sehr fortschrittlich mit der Thematik befassen (DFB, DFL, DEL), scheint es doch noch zu Reibungsverlusten bei der Weitergabe von Informationen an die Zielgruppen innerhalb der Vereine bzw. Ligen zu kommen. Als Antwort auf die offene Frage nach Optimierungsvorschlägen im Hinblick auf die Prävention von Spielmanipulation wurde in allen Sportarten der Wunsch nach einer ausführlicheren Informationsvermittlung geäußert. Dies deutet darauf hin, dass aus Sicht der Zielgruppen (Aktive, Trainerinnen und Trainer, Funktionärinnen, bzw. Funktionäre und Schiedsrichterinnen bzw. Schiedsrichter) ein generelles Interesse daran besteht, sich mit der Thematik auseinanderzusetzen. Die Verantwortung für eine aktive Konfrontation der Zielgruppen mit dem Thema sollte bei den Sportverbänden in Zusammenarbeit mit den Vereinen selbst liegen. Das setzt allerdings voraus, dass ein Bewusstsein innerhalb der deutschen Sportverbände entsteht und damit das Interesse, die Zielgruppen auf die Bedeutsamkeit des Themas Spielmanipulation aufmerksam zu machen.

Der Wunsch der Zielgruppen nach direkter und öffentlich zugänglicher Informationsvermittlung darf nicht unbeachtet bleiben. Hier wird ein gut konzipierter Internetauftritt mit Informationen rund um das Thema Prävention von Spielmanipulation als äußerst sinnvoll erachtet. In diesem Rahmen könnte man z. B. Wissen durch ein e-Learning Tool vermitteln und danach anhand eines Online-Tests abfragen, ob die präsentierten Informationen vollständig verstanden wurden.

5 Literatur

- Emrich, E., Pierdzioch, C., & Pitsch, W. (2015). *Falsches Spiel im Sport. Analysen zu Wettbewerbsverzerrungen*, Saarbrücken: Universaar.
- Forrest, D., & McHale, I. (2019). Using statistics to detect match fixing in sport. *IMA Journal of Management Mathematics*, 30(4), 431-449.
- Gorse, S., Chadwick, S., & Byers, T. (2014). *Emerging trends in corruption in sport: Implications for sport management*. In 2014 North American Society for Sport Management conference. http://www.nassm.org/files/conf_abstracts/2014-125.pdf
- Herrmann, K. (2020). *Sportwetten – Im Spannungsfeld zwischen Illusion, Risiko und Rationalität*. Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Koch, R., & Maennig, W. (2006). Spiel- und Wettmanipulationen – und der Anti-Korruptionskampf im Fußball. *Fußball und Politik*, 50.
- Memmert, D., Breuer, C., Nolte, M., Brinkschulte, M., Dallmeyer, S., Giel, T., Bauer, J., Ferber, J., & Wassmuth, A. (2021). *Bekämpfung der Spielwettbewerbsmanipulation: Evaluierung von Präventionsmaßnahmen im organisierten Sport*. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft 2021/1. Sportverlag Strauß.
- Moriconi, M. (2018). The official football match-fixing prevention discourse as a cognitive limitation (the cases of Iberian countries). *Soccer & Society*, 19(2), 271-287.
- Nolte, M., & Martin, A. (2015). *Ein Anti-Manipulations-Code für den organisierten Sport*. (2. Aufl.) (Kölner Studien zum Sportrecht). Institut für Sportrecht – Deutsche Sporthochschule Köln.
- Ötting, M., Langrock, R., & Deutscher, C. (2018). Integrating multiple data sources in match-fixing warning systems. *Statistical Modelling*, 18(5-6), 483-504.
- Preston, I., & Szymanski, S. (2003). Cheating in contests. *Oxford Review of Economic Policy*, 19(4), 612-624.
- Rittner, V., & Breuer, C. (2002). Zur Legitimation staatlicher Sportförderung unter veränderten Rahmenbedingungen. In H.-D. Horch, J. Heydel & A. Sierau (Hrsg.), *Finanzierung des Sports. Probleme und Perspektiven* (Edition Sportökonomie und Sportmanagement, 2, S. 267-282). Meyer & Meyer.

Sportanlagen und Sporttechnologie

Sicherheitstor (SiTor)

– Entwicklung eines standsicheren, leicht zu transportierenden, freistehenden Ballspieltors

AZ 071402/19-20

Martin Thieme-Hack (Projektleitung), Laura Hahn & Thorsten Schmidt

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

1 Problem

Der Einsatz von freistehenden Ballspieltoren der Typen 3 und 4 nach DIN EN 748 ist auf Sportfreianlagen im Spitzen- wie auch Breitensport weit verbreitet. Ihre Verwendung ermöglicht das Darstellen unterschiedlicher Spielszenarien, das Spielen in Querrichtung vor allem für jüngere Jugendlichen und die Schonung intensiv genutzter Bereiche wie Torräume. Allerdings bringt ihre Verwendung nicht nur Vorteile mit sich, sondern birgt gleichzeitig ein hohes Unfallrisiko. Besonders im Hinblick auf Standsicherheit, Transport und Lagerung sind Maßnahmen zu ergreifen, die einen Umgang in der Praxis sicherer gestalten können.

2002 gab die Sportministerkonferenz die Empfehlung „Tore müssen fallen – nicht umfallen“, um den Umgang mit Ballspieltoren sicherer zu gestalten. Dennoch kam es in den letzten 20 Jahren immer wieder zu Unfällen mit teils tödlichem Ausgang. In den meisten Fällen betraf es Kinder und Jugendliche, doch auch Erwachsene wurden tödlich verletzt. Die Haftung bei solchen Unfällen auf Sportfreianlagen tragen die Betreibenden, da es sich um eine Verletzung der Verkehrssicherungspflicht nach § 823 BGB handelt, sollten freistehende Tore nicht gegen Umkippen gesichert sein (OLG Schleswig 25.10.2011). Ebenfalls kann davon ausgegangen werden, dass ein Tor als solches als Element zum Turnen gesehen und zweckentfremdet wird (OLG Celle 18.01.1995).

Da die Verwendung von Typ 4 als „Freistehendes Fußballtor mit Gegengewicht“ auf jedem Sportboden möglich ist, empfiehlt der DFB mittlerweile keine Tore des Typ 3 mehr (DFB, 2020). Das Gegengewicht bei Typ 4 ist Teil des Bodenrahmens und sollte idealerweise in diesen integriert sein. Empfehlungen für Gegengewichte durch den TÜV liegen je nach Torgröße zwischen 100 und 200 kg (DFB, 2017). Mit ihrem Eigengewicht entstehen Massen bis 250 kg, die während der Trainingseinheiten auch von Kindern und Jugendlichen über das Spielfeld transportiert werden.

2 Methoden

Da der Umgang mit freistehenden Ballspieltoren von mehreren Faktoren beeinflusst wird, ist aus mehreren Richtungen an die Thematik herangegangen worden.

2.1 Beobachtungen

Zu Beginn des Forschungsprojektes lagen keine Daten oder Statistiken zum Status Quo in der Verwendung freistehender Tore in Deutschland vor. Daher wurden Beobachtungen auf Sportfreianlagen im Bundesgebiet durchgeführt, um mithilfe eines Beobachtungsbogens herauszustellen, welche Tore in welcher Form von der Übungsleitung verwendet werden und wie an die Beaufsichtigung herangegangen wird. Dabei wurde sich besonders auf jüngere Mannschaften konzentriert, da durch Spielfeldverkleinerung vor allem in deren Training freistehende Tore zum Einsatz kommen. Es wurden insgesamt 25 Mannschaften beobachtet.

2.2 Auswertung von Inspektionsberichten

Im Rahmen eines Sicherheitsmanagements auf Sportfreianlagen werden Fußballtore bei jährlichen Inspektionen auf Mängel geprüft. Da am Institut für Landschaftsbau, Sportfreianlagen und Grünflächen der Hochschule Osnabrück seit mehreren Jahren regelmäßig Inspektionen im gesamten Bundesgebiet durchgeführt werden, konnten die aufgenommenen Mängel bei freistehenden Toren anhand der Inspektionsberichte analysiert werden. Es wurde anhand von 33 Inspektionsberichten aus den Jahren 2016 bis 2020 der Wartungs- und Instandhaltungszustand von 1.527 Toren auf 230 Sportfreianlagen analysiert.

2.3 Empfehlungen für die Normung

Bei den Berechnungen und Tests ging es vor allem um das kritische Hinterfragen der bisherigen Prüfwerte zur Standfestigkeit von 1.100 N und konstruktiven Festigkeit von 1.800 N. Diese Werte entstanden aus Schätzwerten und Annahmen, und es fand sich keine rechnerische Begründung dieser. Mittels technischer 3D-Zeichnungen aktueller Tormodelle fanden Berechnungen zu Schwerpunkten und notwendigen Belastungsgewichten statt, und über trigonometrische Grundsätze konnten aktuelle Prüfwerte abgeleitet werden. Die entsprechenden Tore wurden praktischen Tests nach DIN EN 748 unterzogen, die einerseits die generellen Reaktionen der Tore untersuchten und andererseits in Entwicklung befindliche Testverfahren der aktuellen europäischen Normung auf ihre Tauglichkeit testeten. Hier handelte es sich um den *Swing Stability Test* und den *Balanced Goal Test* aus der amerikanischen Normung.

3 Ergebnisse

3.1 Beobachtungen

Die Beobachtungen zeigten, dass über 70 % der Vereine Gewichte an Toren verbaut hatte, aber nur 20 % eine Bereifung für einen Transport ohne Tragen des Tores nutzten. So kam es bei knapp 2/3 zu einem tragenden Transport trotz hohen Gesamtgewichts der Tore.

Bei den Jugendmannschaften fiel auf, dass der Transport zu über 50 % unbeaufsichtigt durch die Jugendlichen selbst stattfand und nicht wie gefordert von der Übungsleitung oder unter Aufsicht dieser (DFB, 2020). Bei wiederum 50 % waren es weniger als sechs Personen, die das Tor transportierten.

In 2/3 der Fälle gab es keine geeigneten Lagerflächen, sodass die Tore am Spielfeldrand gelagert wurden. Meist geschieht dies in den Sicherheitszonen, die von Hindernissen freizuhalten sind. Da vor allem auf älteren Anlagen direkt angrenzend an die Sicherheitszonen Barrieren stehen, gibt es ohne Auslässe oder Buchten keine Möglichkeit, die Tore anderweitig zu lagern.

Nutzen jüngere Spieler bzw. Spielerinnen die Tore, werden diese teils auf den Torrahmen gelegt, um den niedrigeren Bodenrahmen als Tor zu nutzen. Sind dann Gegengewichte integriert, besteht eine hohe Gefahr des Kippens der Tore nach vorn, vor allem da der Bodenrahmen als Querlatte durch seine geringere Höhe für Kinder einfacher für ein Hängen oder Schwingen zu erreichen ist.

3.2 Inspektionsberichte

Aus 3.219 Mängeln an 1.527 freistehenden Toren konnten neun Arten von Mängeln identifiziert werden (s. Tab. 1). Zu den häufigsten Mängeln zählen die nicht ordnungsgemäße Lagerung, welche bei der Hälfte aller Tore vorgefunden wurde, und Minderungen der konstruktiven Festigkeit durch Haarrisse.

Nicht ordnungsgemäße Lagerung von freistehenden Toren kann in der Entfernung zwischen Nutzungsort und Lagerstätte, dem Fehlen geeigneter Lagerflächen oder einer eingeschränkten Mobilität durch fehlende Räder begründet sein. Eine Minderung der konstruktiven Festigkeit lässt sich auf einen nicht sachgerechten Umgang mit freistehenden Toren zurückführen. Die häufig vorkommende Nachrüstung älterer Modelle mit mobilen Gewichten ist grundsätzlich sinnvoll und trägt zu mehr Sicherheit in der Nutzung bei, allerdings sind diese Torrahmen selten für ein so hohes, zusätzliches Gewicht ausgelegt. Doch auch Tore mit bereits integrierten Gegengewichten weisen nach einigen Jahren Nutzung und Transport Haarrisse im Bereich der Schweißnähte auf.

Tab. 1: Identifizierte Mängel an freistehenden Toren

Art des Mangels	Anzahl Tore (St.)	Anteil
Lagerung	763	50,0 %
Konstruktive Festigkeit	659	43,2 %
Kippsicherheit	512	33,5 %
Netz	476	31,2 %
Fingerfangstellen	434	28,4 %
Beschädigungen	167	10,9%
Fehlende Abdeckungen, Teile	134	8,8 %
Kopffangstellen	39	2,6 %
Selbstbau	35	2,3 %
Gesamtzahl Mängel an Toren	3219	
Gesamtzahl geprüfter Tore	1527	

Etwa 1/3 der geprüften Tore mangelte es an ausreichender Kippsicherheit. Die angebrachten Gegengewichte reichen entweder nicht für die geforderte Standfestigkeit, liegen als mobile Gewichte anderswo als auf dem Bodenrahmen oder sind gar nicht erst vorhanden.

3.3 Empfehlungen

Aufbauend auf den durchgeführten trigonometrischen Berechnungen und Tests beinhalten die Empfehlungen zu Prüfwerten eine leichte Abweichung zu bisherigen normativen Vorgaben (s. Tab. 2).

Durch den trigonometrischen Zusammenhang zwischen der vertikalen Zugkraft an der Querlatte und der horizontalen, berechnet über einen 30 °-Winkel, der das Schwingen simulieren soll, konnte ein Zusammenhang zwischen den Werten hergestellt werden. Der Prüfwert zur Standfestigkeit leitet sich über den Swing Test vom Prüfwert der konstruktiven Festigkeit ab. Dieser begründet sich in einem Körperdurchschnittsgewicht von 85 kg und Teilsicherheitsbeiwerten.

Tab. 2: Entwicklung der Prüfwerte und Empfehlung

Normausgabe	Festigkeit	Standfestigkeit
DIN 7897:1977-11	-	950 N
DIN 7900:1984-03	800 N	1.000 N
DIN EN 748:1996-02	1.800 N	1.100 N
DIN EN 16579:2018-06	zwischen 300 und 2.000 N *	zwischen 300 und 1.250 N *
Empfehlung	1.834 N	1.009 N

Mit den neuen, empfohlenen Prüfwerten wurden die Anforderungen für notwendige Belastungsgewichte überarbeitet. Es stellte sich heraus, dass in den meisten Fällen weniger Gewicht zur Standfestigkeit benötigt wird als bisher angenommen (s. Tab. 3).

gerung auf mindestens 1,50 m empfohlen. Bei einem Eigengewicht der Tore von über 70 kg (s. Abb. 1) und einem geringeren notwendigen Gegengewicht durch verlängerte Auslage kann das Gesamtgewicht der freistehenden Tore auf unter 200 kg begrenzt werden.

Tab. 3: Gegenüberstellung der geforderten Gegengewichte bei freistehenden Toren nach DFB 2017 und neu berechnete Werte

Torgröße l x h	Auslage	notwendige Belastungsmasse in kg	
		nach DFB 2017	neu berechnete Werte
7,32 x 2,44 m	1,2 ¹⁾	-	170
	1,5	170	135
	2,0	100	95
5 x 2 m	1,0 ¹⁾	200	170
	1,2 ¹⁾	-	140
	1,5	125	110
	2,0	100	80

1) Torauslagen ≤ 1,2 m werden nicht empfohlen, da das Gesamtgewicht der Tore zu groß ist

Eine weitere Empfehlung ist die Erhöhung der Auslage freistehender Tore von bisher 1.200 mm auf mindestens 1.500 mm, da allein dieser Faktor durch Verschieben des Schwerpunkts nach hinten das notwendige Gegengewicht verringern kann. Da diese Länge wenig Standfestigkeit in der Konstruktion bietet und sehr selten in der Praxis anzufinden ist, wird eine Verlän-

3.4 Prototyp

Bei der konstruktionstechnischen Entwicklung eines Prototyps in Kooperation mit dem Fachbereich Maschinenbau der Hochschule Osnabrück und der Firma Schäper Sportgerätebau GmbH lag der Fokus auf der Radintegration im seitlichen Bodenrahmen, um den Transport

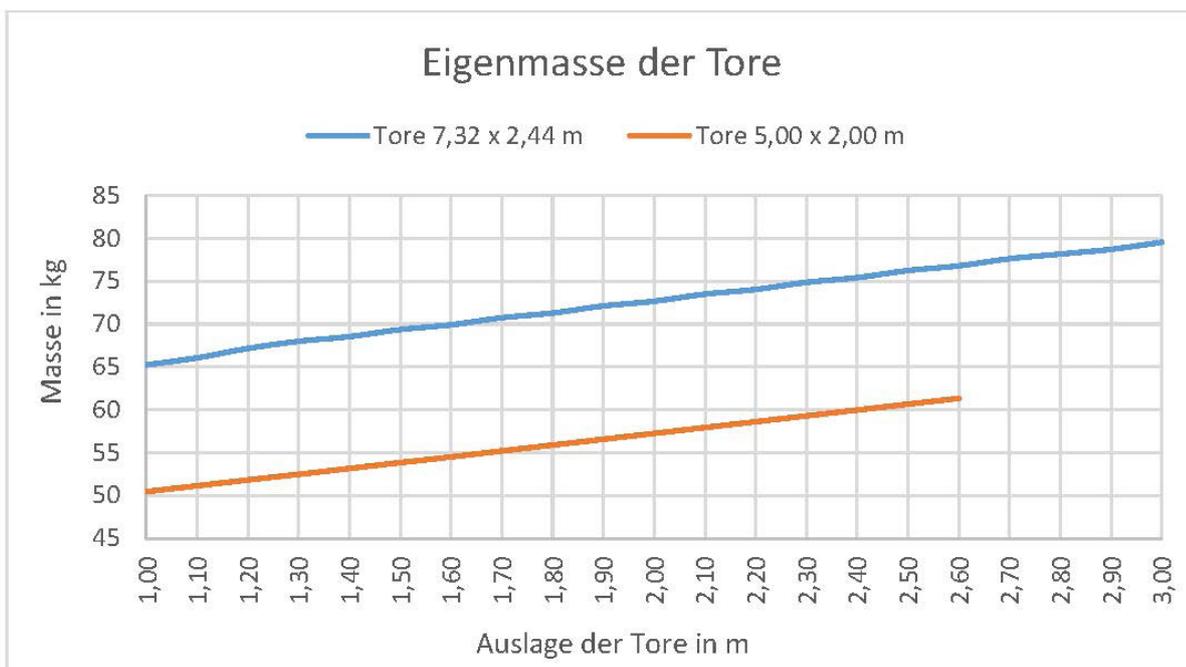


Abb. 1: Eigenmasse verschiedener Tore je nach Auslage

zu vereinfachen und Gegengewichte im hinteren Bodenrahmen zu verringern. Dabei stand die Kippsicherheit in der Nutzung sowie beim Transport im Vordergrund. Der entstandene Prototyp beherbergt in einem erhöhten Bodenrahmen eine als Scherensystem ausfahrbare Radkonstruktion, welche per Kurbel ergonomisch und anwenderfreundlich genutzt werden kann.

4 Diskussion (unter besonderer Berücksichtigung von Transfer und Praxis)

Die drei häufigsten gefundenen Mängel stehen nicht für sich, sondern können in einen Zusammenhang gebracht werden (s. Abb. 2). Die Verortung der Lagerstätten beeinflusst den Transport der Tore. Gibt es beispielsweise keine Einlässe in der das Spielfeld umgrenzenden Barriere, werden die Tore über die Barriere gehoben und nicht selten aufgrund ihres hohen Gewichts auf die andere Seite fallen gelassen. Bei Toren mit einem Gewicht bis zu 250 kg können dabei Unfälle mit Personen oder Geräteschäden vorkommen.

Wird aufgrund mangelnder Kippsicherheit das Tor nachträglich mit Gewichten ausgerüstet, sind die alten Torrahmen meist nicht auf das zusätzliche Gewicht ausgelegt. Insgesamt beeinträchtigt dies die konstruktive Festigkeit, führt zu Haarrissen und Beschädigungen des gesamten Tores, wodurch sich die Nutzungsdauer von Toren erheblich verringert.

Um zukünftig Auslastore und Ausbuchtungen in Barrieren oder anderweitige Lagerorte zur Verfügung stellen zu können, sind diese in DIN 18035-1 unter Planungsgrundsätzen aufzunehmen. Es wird zwar erwähnt, dass für die Lagerung von Sportgeräten in Anzahl und Größe ausreichende Lagerräume eingeplant werden müssen, hier ist aber konkreter zu formulieren, in welcher Anzahl und in welcher Entfernung zum Einsatzort diese ausgestaltet werden können.

Haben Betreibende die Anzahl der Tore für ihre jeweilige Sportfreianlage festgelegt, ist im Einkauf neuer Tore auf ausreichende und vor allem integrierte Kippsicherheit zu achten. Zusätzlich ist dafür Sorge zu tragen, dass durch Anweisung der Übungsleitung und auch der Nutzenden sowie Inspektionen und Dokumentationen der Umgang und die Wartung gewährleistet sind.

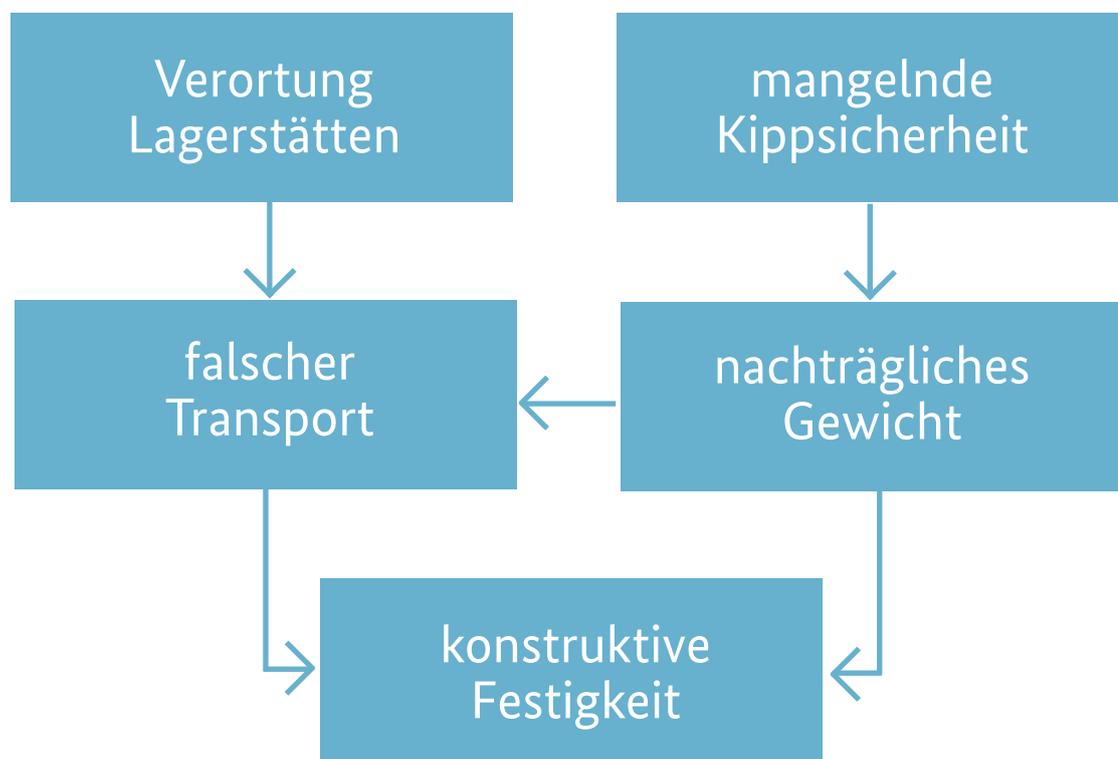


Abb. 2: Zusammenhang von Lagerung, Kippsicherheit und konstruktiver Festigkeit

Die Empfehlungen zu Prüfwerten und Auslagen wurden dem zuständigen Normenausschuss auf nationaler und europäischer Ebene vorgestellt und fließen in die weitere Entwicklung der DIN EN 748 ein.

5 Literatur

- Amtshaftung: Anforderung an die Verkehrssicherungspflicht einer Gemeinde für mobile Fußballtore auf öffentlichen Bolzplätzen, 11 U 71/10, SchlHA 137 (OLG Schleswig-Holstein 25. Oktober 2011). <https://www.juris.de/perma?d=KORE230442011>
- DFB (2020). *Verkehrssicherheit auf dem Sportplatz: Schwerpunkt mobile Tore*. https://assets.dfb.de/uploads/000/219/590/original_Verkehrssicherheit_Sportplatz_Mobile_Tore_2020.pdf?1582741156
- DFB-Kommission Sportstättenbau(2017). *Sportplatzbau & -erhaltung* (5. überarbeitete Auflage). B2 Design.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (01.2020). *Spielfeldgeräte – Ortsveränderliche und standortgebundene Tore - Funktionale und sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfverfahren: Deutsche Fassung EN 16579:2018+AC:2019* (DIN EN 16579). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (04.20218). *Spielfeldgeräte – Fußballtore - Funktionelle und sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfverfahren: Deutsche Fassung EN 748:2018+AC:2019* (DIN EN 16579). Beuth Verlag GmbH.
- Verkehrssicherungspflicht des Sportplatzbetreibers: Umstürzen von Kleinfeldtoren, 9 U 211/93, NJW-RR 1995, 984-985 984, SpuRt 1996, 173-174 (1995). <https://www.juris.de/perma?d=KORE543129500>
- SMK (2002). *Tore müssen fallen – nicht umfallen: Empfehlung der Sportministerkonferenz über den sicheren Umgang mit Ballspieltoren*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiPk_3a1ovjAhWBb1AKHXI6ANgQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fwww.bfgw.de%2Fapp%2Fdownload%2F5784407284%2FSicherer_Umgang_m_Ballspieltoren_Tore_m%25C3%25BCssen_fallennich%2BISO.pdf&usg=AOvVaw0LvvkWJsy_-jzmU-loDQC1b

Trainingsunterstützung im Snowboardsport durch Druckmesssohlen und Beschleunigungssensoren

(AZ 071501/17-19)

Stephan Odenwald (Projektleitung), Maja Neubert & Stefan Schwanitz

Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau, Institut für Strukturleichtbau

1 Ausgangssituation und Aufgabe / Problem

Als Dachverband ist Snowboard Germany zuständig für die deutschen Nationalteams in den Disziplinen Race, Freestyle und Snowboardcross. Die Sportler und Sportlerinnen zeigten in den letzten Jahren eine kontinuierliche Verbesserung ihrer Leistungen und konnten auf höchstem internationalen Niveau Erfolge erzielen. So haben die Race-Athletinnen Selina Jörg und Ramona Hofmeister bei den Olympischen Spielen im Jahr 2018 den zweiten und dritten Platz belegt. Weitere Erfolge sind Top-Platzierungen im Weltcup und bei den (Junioren-) Weltmeisterschaften.

Die Herausforderung für die verschiedenen Disziplinen liegt entsprechend der bereits ausgezeichneten Leistungen in der Identifikation und Nutzung weiterer Verbesserungspotenziale. In dieser Hinsicht stoßen die bisherigen technischen Hilfsmittel zur Analyse der sportlichen Leistung der Athletinnen und Athleten an ihre Grenzen.

Das wichtigste Analysewerkzeug, das sowohl im Wettkampf wie auch im Training auf der Piste zum Einsatz kommt, ist die Bewegungsanalyse mittels Videoaufnahmen. Die jeweilige Fahrt wird dabei mit einer Kamera aufgenommen, um im Anschluss an die Fahrt eine Analyse sowie Bewertung durchführen zu können. Der leistungsfördernde Aspekt ist die Visualisierung der Bewegungen (Bewegung durch den Kurs und Bewegung des Körpers auf dem Board) zur Unterstützung des Feedbacks des Trainers bzw. der Trainerin an die Sportlerin oder den Sportler.

Mittels Videoaufnahme kann zwar eine resultierende Bewegung erfasst und visualisiert werden (Kinematik), sie liefert jedoch keinerlei Informationen, welche Kräfte und Momente diesen Bewegungen zu Grunde liegen (Kinetik).

Ausgehend von diesem Defizit war das übergeordnete Ziel des Projektes „TUimSnow“ die Erweiterung der bestehenden Videoanalyse um ein Messsystem zur parallelen Erfassung der Belastungsverteilung (Kraus & Odenwald, 2009) auf dem Snowboard mittels Druck- und Inertialsensoren (Hill et al., 2016; Hill & Odenwald, 2017; Kilian, Hill & Odenwald, 2016).

2 Methodik

Mit Beginn des Projektes „TUimSnow“ stand für die Zusammenarbeit zwischen Snowboard Germany und der Professur Sportgerätetechnik der TU Chemnitz (SGT) ein miniaturisiertes Messsystem zur Verfügung (*Dialogg*, siehe Abb. 1). Der Datenlogger erfasst die Beschleunigungen und Drehwinkelraten in drei Raumrichtungen und zeichnet parallel mittels einer Druckmessfolie die plantare Druckverteilung unter dem Fuß auf. Die Messfrequenz beträgt 100 Hz, die Datenspeicherung erfolgt auf dem Datenlogger, der die Informationen drahtlos nahezu in Echtzeit z. B. an einem Tablet-PC senden kann.

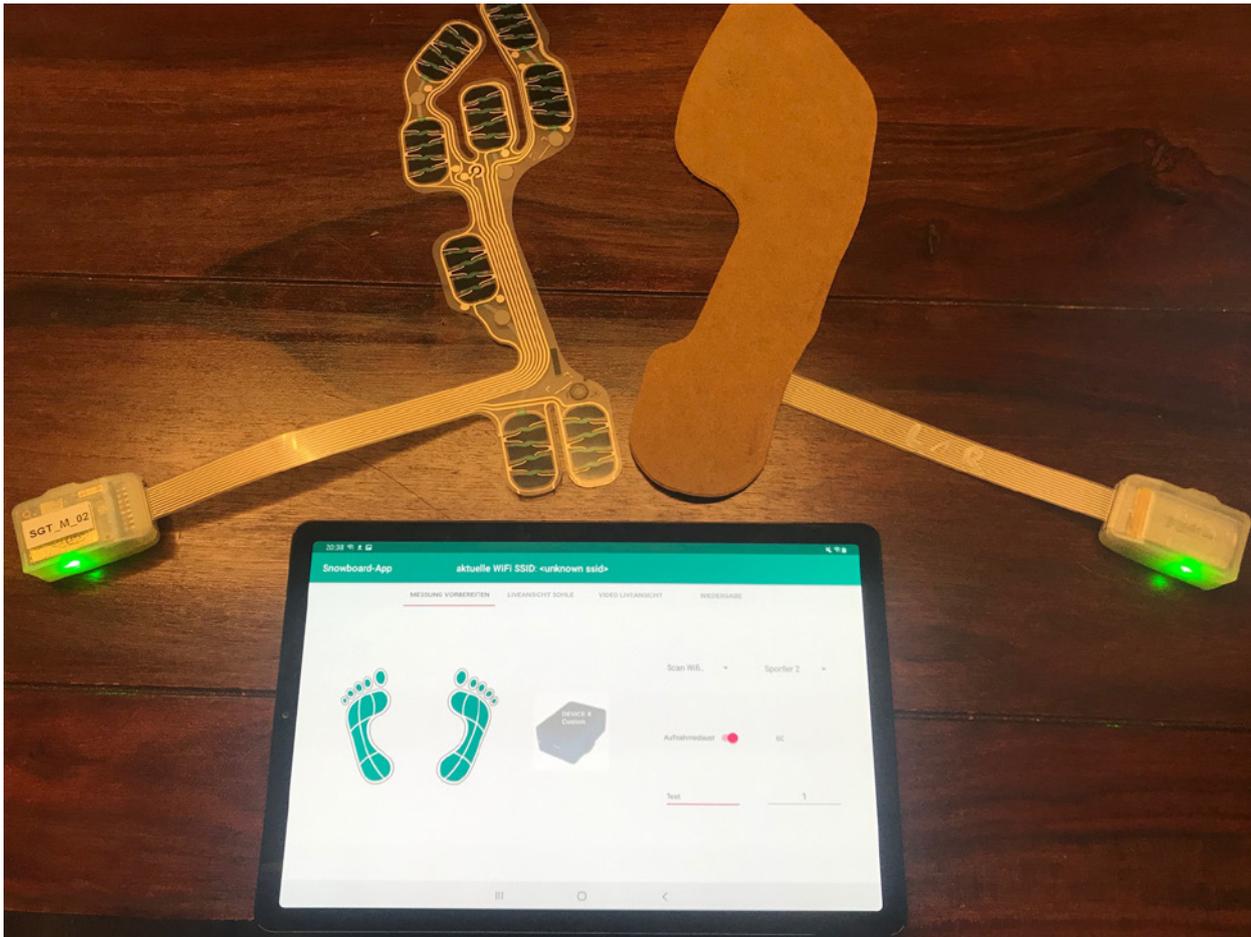


Abb. 1: Set bestehend aus zwei gekoppelten Datenloggern, zwei Druckmesssohlen (Folie oder mit Textil) und drahtlos verbundenem Tablet-PC

Zunächst wurden die bestehenden eigenständigen Komponenten Video und Dialogg zu einem technischen Gesamtsystem integriert (Teilziel 1). Mit diesem System wurden ausgewählte Fahrmanöver und akrobatische Übungen in den verschiedenen Disziplinen messtechnisch erfasst, Bewegungsmuster analysiert und idealtypische Muster sowie Abweichungen davon identifiziert (Teilziel 2).

Aus den Ergebnissen der Messfahrten wurden Strategien zur Rückkopplung der Messdaten bzw. grundlegende Muster abgeleitet (Teilziel 3) und systematisch untersucht (Teilziel 4).

Abschließend wurde mit den beteiligten Trainern und Aktiven die Anwendbarkeit des Systems analysiert, um die zukünftigen Schritte zur weiteren Entwicklung festlegen zu können,

Eine wissenschaftliche Validierung zur Verbesserung der Wirksamkeit des Trainings mit erweitertem Feedback waren nicht der Gegenstand des vorliegenden Projektes.

3 Ergebnisse

3.1 Trainingsunterstützung mit erweitertem Feedback

Aus maximal zwei Perspektiven (stationär, mit zusätzlichem Kameramann hinter bzw. parallel zum Sportler oder aus Sportlerperspektive) wurden Videoaufnahmen erzeugt. Parallel erfolgte die Aufnahme von Sensordaten mit dem *Dialogg* System. Nach Abschluss der Datenaufnahme unter Trainingsbedingungen wurden Messdaten und Videoclips auf einen PC zur Aufbereitung übertragen und mit Hilfe der Software National Instruments DIAdem synchronisiert dargestellt

3.2 Anpassung der Hardware

Es wurde eine Halterung entwickelt, die mit Hilfe von zwei Drahtbügeln zwischen den Innenschuh und der Außenhülle des Stiefels eingeschoben wird.

Dadurch ist der Datenlogger sicher befestigt, ohne die Bewegungsausführung zu beeinflussen oder die Textilien des Sportlers zu beschädigen. Die Halterung schützt den Datenlogger mechanisch gegen Schläge durch den Kontakt zwischen dem Sportler und den Slalomstangen. Die Zuleitung zur Messsohle erwies sich insbesondere in der Disziplin Race als zu kurz, woraufhin eine entsprechende Verlängerung realisiert wurde, die den Tragekomfort wesentlich steigern konnte.

3.3 Funktionsintegrierte Feedback-App

Um die erweiterten Informationen direkt während des Trainings auf der Piste nutzen zu können, wurde eine App für das Betriebssystem Android entwickelt, mit der Sensordaten und Videobild gekoppelt aufgenommen und gleichzeitig ausgewertet bzw. angezeigt werden.

Das Layout der Ein- und Ausgabebildschirme der Applikation wurde gemeinsam mit den Sportlerinnen und Sportlern entworfen und kontinuierlich verbessert. Durch die agile Vorgehensweise während der Softwareentwicklung wurde eine zügige und zielgerichtete Umsetzung der Funktionalitäten unter kontinuierlicher Einbeziehung der beteiligten Parteien ermöglicht.

Während der regelmäßigen Reviews konnte Feedback unmittelbar in Arbeitsaufgaben überführt werden, wodurch der Entwicklungsprozess iterativ und mit großer Transparenz gestaltet wurde.

Die entstandene Android-App kann genutzt werden für

- › Setup des Messsystems
- › Feedback nach der Fahrt auf dem Hang
- › Archivierung der Messfahrten
- › Weiterführende Auswertungen im Anschluss an das Training.

Abb. 2 zeigt eine Nutzeroberfläche während der Aufnahme einer Testfahrt. Zur weiterführenden Auswertung im Anschluss an das Training ist die Player-Funktion die derzeit hilfreichste Form der Datenrepräsentation (Abb. 3, S. 4). In einfacher Weise kann in der parallelen Darstellung von Druckverteilung und Video zu einer beliebigen Situation gesprungen werden, um Druckverteilung und Bewegung synchron betrachten zu können.

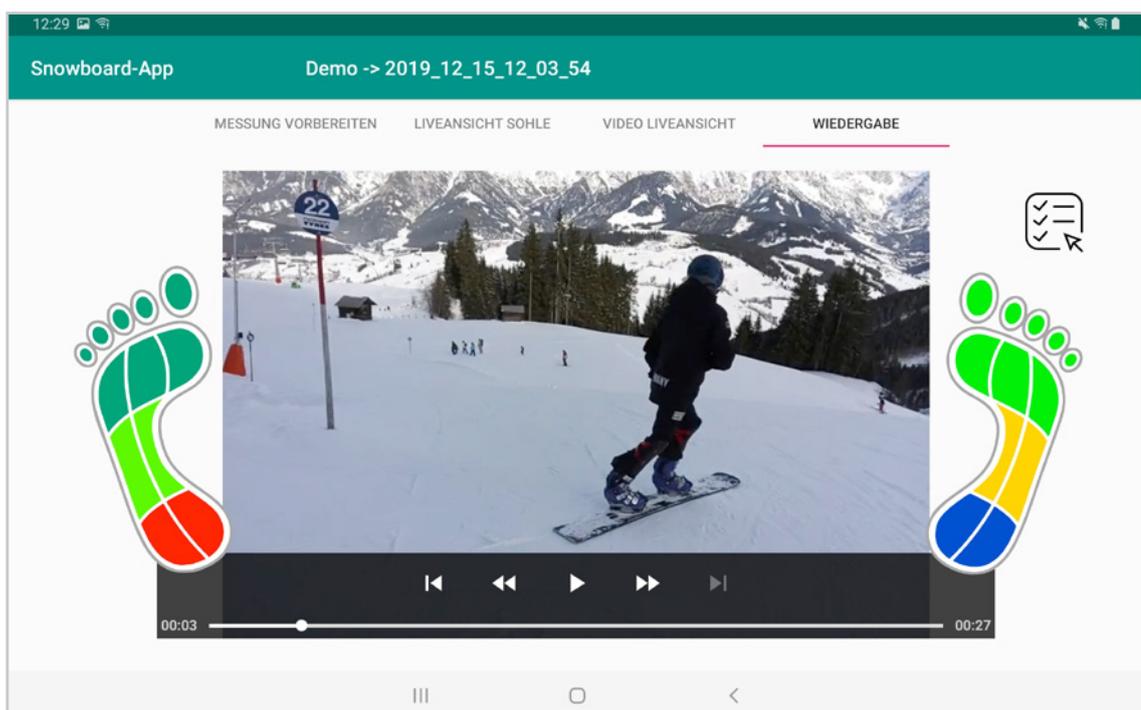


Abb. 2: Live-Ansicht der Messfahrt, während dem Sportler gefolgt wird

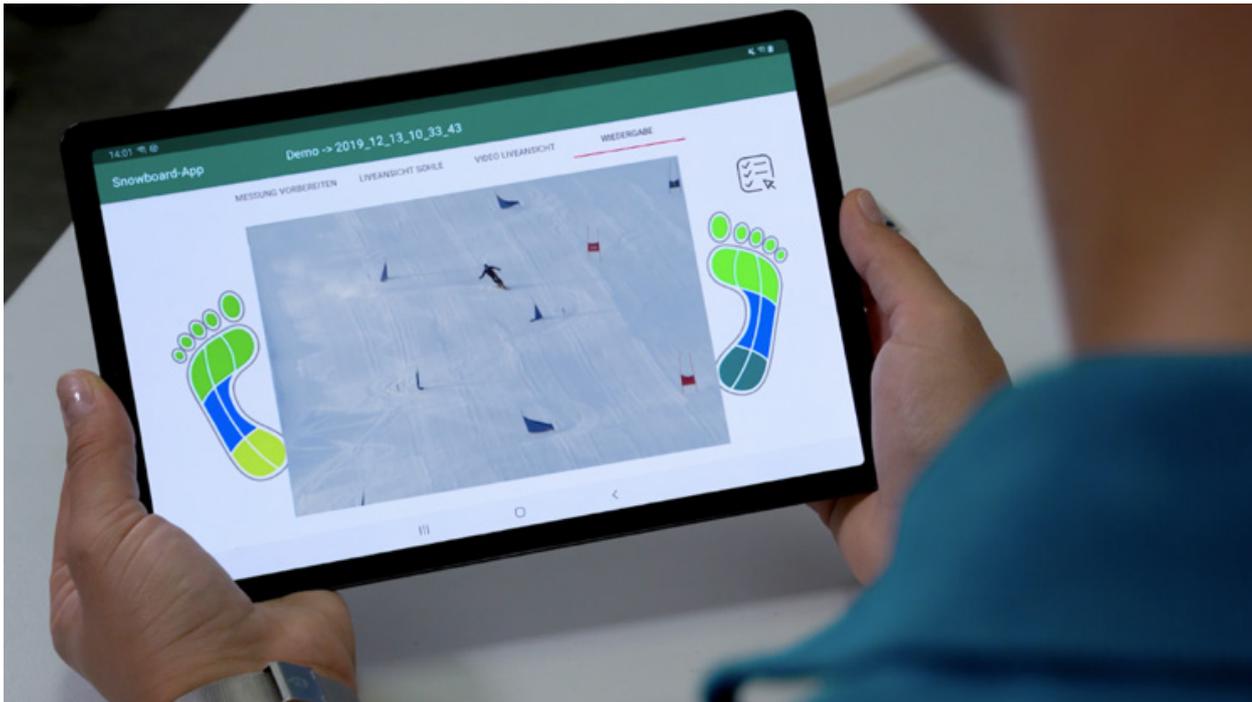


Abb. 3: Wiedergabe einer Messfahrt im Training beim Snowboard Alpine (Race)

3.4 Bewertung der Nutzbarkeit des entwickelten Feedbacksystems

Die funktionsintegrierte Android-App ist nutzerfreundlich gestaltet und intuitiv einsetzbar; eine Fehlbedienung ist nach kurzer Einweisung nahezu ausgeschlossen. Die Sensorik ist rückwirkungsfrei, d. h. ohne Beeinflussung des Athleten nutzbar. Das System ist robust gegen die während der Trainingseinheiten herrschenden Umweltbedingungen. Die Funktion der unmittelbaren synchronen Darstellung von Druckverteilung und Videobild stellt eine wesentliche Verbesserung der Qualität und damit voraussichtlich auch der Wirksamkeit des Feedbacks des Trainers an die Athleten dar.

4 Diskussion

Dank des gemeinsamen Interesses an der erfolgreichen Umsetzung des Projektes konnte durch großen Einsatz der beteiligten Personen das Ziel eines spezifischen Mess- und Feedbacksystems für die Disziplinen des Snowboardsports in vollem Umfang erreicht werden. Aufgrund der Förderung des Projektes durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) wurde eine Möglichkeit geschaffen, das Training und perspektivisch auch Wettkämpfe der Sportler von

Snowboard Germany mit Hilfe von Feedback zu unterstützen. Dabei ist das Feedback-System kein Ersatz für einen Trainer oder eine Methode zur Leistungssteigerung der Athleten. Vielmehr dient es zur gezielten Trainingsanalyse, Dokumentation sowie dem Sichtbar-Machen von bewegungsrelevanten kinetischen Messgrößen und stellt damit eine wesentliche Verbesserung im Vergleich zur bisher genutzten Videotechnik dar.

Der Transfer der Projektergebnisse in die Sportart Snowboard ist gesichert durch die guten Kontakte, die während der Projektlaufzeit entstanden sind und sich bewährt haben. Mittels eines Transferprojektes soll das System breitere Anwendung im deutschen Snowboard-Sport finden.

Der Transfer in die Wissenschaft erfolgte unter anderem durch folgende Aktivitäten:

- Paper: "Wearables in Elite Sports – Training Support in Snowboarding through Plantar Pressure Sensors and Inertial Measurement Units" zur Veröffentlichung im Rahmen der Konferenz Measuring Behaviour 2020 (Krakau, Polen) akzeptiert.

Die Konferenz wurde aufgrund COVID-19 auf 2022 verschoben.

- › ISEA Winterschool in Östersund 2018, Vortrag vor internationalen Kollegen und Studierenden, Anwendung des Messsystems in Projekten.
- › Vorstellung des Messsystems an der Chalmers University of Technology 2019, Diskussion mit schwedischen Biathlon-Trainern und Funktionären.

Zur Verbreitung der Projektaktivitäten im gesellschaftlichen Kontext wurde ein Projektvideo mit dem Titel „Trainingsunterstützung im Snowboardsport“ produziert und veröffentlicht. Außerdem wurde das Projekt „TUimSNOW“ gemeinsam vom Verband Snowboard Germany und den Projektmitarbeitern der Professur Sportgerätetechnik beim Tag der offenen Tür der Bundesregierung im August 2019 vorgestellt. Zudem hat bereits ein Transfer innerhalb des deutschen Spitzensports in die Sportart Eisschnelllauf als vom Bundesinstitut gefördertes Forschungsvorhaben stattgefunden. Das Projekt trägt den Titel „Technische Unterstützung im Eisschnelllauf durch Druckmesssohlen und Beschleunigungssensoren“ (Akronym: TUnnEL, Förderkennzeichen ZMV14-071 503/20-21).

5 Literatur

- Hill, M., Hoena, B., Kilian, W., & Odenwald, S. (2016). Wearable, modular and intelligent sensor laboratory. *Procedia engineering*, 147, 671-676.
- Hill, M. & Odenwald, S. (2017). Multi-sensor system dedicated to biomechanical field tests. *In Innovation & Technologie im Sport: 23. dvs-Hochschultag* (p. 161). Feldhaus Verlag GmbH & Co. KG.
- Kilian, W., Hill, M., Odenwald, S. (2016). Adaptive sensor data acquisition for gait analysis. *Procedia engineering*, 147, 659-664.
- Kraus, A., & Odenwald, S. (2009). Determining Ground Reaction Forces Using a Pressure Distribution Measuring System (P156). *The Engineering of Sport* 7, 111-116. Springer.

Grundlagen für einen digitalen Sportstättenatlas

Entwicklung einer Systematik anhand von Parametern zur digitalen bundesweiten Erfassung von Sportstätten

(AZ 081404/19-20)

Lutz Thieme (Projektleitung) & Sören Wallrodt

Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus Remagen, Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

1 Problem

Sportstätten sind die Grundlage des Sporttreibens und der damit verbundenen positiven externen Effekte wie z. B. Gesundheit oder soziale Integration (Rittner & Breuer, 2004). Insofern besitzen funktionale Sportstätten eine besondere Bedeutung für die Sportentwicklung in Deutschland. Informationen zu Sportstätten sind auf kommunaler, regionaler, Landes- und Bundesebene notwendig, um angemessene Entscheidungen treffen zu können. So können Organisationen wie Bundes- und Landesbehörden die Informationen zur Steuerung und Kontrolle von Investitionen einsetzen, kommunale Sportämter für Planungsprozesse. Das Problem besteht allerdings darin, dass kaum belastbare und systematische Informationen zu Sportstätten für ganz Deutschland verfügbar sind. Die letzte deutschlandweite Erhebung hat im Jahr 2000 stattgefunden (Sportministerkonferenz, 2002). Aber auch diese Daten waren aus verschiedenen Gründen, insbesondere der nur aggregierten Erhebung, wenig geeignet, um eine Steuerungswirkung zu entfalten.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesinstitut für Sportwissenschaft im Jahr 2019 eine Expertise ausgeschrieben, um die Grundlagen für die Erstellung eines digitalen Sportstättenatlas zu ermitteln. Dieser digitale Sportstättenatlas soll aussagekräftige, belastbare und möglichst vollständige Daten über die Anzahl und den Zustand der Sportstätten in Deutschland enthalten.

Um die Erstellung eines digitalen Sportstättenatlas für Deutschland vorzubereiten, waren deshalb im Projekt

- › die Parameter von Sportstätten zu bestimmen, nach denen sich ein digitaler bundesweiter Sportstättenatlas erarbeiten lässt sowie
- › die Anforderungen und Umsetzungsmöglichkeiten eines derartigen Erfassungsschemas darzustellen.

2 Methode

Um dieses Projektziel zu erreichen, hat die Hochschule Koblenz als Auftragsnehmer einen ökonomischen Ansatz gewählt, indem zunächst die Ziele und Funktionalität des zukünftigen Sportstättenatlas eruiert worden sind. Ausgehend von der angestrebten Funktionalität wurden relevante Parameter und Erhebungsmethoden identifiziert und im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse evaluiert. Den methodischen Ausgangspunkt bildete eine Stakeholderanalyse, um über die Bedarfe der Stakeholder die anzustrebende Funktionalität des Sportstättenatlas zu identifizieren. Zusätzlich erfolgte eine Analyse bereits bestehender Sportstättendatenbanken in anderen Ländern und in zwei deutschen Bundesländern, um relevante Parameter und gängige Erhebungsmethoden zu ermitteln. Die Ergebnisse der Stakeholderanalyse und der Analyse der Sportstättendatenbanken wurden für Empfehlungen zum Erfassungsschema und den zu verwendenden Erhebungsmethoden eines zukünftigen Sportstättenatlas genutzt.

Tab. 1: Übersicht der 19 Parameterkategorien und deren Relevanz.

Kategorien	Relevanz
Identifikation	hoch
Lokation	hoch
Sportstättentyp	hoch
Betriebsstatus/Lebenszyklusphase	hoch
EigentümerIn/BetreiberIn	hoch
Baulicher Zustand	hoch
Barrierefreiheit	mittel
Ausstattung	mittel
Soziodemographische Informationen	mittel
Betriebskosten	mittel
Umwelt	mittel
Nutzung	mittel
Sportarten	mittel
Zugänglichkeit	mittel
Erreichbarkeit	mittel
Maße	gering
Bilder und Bibliographie	gering
Kontakt	gering
Nutzerbewertung	gering

3.3 Funktionen von Sportstättenatlanten

Aus der Stakeholderanalyse und der Analyse der Sportstättendatenbanken ergaben sich fünf mögliche Funktionen eines Sportstättenatlas:

- › Informationen mit gesellschaftspolitischem Nutzen bereitstellen,
- › Sportstättenplanung,
- › Information für Sportvereine und Sportlerinnen bzw. Sportler,
- › Daten für andere Dienste sowie
- › Datenbasis für Wissenschaft.

Diese fünf Funktionen wurden genauer beschrieben und deren Relevanz für existierende Sportstättenatlanten erhoben. Aufgrund der Bedarfe der Stakeholder, vor dem Hintergrund des bundesweiten Fokus des zu erstellen Sportstättenatlas sowie der Diskussionen im Rahmen der durchgeführten Workshops wurde

die Funktion „Informationen mit gesellschaftspolitischem Nutzen bereitstellen: Schwerpunkt Bundesebene“ und „Sportstättenplanung auf lokaler, regionaler und Landesebene“ als zentrale Funktionen des zu erstellenden Sportstättenatlas ausgewählt. Mit dieser Zielsetzung konnte eine Bewertung der Relevanz der zu erhebenden Parameter erfolgen.

3.4 Erfassungsschema

Die Erstellung eines Erfassungsschemas als eines der beiden zentralen Ziele des Projekts zielt darauf ab, konkrete Parameter zu benennen, die an Sportstätten im Rahmen der Erstellung des digitalen Sportstättenatlas erhoben werden sollen. Aus der Analyse der 12 Sportstättendatenbanken und der Bedarfe der Stakeholder ergaben sich über 400 mögliche Parameter, die erhebbar wären. Diese 400 Parametern konnten auf 19 Kategorien reduziert werden. Tab. 1 gibt einen Überblick über die 19 Kategorien und deren Relevanz in Hinblick auf die angestreb-

ten Funktionen des Sportstättenatlas. Die Relevanz ergab sich aus einer mit den Stakeholdern abgestimmten Analyse. Je höher die Relevanz eingeschätzt wird, desto eher sollten Parameter dieser Kategorien für den zu erstellenden Sportstättenatlas aufgenommen werden. Dabei sind allerdings noch die Kosten (im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse), zu berücksichtigen. Da die Kosten zur Erhebung von Parametern unmittelbar mit der verwendeten Erhebungsmethode zusammenhängen, wurden mehrere Erhebungsmethoden identifiziert, beschrieben sowie hinsichtlich ihrer Kosten und grundsätzlichen Eignung bewertet.

3.5 Erhebungsmethoden

Insgesamt wurden 10 Erhebungsmethoden überprüft und hinsichtlich verschiedener Kosten und Nutzenaspekte bewertet.

Als Kostenaspekte wurden

- direkte Kosten beim Ersteller des Sportstättenatlas (also z. B. Personalkosten, wenn alle Sportstätten besucht werden sollten) sowie
- indirekte Kosten berücksichtigt.

Indirekte Kosten sind Aufwendungen, die für die beteiligten Organisationen, wie beispielsweise Kommunen für die Bereitstellung von Daten oder für Abstimmungsprozesse entstehen.

Tab. 2: Kosten und Nutzen der Erhebungsmethoden.

Erhebungsmethode	Kosten		Nutzen		
	(1) direkte Kosten	(2) indirekte Kosten	(3) Validität	(4) Parameter	(5) Vollständig- keit
Webcrawler	mittel	gering	gering	gering	gering
Statistische Landesämter	gering	hoch	hoch	mittel	hoch
Liegenschaftskataster	gering	gering	hoch	gering	gering
Stichprobenziehung	mittel	gering	mittel	mittel	gering
Satellitenaufnahmen	mittel	gering	hoch	gering	mittel
vorhandene Datenbestände	mittel	gering	hoch	mittel	mittel
Umfrage	mittel	mittel	hoch	mittel	hoch
Vor-Ort-Erfassung	hoch	gering	hoch	hoch	hoch
Citizen Science / Bürgerbeteiligung	mittel	gering	mittel	hoch	mittel
Desk-Research	mittel	mittel	hoch	hoch	mittel

Als Nutzenaspekte wurden die Validität der Daten („Sind die mit der jeweiligen Methode erfassten Daten fehlerbehaftet?“), der Umfang der Parameter, die mittels der Methode erhebbar sind sowie die Vollständigkeit der zu erwartenden Ergebnisse im Sinne einer Vollerhebung (Grundgesamtheit), bewertet. Als vorteilhaft im Sinne eines Kosten-Nutzen-Verhältnisses wurden insbesondere „Desk-Research“, „vorhandene Datenbestände“ und „Citizen Science / Bürgerbeteiligung“ identifiziert. Tab. 2 gibt einen Überblick über die Bewertung der Erhebungsmethoden.

4 Empfehlungen

4.1 Zum Aufbau eines digitalen Sportstättenatlas

Zur konkreten Erstellung eines digitalen Sportstättenatlas wurde vor dem Hintergrund der durchgeführten Analyse ein fünfstufiges Vorgehen vorgeschlagen. Bestehend aus zwei Grundstufen und drei (optionalen) Ausbaustufen. Tab. 3 gibt eine Übersicht über das empfohlene Vorgehen.

Tab. 3: Zusammenfassung der zu erhebenden Parameter und Erhebungsmethoden auf den einzelnen Stufen.

Stufe	Zu erfassende Parameter	Erfassungsmethode
1. Grundstufe	Identifikation (Sportkomplex-Id, Sportstätten-Id, Name); Lokalisation (Adresse, Koordinaten, Amtlicher Gemeindegemeinschaftsschlüssel); Sportstättentyp; Betriebszustand	Vorhandene Datenbestände; Desk-Research
2. Grundstufe	Eigentümer/Betreiber; Baulicher Zustand (nur Baujahr)	Umfrage; Desk-Research
1. Ausbaustufe	Ausstattung; Kontakt; Barrierefreiheit	zusätzlich Citizen Science
2. Ausbaustufe	Soziodemographische Informationen	Vorhandene Datenbestände
3. Ausbaustufe	Baulicher Zustand (detaillierter); weitere Parameter	zusätzlich Vor-Ort-Begehungen

Eine besondere Herausforderung beim Aufbau eines digitalen Sportstättenatlas wird die Abstimmung mit den Stakeholdern und die Schaffung eines gemeinsamen Datenmodells sein.

4.2 Zum Betrieb des digitalen Sportstättenatlas

Neben der erstmaligen Erstellung eines digitalen Sportstättenatlas ist der dauerhafte Betrieb zu beachten, damit eine nachhaltige Wirkung sichergestellt werden kann. Hierbei ist insbesondere die institutionelle Anbindung relevant. Der dauerhafte Betrieb kann von verschiedenen Organisationen übernommen werden. Dabei scheinen Bundesbehörden oder Sportorganisationen spezifische Vorteile zu bieten. Aber auch andere Organisationen kommen durchaus infrage.

4.3 Kosten eines Sportstättenatlas

Aus Interviews mit den Betreibern von Sportstättenatlanten konnten verschiedene Angaben zu Kosten zum Aufbau und Betrieb eines Sportstättenatlas gewonnen werden. Ausgehend von diesen Angaben scheinen Kosten von ca. 200.000 € p. a. über vier Jahre für den Aufbau eines Sportstättenatlas notwendig. Die Kosten für den dauerhaften Betrieb, insbesondere der Datenaktualisierung und -validierung, sind schwer zu prognostizieren, sind aber sicherlich deutlich höher als 100.000 € p. a.

5 Transfer und Ausblick

Bei der Erstellung der Expertise waren viele Organisationen und Personen eingebunden. Vom Deutschen Olympischen Sportbund, über verschiedene Landessportbünde, von Bundes- und Landesministerien über kommunale Spitzenverbände. Diese Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Stakeholdern von Sportstätten ist auch für die weitere Umsetzung des Sportstättenatlas von großer Bedeutung, z. B. bezüglich der Datenerhebung und der Abstimmung eines gemeinsamen Datenmodells.

Detaillierter Bericht

Der detaillierte Bericht zur Expertise ist abrufbar unter

https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Publikationssuche_Sonderpublikationen/GrundlagenDigitalerSportstaettenatlas.pdf

6 Literatur

Rittner, V., & Breuer, C. (2004). *Gemeinwohlorientierung und soziale Bedeutung des Sports* (2. Aufl.). Wissenschaftliche Berichte und Materialien/Bundesinstitut für Sportwissenschaft: Bd. 2004,2. Sport und Buch Strauß.

Sportministerkonferenz (2002). *Sportstättenstatistik der Länder*. Berlin/Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport.

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

Service- Forschungsprojekte

Entwicklung eines kognitiven Trainings zur Steigerung der Informationsverarbeitungscompetenz unter Belastung für den Deutschen Segler-Verband

(AZ 072005/19-20)

K.-M. Stadler¹, M. Bieleke², O. Benthien³ & W. Wolff (Projektleitung)^{1,4}

¹Universität Konstanz, Sportwissenschaft/Sportpsychologie

²Universität Potsdam, Zentrum für praktische Sportpsychologie, UP Transfer GmbH

³Universität Wien, Institut für Psychologie der Entwicklung und Bildung

⁴Universität Bern, Pädagogische Psychologie

1 Einleitung

Athleten und Athletinnen des Leistungssports Segeln bewältigen enorme körperliche und mentale Herausforderungen während einer Wettkampfsituation. Ambigüe Situationen müssen effektiv und schnell wahrgenommen und interpretiert werden. Innerhalb von Sekunden muss eine sinnvolle Entscheidung unter zugleich hohem zeitlichem Druck und intensiver physischer Belastung getroffen werden. Prototypisch müssen die Segler und Seglerinnen beim Wendenmanöver im richtigen Moment entscheiden, welche Seite des Feldes taktisch von Vorteil wäre oder ob die direkten Konkurrenten gedeckt werden müssen. Hinzu kommt, dass vielfältige Umgebungsfaktoren (z. B. Wind, Wolken, Position der gegnerischen Boote) schnell und korrekt interpretiert und in die Entscheidungsfindung mit einbezogen werden müssen. Um diese Herausforderung erfolgreich zu bewältigen, müssen Athleten und Athletinnen visuelle Information schnellstmöglich verarbeiten können (*Rapid Visual Information Processing*; RVIP). Forschung zeigt, dass die Anforderung einer schnellen Informationsverarbeitung eine kognitive Belastung (*Cognitive Load*) für Menschen darstellt (Cattapan-Ludewig et al., 2005) und derartige kognitive Belastungen wiederum die messbare physiologische Leistung negativ beeinflussen können (systematischer Review: Van Cutsem et al., 2017). Befunde aus der Selbstregulationsforschung zeigen, dass das Bearbeiten kognitiver Aufgaben (*Cognitive Load*) nachfolgende kör-

perliche Leistung negativ beeinflusst (systematischer Review und Meta-Analyse: Brown et al., 2020; Giboin & Wolff, 2019). Leistungssportliche Segler und Seglerinnen, welche unter kognitiver Belastung stehen, zeigen im Vergleich zu jenen, welche keine kognitive Belastung erleben, einen deutlichen Leistungsabfall bei der Ausführung einer Kraftübung (Benthien & Wolff, 2014). Es ist anzunehmen, dass dieser Effekt durch ein kognitives Training, welches die visuelle Informationsverarbeitungs-Kompetenz stärkt, vermindert werden könnte.

Bis zum jetzigen Zeitpunkt trainieren die Segler und Seglerinnen des Deutschen Segler-Verbandes (DSV) diese kognitive Fertigkeit mit keinem spezifisch dafür entwickelten Training. Hier setzt das vorliegende Projekt an und nutzt den Umstand, dass schnelle, visuelle Informationsverarbeitung (RVIP) mithilfe eines computerbasierten Trainings simuliert und trainiert werden kann (Coull et al., 1996). Dabei bekommen Personen eine Reihe von schnell aufeinander folgenden Stimuli (z. B. Zahlen) auf dem Bildschirm präsentiert (z. B. 100 Zahlen pro Minute). Diese Stimuli müssen auf Muster innerhalb der zeitlichen Abfolge kategorisiert werden. Die hohe Geschwindigkeit der Stimulus-Präsentation, das konstante Erfordernis von fokussierter Aufmerksamkeit und das Updaten der aktuellen Zahlensequenz im Arbeitsgedächtnis induziert hohe kognitive Belastung. Es ist somit anzunehmen, dass das kognitive Training wesentliche Merkmale der kognitiven Belastungssituation im Wettkampfsegeln simuliert.

In Kooperation mit den Athletinnen und Athleten sowie den Trainerinnen und Trainern des DSV war unser Ziel, im Rahmen dieses Projektes in einem dreistufigen Prozess (Entwicklung, Kalibrierung, Manualisierung) ein kognitives Training als Tool der Leistungsoptimierung zu entwickeln, zu integrieren und den Seglern und Seglerinnen zu Verfügung zu stellen. Das kognitive Training wurde zusätzlich mit hoher physischer Belastung (in Form von Athletiktraining) kombiniert, um eine kognitiv und physisch herausfordernde Situation für die Segler und Seglerinnen zu induzieren. Die visuelle Informationsverarbeitung-Kompetenz der Athleten und Athletinnen soll hier gefordert und gefördert werden, um somit den Effekt der kognitiven Belastung auf die Leistung zu reduzieren. Das langfristige Ziel wäre, dass die Kombination des kognitiven Trainings mit intensiven Athletiktraining zu einer besseren Informationsverarbeitungscompetenz führt und somit den Athleten und Athletinnen hilft, noch effektiver mit den Wettkampfherausforderungen umzugehen.

2 Methoden

2.1 Entwicklungs- und Kalibrierungsphase (1)

Das Projekt wurde in drei Phasen gegliedert (Entwicklungs- und Kalibrierungsphase; Testungs- und Evaluationsphase; Aufbereitungsphase). In der Entwicklungsphase (1) wurde das computerisierte kognitive Training in der Sportwissenschaft (Lehrstuhl für Sportpsychologie) der Universität Konstanz entwickelt und getestet.

Anschließend wurde das Training gemeinsam

mit 11 Athleten und Athletinnen des DSV (6 Mädchen; $M = 15, SD = 1.00$, Altersspanne: 13-16) am Bundesstützpunkt Nachwuchs-Süd in Friedrichshafen implementiert und kalibriert (Tab. 1). Das Feedback der Athleten und Athletinnen wurde anschließend integriert und der Ablauf des kognitiven Trainings optimiert.

2.2 Aufbau des kognitiven Trainings

Aufgabe der Athleten und Athletinnen war es, eine Reihe von schnell aufeinander folgenden Zahlen auf ein definiertes Muster (Zielsequenz) innerhalb der zeitlichen Abfolge zu kategorisieren. Definierte Zielsequenzen (z. B. drei aufeinanderfolgende *gerade* (z. B. 2 6 4) oder *ungerade* (z. B. 7 3 9) Zahlen) müssen also so schnell wie möglich identifiziert und bestätigt werden (= Drücken der Leertaste), (siehe Abb. 1, 2, Seite 3). Um das Training optimal an individuelle Leistungsniveaus anzupassen und somit adaptiv zu gestalten, wurden überdies verschiedene Schwierigkeitslevels integriert. Anhand von zwei Einstellungsmöglichkeiten (*Präsentationsgeschwindigkeit* und *Sequenzlänge*) kann das Schwierigkeitslevel an das individuelle Leistungsniveau verschiedener Athleten und Athletinnen angepasst werden. Die Präsentationsgeschwindigkeit der Zahlen [1 = langsam (0.8s/pro Zahl), 2 = moderat (0.6s/pro Zahl), 3 = schnell (0.5s/pro Zahl)], so wie die Länge der Zielsequenz (3, 4, 5 Zahlen) sind dreistufig variierbar. Die Athleten und Athletinnen konnten diese Einstellung auf Basis ihrer bisher erbrachten Leistung selbst einstellen (siehe Auswertung). Wurde das Training zum ersten Mal durchgeführt, so wurde dieses im einfachsten Level getestet.

Das kognitive Training wurde auf der Basis von

Tab. 1: Einteilung der Nachwuchsathleten und -athletinnen in Bootsklassen und Kaderstatus (Friedrichshafen, 2020)

Zweihand oder Einhand	N	Bootsklasse	N	Kaderstatus	N
Einhand	7	29er	4	Landeskader	11
Zweihand	4	Laser 4.7	1	Nachwuchskader 1	-
		Laser Radial	3	Nachwuchskader 2	-
		Laser Standard	3	Perspektivkader	-
				Trainingsgruppe	-
				Fehlend	-

N = Anzahl an Personen

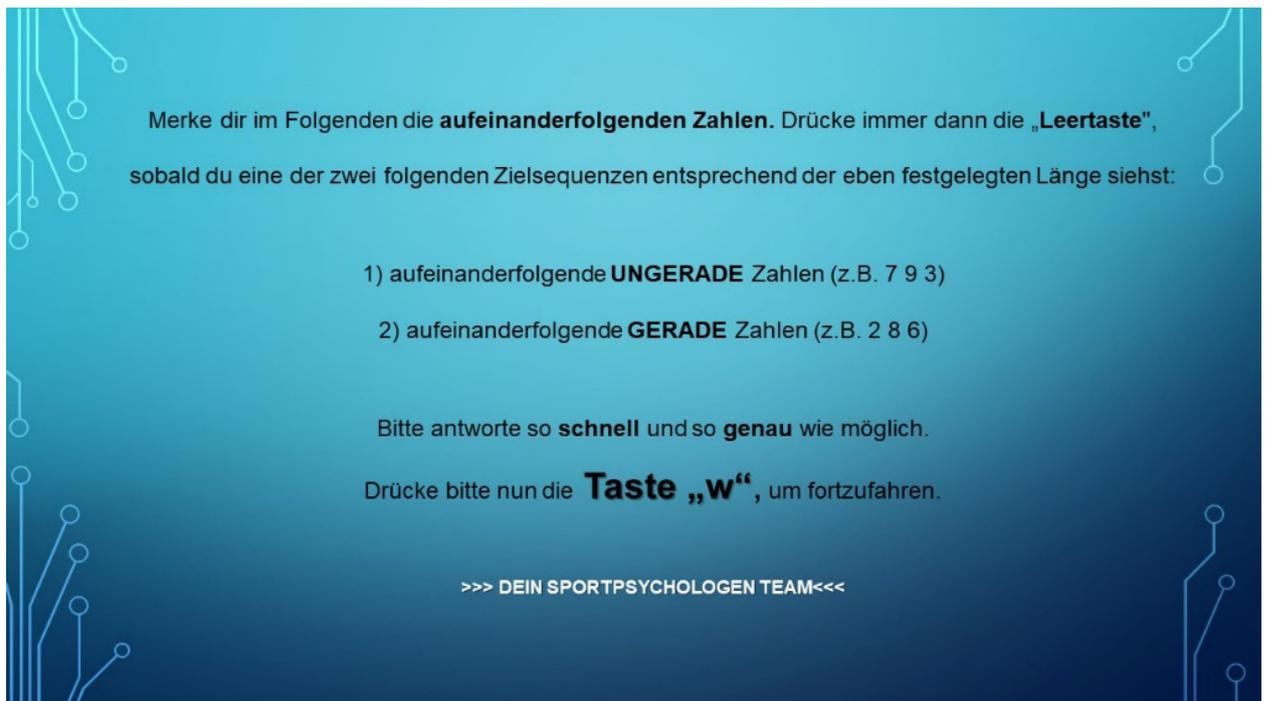


Abb. 1: Ausschnitt aus dem kognitiven Training. Kurze Erklärung beim Start jeden Trainings.

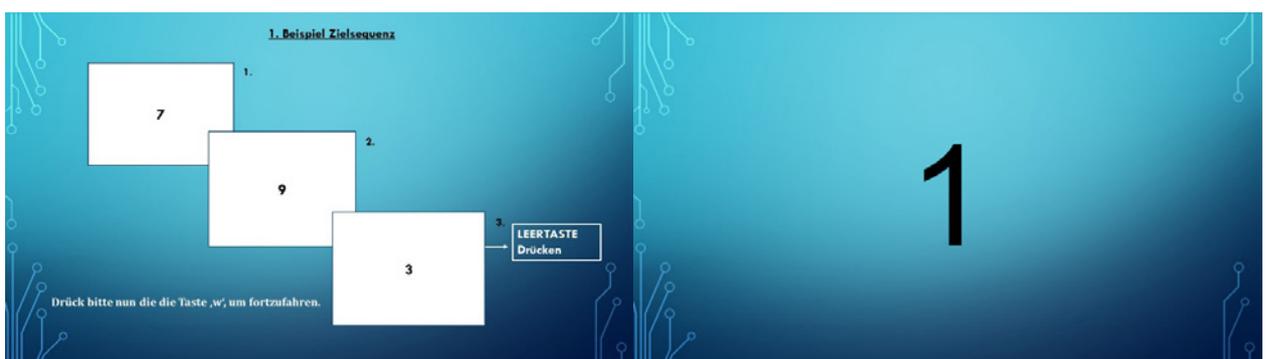


Abb 2: Ausschnitt aus dem kognitiven Training. Kurze Erklärung beim des ersten Trainingsdurchlaufs (links). Bildschirmausschnitt während des Trainings (rechts).

Coull et al. (1996) und dem bereits prototypisch eingesetzten (Benthien & Wolff, 2014) RVIP Test, mithilfe der Open Source Software *PsychoPy* (<http://www.psychopy.org/>) entwickelt. Die Programmiersprache ist hier Python. Diese kostenfreie Software wird in der Forschung für die präzise Messung der visuellen Kategorisierungsleistung eingesetzt und genügt allen wissenschaftlichen Standards.

2.3 Kombination der kognitiven und physiologischen Belastung

Um eine ähnlich hohe physiologische Belastung bei den Athleten und Athletinnen im Vergleich zur Wettkampfsituation zu erzielen, haben wir das kognitive Training in der Phase 2 (Kalibrierungs- und Evaluationsphase) in Kombination mit einem Athletiktraining in Form eines Zirkeltrainings kalibriert und integriert. Die einfache Anwendung des kognitiven Trainings (Reaktion auf Zielsequenz durch Drücken der Leertaste) ermöglichte es uns, dieses in ein klassisches Zirkeltraining zu integrieren.

Das kognitive Training wurde hier als letzte Station eingeführt, sodass die Athleten und Athletinnen einen Puls zwischen 160 bis 180, ähnlich wie während dem Wettkampf-Segeln, hatten. Der Puls wurde vor jedem kognitiven Training gemessen und mit in die Trainingsanalyse aufgenommen. Typische Zirkelübungen waren hier Sprints, Hoch-Streck-Sprünge und springende Ausfallschritte.

2.4 Testungs- und Evaluationsphase (2)

Das optimierte kognitive Training wurde anschließend im Rahmen des *German Sailing Team-Camp 2020* auf Mallorca gemeinsam mit 36 Kaderathleten und -athletinnen (14 Frauen; $M = 20$, $SD = 2.32$, Altersspanne: 16 – 26; Tab. 2) final getestet und erste Leistungen beispielhaft ausgewertet (Abb. 4, Seite 5).

Wurden mehr als 85 % Treffer oder weniger als 15 % falsche Alarme erzielt, so liegt man im gelben Bereich. Den Athleten und Athletinnen wird hier empfohlen, das Schwierigkeitslevel beizubehalten. Wurden mehr als 85 % Treffer und weniger als 15 % falscher Alarme erzielt, so liegt man im grünen Bereich. Den Athleten und Athletinnen wird hier empfohlen, das Schwierigkeitslevel zu steigern. Anlehnend an bisheriger Forschung haben wir die Schwellengrenze 85 % (Trefferquote) und 15 % (Error-Rate entspricht falscher Alarm) gesetzt. In diesem Bereich kann optimales Lernen stattfinden, das heißt, das Training ist weder zu leicht noch zu schwer (Wilson et al., 2019).

Tab. 2: Einteilung der Kaderathleten und -athletinnen in Bootsklassen und Kaderstatus (Mallorca, 2020)

Zweihand oder Einhand	N	Bootsklasse	N	Kaderstatus	N
Einhand	12	49er	24	Landeskader	3
Zweihand	24	Laser	2	Nachwuchskader 1	17
		Laser Radial	7	Nachwuchskader 2	3
		Laser Standard	3	Perspektivkader	7
				Trainingsgruppe	4
				Fehlend	2

N = Anzahl an Personen

2.4 Auswertung des kognitiven Trainings

Das Feedback zum Training erfolgte anhand eines Ampelsystems (siehe Abb. 3, Seite 5). Berechnet wurden die *Trefferquote* (die Zielsequenz wurde richtigerweise erkannt und die Leertaste gedrückt), die *Falscher Alarm Quote* (keine Zielsequenz vorhanden und die Leertaste wurde fälschlicherweise gedrückt) sowie die *mittlere Reaktionsgeschwindigkeit* (die Geschwindigkeit, mit der auf eine Zielsequenz geantwortet, also die Leertaste, gedrückt wurde). Sowohl die Treffer- als auch die Falscher Alarm Quote sind für die Qualität der Entscheidungsfindung aussagekräftig und wichtig. Wurden weniger als 85 % Treffer und mehr als 15 % falsche Alarme erzielt, so liegt man im roten Bereich. Den Athleten und Athletinnen wird hier empfohlen, das Schwierigkeitslevel zu senken.

2.5 Aufbereitungsphase (3)

In dem letzten Schritt wurden das kognitive Training sowie dessen Auswertung aufbereitet und manualisiert, sodass Aktive sowie Trainerinnen und Trainer das kognitive Training langfristig, kostenfrei und eigenständig nutzen können. Um intraindividuelle Leistungsunterschiede innerhalb eines Zirkeltrainings sowie über den zeitlichen Verlauf vergleichen zu können, entwickelten wir zwei Analyse-Skripte: eine Leistungsauswertung mehrerer Trainingsrunden an einem Tag bzw. innerhalb eines Athletiktrainings (z. B. in Form einer Zirkeltrainings-Station) sowie eine komprimierte Leistungsauswertung mehrerer Trainingstage (z. B. mehrere Zirkeltrainings). Die Analyse-Skripte, welche eine automatisierte Auswertung der individuellen Trainingsdaten lieferten, entwickelten wir mit der Open Source Software *R* (<https://www.r-project.org/>).

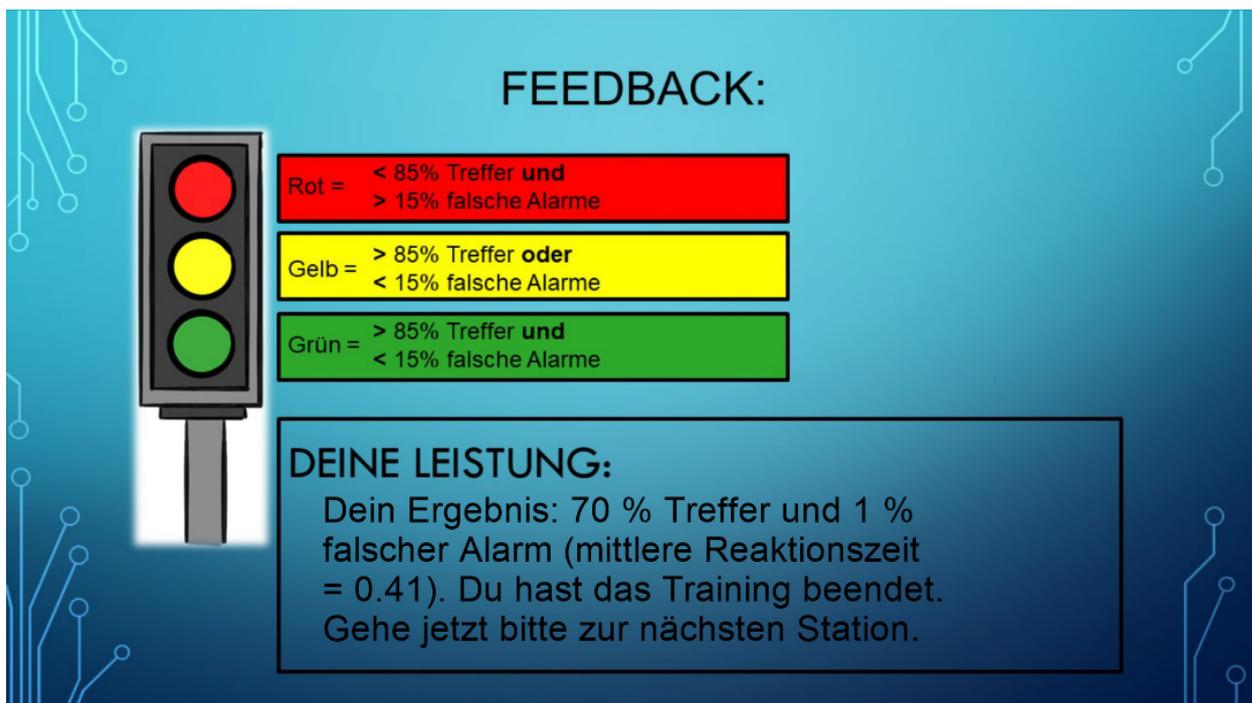


Abb. 3: Ausschnitt aus dem kognitiven Training. Feedbackbildschirm nach Vollendung einer Trainingsrunde.

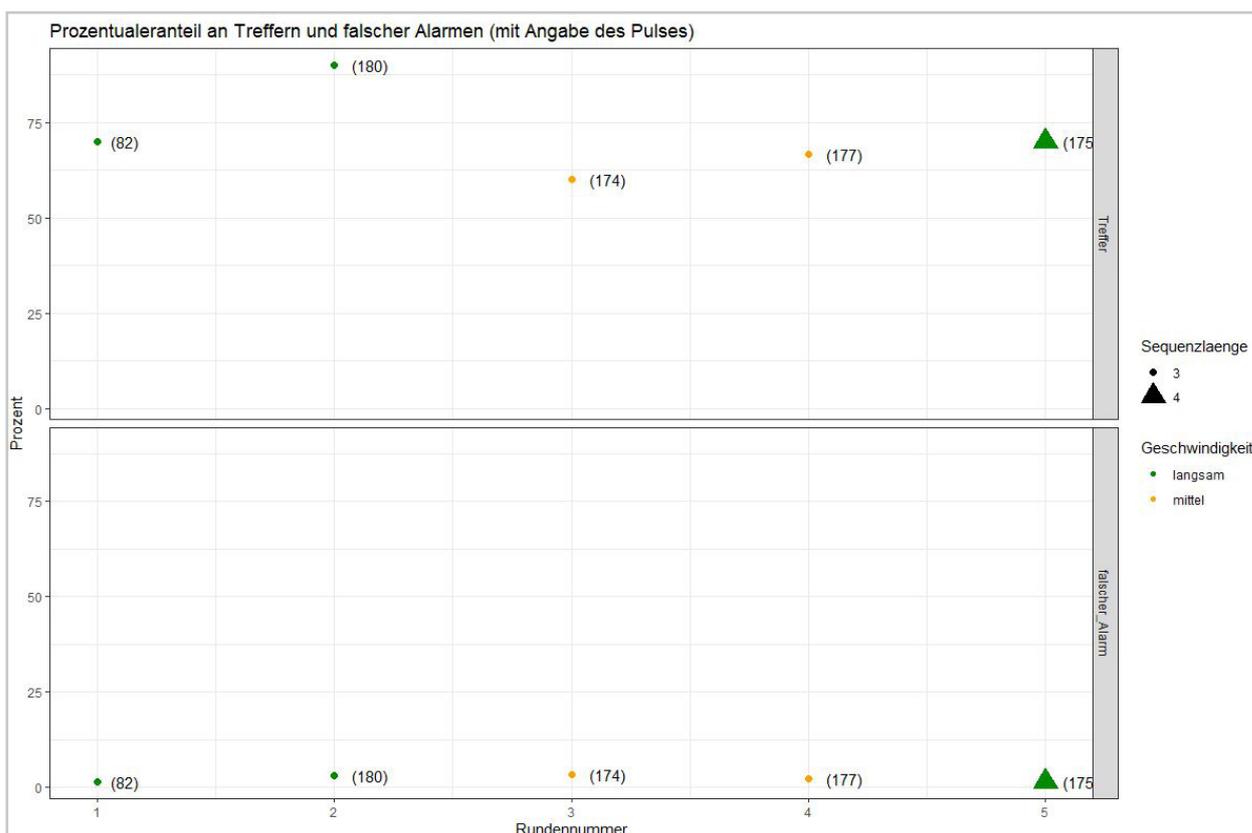


Abb. 4: Individuelle Leistungen eines Athleten für mehrere Durchgänge des kognitiven Trainings. Die y-Achse gibt den prozentualen Anteil an Treffern (oberer Teil) und falscher Alarmen (unterer Teil) an. Die x-Achse gibt die Rundennummer des kognitiven Trainings an. Markierungsfarben definieren die Geschwindigkeit der Zahlenpräsentation (langsam = grün; moderat = gelb; schnell = rot). Die Markierungsform- und Größe definiert die Sequenzlänge (Punkt = 3 Zahlen; Dreieck = 4 Zahlen; Quadrat = 5 Zahlen). Umso größer die Form, desto länger die Sequenz. Die Zahlen in Klammern geben den Puls pro Minute des Athleten an.

3 Resultate

Abb. 4 zeigt eine beispielhafte Leistungsauswertung eines Athleten/einer Athletin anhand der entwickelten Analyse-Skripte.

Die Abbildung besteht aus zwei Teilen. Der obere Teil der Abbildung bezieht sich auf die Trefferquote, also richtig erkannte Zielsequenzen, während sich der untere Teil der Abbildung auf die falscher Alarm Quote, also die fälschlichen Tastendrucke bei Nicht-Zielsequenzen, bezieht. Auf der x-Achse werden je nach Analyseskript entweder die Rundenummer (Analyse-Skript mehrerer Runden) oder das entsprechende Datum des Trainings und die Runde (Analyse-Skript mehrerer Zirkeltrainings) angegeben. Die y-Achse zeigt bei beiden Analyseskripten und in beiden Teilen der Abbildung den entsprechenden prozentualen Anteil der Treffer bzw. der falschen Alarme. Abhängig davon, welches Geschwindigkeitslevel und welches Sequenzlängenlevel gewählt wurde, unterscheiden sich die Markierungen in ihrer Farbe bzw. Form. Markierungsfarben definieren die Geschwindigkeit der Zahlenpräsentation (langsam = grün; moderat = gelb; schnell = rot). Die Markierungsform- und Größe definiert die Sequenzlänge (Punkt = 3 Zahlen; Dreieck = 4 Zahlen; Quadrat = 5 Zahlen). Unser Beispielathlet durchlief das kognitive Training also einmal in unbelastetem Zustand (Puls von 82/min) und wiederholte das Training dann viermal innerhalb eines Zirkeltrainings mit hoher physiologischer Belastung (174-180 Puls/min). Die ersten beiden Runden durchläuft der Athlet im einfachsten Schwierigkeitslevel (*langsam*, Zielsequenzlänge = 3). Da sich der Athlet in der zweiten Runde im *grünen* Ampelbereich befindet (Treffer > 85 %, Fehler Alarm < 15 %), erhöht er das Schwierigkeitslevel, indem er die Präsentationsgeschwindigkeit erhöht (*moderat*, Runde 3 & 4). In der letzten Runde variiert der Athlet das Schwierigkeitslevel, in dem er die Geschwindigkeit wieder verlangsamt (*langsam*), dafür aber die Zielsequenzlänge erhöht (= 4).

4 Diskussion

Athleten und Athletinnen des Leistungssports Segeln bewältigen enorme körperliche und kognitive Herausforderungen während einer Wettkampfsituation. Segler und Seglerinnen müssen ambigue Situationen unter hohem zeitlichen Druck und intensiver körperlicher Belastung effektiv wahrnehmen und eine schnelle Entscheidung treffen. Hierzu benötigen die Athleten und Athletinnen eine schnelle visuelle Informationsverarbeitung. Aus dieser Ausgangslage heraus, war das Ziel dieses Projektes, gemeinsam mit den Aktiven und den Trainerinnen bzw. Trainern des DSV ein kognitives Training, welches die visuelle Informationsverarbeitungs-Kompetenz stärkt, zu entwickeln, zu kalibrieren, zu integrieren und den Seglern und Seglerinnen ohne anfallende Kosten zu Verfügung zu stellen. Sowohl die Entwicklung als auch die Kalibrierung und Manualisierung (inkl. Auswertungsmanual) des Trainings verliefen reibungslos. Das kognitive Training ließ sich flüssig in ein Zirkeltraining integrieren. Mithilfe eines wasserdichten Pads könnte dieses auch direkt während der Segel-Belastung etabliert werden. Auf Seiten der Athleten und Athletinnen wurde das kognitive Training selbst, vor allem aber die Kombination aus kognitiver und physiologischer Belastung als herausfordernd empfunden. Dennoch herrschte auf Seiten der Sportlerinnen und Sportlern sowie deren Trainerinnen und Trainer eine hohe Aufgeschlossenheit gegenüber den Maßnahmen.

Noch bleibt offen, ob das kognitive Training eine objektiv messbare, signifikante Leistungs-optimierung erzielt. In Form einer Aufteilung in Experimentalgruppe (mehrwöchiges Programm mit kognitivem Training) und Kontrollgruppe (mehrwöchiges Programm ohne kognitives Training) könnte zumindest der Einfluss des kognitiven Trainings auf die physiologische Leistung, beispielsweise in Form einer Kraftübung im Athletiktraining, differenziert untersucht werden. Der tatsächliche Effekt des kognitiven Trainings auf die effektive und schnelle Entscheidungsfindung während des Segelns ließe sich wohl eher anhand von Fragebögen, welche die subjektiv wahrgenommenen Veränderungen erfassen, untersuchen.

4.1 Zukünftige Weiterentwicklung

Das hier beschriebene kognitive Training ermöglicht uns auch langfristig, die Leistungslevel noch differenzierter an die jeweiligen Athleten und Athletinnen anzupassen: Die zwei bereits vorhandenen Einstellungsmöglichkeiten könnten noch ausgeweitet werden: in Form einer noch schnelleren Präsentationsgeschwindigkeit (Stellschraube: *Präsentationsgeschwindigkeit*) oder einer noch längeren Zielsequenz (Stellschraube: *Sequenzlänge*). Außerdem könnte eine dritte Einstellungsmöglichkeit, nämlich die Definition der Zielsequenz, eingebettet und variiert werden (z. B. zwei aufeinander folgende gerade UND eine ungerade Zahl). Sinnvoll wäre über dies hinaus, das kognitive Training nicht nur in dessen kognitiven Grundmechanismen an die Herausforderungen des Segelsports anzupassen, sondern das Training in einem weiteren Schritt so praxisnah wie möglich zu gestalten. Ein möglicher Ansatz wäre, Zielsequenzentscheidungen in Form von Zahlen mit konkreten Entscheidungen des Wettkampfs einzusetzen. Auf Grundlage von kurzen Video-sequenzen könnten übliche Entscheidungen (z. B. wann und wie wird das Wendemanöver auf Grundlage der Konkurrenten-Position, dem Wind, der Wolken etc. eingeleitet) nachgestellt werden, auf welche Athletinnen und Athleten innerhalb kürzester Zeit antworten müssen. Mithilfe dieser Erweiterung, könnte nicht nur die schnellere Informationsverarbeitung und somit schnellere Entscheidungsfindung (gemessen in der gemittelten Reaktionszeit), sondern auch die Qualität der Entscheidung (wurde richtig entschieden?) bezogen auf konkrete Wettkampfs-Herausforderungen trainiert werden.

4.2 Relevanz

Angesichts der hohen Leistungsdichte und besonderen Herausforderungen durch die COVID-19 Pandemie bei den Olympischen Spielen 2021 ist es zentral, das kognitive Training zur Leistungsoptimierung für die DSV Segler und Seglerinnen verfügbar zu machen. Das Training kann sowohl wohl zuhause auf einem privaten Computer/Laptop individuell, als auch gemeinsam mit einer Trainingsgruppe genutzt werden. Darüber hinaus ermöglichen die Auswertungsskripte den Athleten und Athletinnen, gemeinsam mit ihren Trainern und Trainerinnen ihre Leistungsanstiege und -abstiege kontinuierlich und langfristig zu verfolgen und diese ggf. auch mit ihrer physiologischen Leistung während des Athletiktrainings in Zusammenhang zu setzen. Langfristig erhoffen wir uns, dass die gesteigerte Informationsverarbeitungs-Kompetenz zu einer schnelleren Entscheidungsfindung und somit Leistungsoptimierung führt. Dieses kognitive Training ist von entscheidender Bedeutung, einen Vorsprung zu Konkurrenten im Wettkampfkontext zu leisten.

5 Literatur

- Benthien, O., & Wolff, W. (2014). *Cognitive load impairs physical performance in elite sailors*. Unpublished manuscript.
- Brown, D. M. Y., Graham, J. D., Innes, K. I., Harris, S., Flemington, A., & Bray, S. R. (2020). Effects of prior cognitive exertion on physical performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *50*(3), 497-529.
- Cattapan-Ludewig, K., Hilti, C. C., Ludewig, S., Vollenweider, F. X., & Feldon, J. (2005). Rapid Visual Information Processing in Schizophrenic Patients: The Impact of Cognitive Load and Duration of Stimulus Presentation. *Neuropsychobiology*, *52*, 130-134. doi: 10.1159/000087558
- Coull, J. T., Frith, C. D., Frackowiak, R.S.J., & Grasby, P. M. (1996). A fronto-parietal network for rapid visual information processing: A PET study of sustained attention and working memory. *Neuropsychologia*, *34*, 1085-1095. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(96\)00029-2](https://doi.org/10.1016/0028-3932(96)00029-2)
- Giboin, L.S., & Wolff, W. (2019). The effect of ego depletion or mental fatigue on subsequent physical endurance performance: a meta-analysis. *Performance Enhancement and Health*, *7*(1-2), 100150. <https://doi.org/10.1016/j.peh.2019.100150>
- Wilson, R. C., Shenhav, A., Straccia, M., & Cohen, J. D. (2019). The eighty five percent rule for optimal learning. *Nature Communications*, *10*, 1-9. doi: 10.1038/s41467-019-12552-4
- Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The effects of mental fatigue on physical performance: A systematic review. *Sports Medicine*, *47*, 1569-1588.

Zusammenhang von Blick- und Entscheidungsverhalten bei Strafecken-Schützinnen und Schützen im Feldhockey

(AZ 072009/19-20)

Stefanie Klatt (geb. Hüttermann, Projektleitung), Benjamin Noël & Frowin Fasold

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

1 Problem

Im aktuellen Entwicklungsstand des Sportspiels Hockey ist die Strafecke als wichtiger Erfolgsfaktor zu sehen, da viele Spiele durch Strafecken entschieden werden. Während der Herren-Feldhockey-Weltmeisterschaften 2018 erzielten die vier Gruppengewinner in der Vorrunde insgesamt 38 % ihrer Tore durch Strafecken. Trotz dieser hohen Torerfolgsquoten durch Strafecken im Feldhockey wurde dieser Spielsituation in der Forschung bislang kaum Aufmerksamkeit geschenkt. Im Hallenhockey wurde bereits eine Studie mit Strafecken-Schützinnen durchgeführt (Vinson et al., 2013). Darüber hinaus lassen sich vereinzelt Studien finden, die sich mit der Rolle der Torhüterin und des Torhüters während einer Strafecke beschäftigen.

In den finalen Spielen um die Deutsche Meisterschaft der Herren im Feldhockey in den Jahren 2017 bis 2019 wurden insgesamt 26 Strafecken ausgeführt, von denen lediglich fünf zu einem Torerfolg führten. Dies könnte darin begründet sein, dass sich die Mannschaften bereits vor dem Spiel durch Videoanalysen und gezieltes Training gut auf die Ausführungsvarianten der Strafecken der gegnerischen Mannschaft eingestellt haben und durch ihre Verteidigungsvarianten die Strafecken-Effektivität versuchen zu minimieren (vgl. Vizcaya, 2015). Daraus lässt sich ableiten, dass Strafecken-Schützinnen und Schützen einen Vorteil hätten, wenn sie das Verteidigungsverhalten der gegnerischen Mannschaft situativ erkennen könnten. Sie könnten so auf das Verteidigungsverhalten reagieren und die erfolgsversprechendste Abschlussvariante für diese Strafecke auswählen.

Dadurch würde sich die Chance eröffnen, weitere offensive Optionen oder Spielhandlungen unmittelbar während einer Strafecke bereitzustellen, die dem angepassten und antrainierten Verteidigungsverhalten entgegenwirken. Es ist allerdings noch unklar, welche Anforderungen eine solche situative Entscheidung an das Blickverhalten stellt und inwieweit das Beobachten der gegnerischen Spielerinnen und Spieler und das gleichzeitige Fokussieren auf den eigenen Handlungsablauf überhaupt möglich sind. Ziel dieses Service-Forschungsprojektes war es demzufolge zu untersuchen, welchen Einfluss und welche Anforderungen ein *verteidigungsabhängiges Angriffsverhalten* auf das Blickverhalten der Strafecken-Schützinnen und Schützen haben kann. Es sollte geprüft werden, wo die Schützinnen und Schützen zu welchem Zeitpunkt hinschauen, um das Verhalten der Verteidigung in ihre Reaktion einzubeziehen und eine möglichst ideale Ausführung der Offensivvariante zu ermöglichen.

2 Methode

2.1 Stichprobe

Insgesamt wurden Daten von 13 Strafecken-Schützinnen und Schützen in dieser Feldstudie analysiert (10 männliche, 3 weibliche). Das durchschnittliche Alter der Teilnehmenden lag bei 21,93 (\pm 3,95) Jahren. Die durchschnittliche Erfahrung im Feldhockey betrug 16,71 (\pm 2,53) Jahre. Sechs Teilnehmende wiesen Erfahrungen in der 1. Bundesliga auf (3,33 \pm 2,34 Jahre), neun spielten in der 2. Bundesliga (2,67 \pm 2,29 Jahre).

Fünf hatten Erfahrungen durch die Zuordnung in Senioren- oder Jugendnationalmannschaften.

2.2 Durchführung

Die Probandinnen und Probanden wurden zu Beginn der Testung mit einem mobilen Eye-Tracking-System (Pupil Core, Pupil Labs GmbH, Berlin) vertraut gemacht und ausgestattet, mit welchem die Blickbewegungen während der Testung aufgezeichnet werden konnten. Außerdem wurden die Strafecken mit zwei weiteren Kameras aus zwei Perspektiven (hinter der Schützin oder dem Schützen und aus seitlicher Perspektive) aufgezeichnet, um die einzelnen Szenen im Nachhinein bewerten zu können.

Während der Testung wurden je Probandin oder Proband 20 Strafecken ausgeführt. Davon waren 10 Ausführungsvarianten für den Angriff und die Verteidigung durch die Versuchsleitung vorgegeben. Im weiteren Verlauf werden diese als *verteidigungsunabhängige Varianten* bezeichnet. Bei weiteren 10 Strafecken wurde lediglich der Verteidigung eine Variante vorgegeben, die der Offensive und somit auch der Schützin oder dem Schützen nicht bekannt waren. Diese Varianten werden als *verteidigungsabhängig* bezeichnet. Die Schützin oder der Schütze war dabei angehalten, auf die Verteidigung zu reagieren und eine eigene Entscheidung zu treffen.

Der Angriff konnte zum einen auf den direkten Abschluss (Schuss/Schlenzer) der Schützin oder des Schützen als Variante zurückgreifen. Zum anderen stand die 90°-Variante zur Verfügung, in der die Schützin oder der Schütze den Ball mit Hilfe ihres oder seines Schlägers zu einer Mitspielerin oder einem Mitspieler nach einer 90°-Rotation nach links passt, die oder der den Ball dann auf das Tor schießt. Als dritte Option gab es die Stecher-Variante. Hier wird der Ball von der Schützin oder dem Schützen zu einer Mitspielerin oder einem Mitspieler gepasst, die oder der während der Herausgabe des Balles von rechts in den Schusskreis auf Höhe des Siebenmeterpunktes hereinläuft. Diese oder dieser versucht – durch ihren oder seinen flach auf dem Boden liegenden Schläger – den Ball abzufälschen und so ein Tor zu erzielen.

Den Offensivvarianten standen zwei Verteidigungsvarianten gegenüber, die immer aus derselben Grundformation gestartet wurden.

Da die Probandinnen und Probanden bei 10 Schüssen die Verteidigungsvariante nicht kannten (*verteidigungsabhängig*) und die Schützin oder der Schütze dazu angehalten war, die bestmögliche Entscheidung zu treffen, wurde in diesen Fällen die Entscheidungsqualität der Schützin und Schützen wie folgt bewertet: In der Verteidigungsvariante 3:1→ 3:1 wird vornehmlich die Stecher-Variante verteidigt, ein Pass zur Spielerin oder zum Spieler auf der Position des Stechers stellte in diesem Fall also eine *inkorrekte* Entscheidung dar, der Pass auf die 90°-Variante hingegen eine *optimale* Entscheidung. Das Gegenteil ist bei der Verteidigungsvariante 3:1→ 2:2 der Fall, die vor allem die 90°-Variante verteidigt. Hier stellte der Pass nach links (90°) eine *inkorrekte* Entscheidung und der Pass auf die Spielerin oder den Spieler auf der Position des Stechers eine *optimale* Entscheidung dar. Der direkte Abschluss (Schlenzer) stellte in beiden Varianten eine korrekte Entscheidung dar und konnte somit nicht als optimal oder inkorrekt angesehen werden.

Die experimentelle Differenzierung zwischen den Situationen ohne Entscheidungskomponente (*verteidigungsunabhängig*) und den Situationen mit Entscheidungskomponente (*verteidigungsabhängig*) diente der Unterscheidung von verschiedenen Anforderungen an das Blickverhalten. Hierdurch sollten sowohl visuelle Informationsquellen zur erfolgreichen Ausführung einer Handlung (Schuss) als auch Informationsquellen zur richtigen Entscheidungsfindung in der Strafecken-Situation identifiziert werden.

Um dieses Blickverhalten analysieren zu können, wurde mit Hilfe des Eye-Tracking-Systems die Blickverweildauer auf den verschiedenen Betrachtungsschwerpunkten gemessen.

3 Ergebnisse

Für die Beurteilung des Entscheidungsverhaltens von Strafecken-Schützin und Schützen standen Daten von 253 Strafecken für eine Analyse zur Verfügung. Für eine genauere Analyse der Strafecken und des Blickverhaltens der Probandinnen und Probanden wurden die Strafecken in drei Phasen unterteilt.

Als Phase 1 galt die Zeitspanne von dem Moment der Hereingabe des Balles bis zum Schlägerkontakt der Stopperin oder des Stoppers (die Verteidigung darf sich bewegen, sobald der Ball im Spielfeld ist). In Phase 2 wurde der Zeitraum zwischen dem Verlassen des Balles vom Schläger der Stopperin oder des Stoppers bis zur Aufnahme des Balls durch die Schützin oder den Schützen markiert. Phase 3 wurde durch den Pass zur Mitspielerin oder zum Mitspieler oder dem direkten Schuss aufs Tor beendet.

Zu Beginn wurden alle Szenen analysiert und auf die Unterschiede zwischen den *verteidigungsunabhängigen* (Angriff und Verteidigung wissen, welche Varianten gespielt werden) und den *verteidigungsabhängigen Durchgängen* (die Probandin oder der Proband kennt die Verteidigungsvariante nicht und soll auf diese reagieren) hin untersucht.

Hier konnte gezeigt werden, dass sich das Blickverhalten der Schützinnen und Schützen in diesen zwei Bedingungen vor allem in Phase 1 deutlich unterscheidet. Lag bei den *verteidigungsunabhängigen* Schüssen die meiste Blickverweildauer (gemessene Frameanzahl) auf dem Ball (47,12 ± 5,79 %), so war es bei den *verteidigungsabhängigen* Schüssen der Torraum, der

durch die Schützinnen und Schützen am meisten Aufmerksamkeit erfuhr (39,12 ± 4,22 %). In Phase 2 (*verteidigungsunabhängig*: 39,27 ± 6,02 %; *verteidigungsabhängig*: 36,98 ± 6,93 %) und Phase 3 (*verteidigungsunabhängig*: 69,52 ± 8,70 %; *verteidigungsabhängig*: 68,91 ± 9,02 %) lag die größte Blickverweildauer in beiden Bedingungen auf dem Ball (Abb.1).

In einem weiteren Schritt wurden nur die *verteidigungsabhängigen* Szenen näher betrachtet. Hier standen Daten von 94 Strafecken (82 *optimal*; 12 *inkorrekt*) für die Analyse zur Verfügung. Im Fokus lag hier das Blickverhalten der Probandinnen und Probanden in Abhängigkeit ihrer Entscheidungsqualität. Hinsichtlich des Blickverhaltens konnte gezeigt werden, dass in Phase 1 der Betrachtungsschwerpunkt Torraum bei *optimalen Entscheidungen* eine längere Blickverweildauer (40,13 ± 4,41 %) aufweist als bei *inkorrekten Entscheidungen* (16,12 ± 4,92 %). Ähnliches konnte in Phase 2 festgestellt werden, in der die Stopperin oder der Stopper (45,26 ± 7,18 %) und der Ball (36,82 ± 7,85 %) deutlich häufiger bei *optimalen Entscheidungen* als Betrachtungsschwerpunkt dienten als bei *inkorrekten Entscheidungen* (Stopperin und Stopper 16,09 ± 5,30%; Ball 15,92 ± 7,12 %).

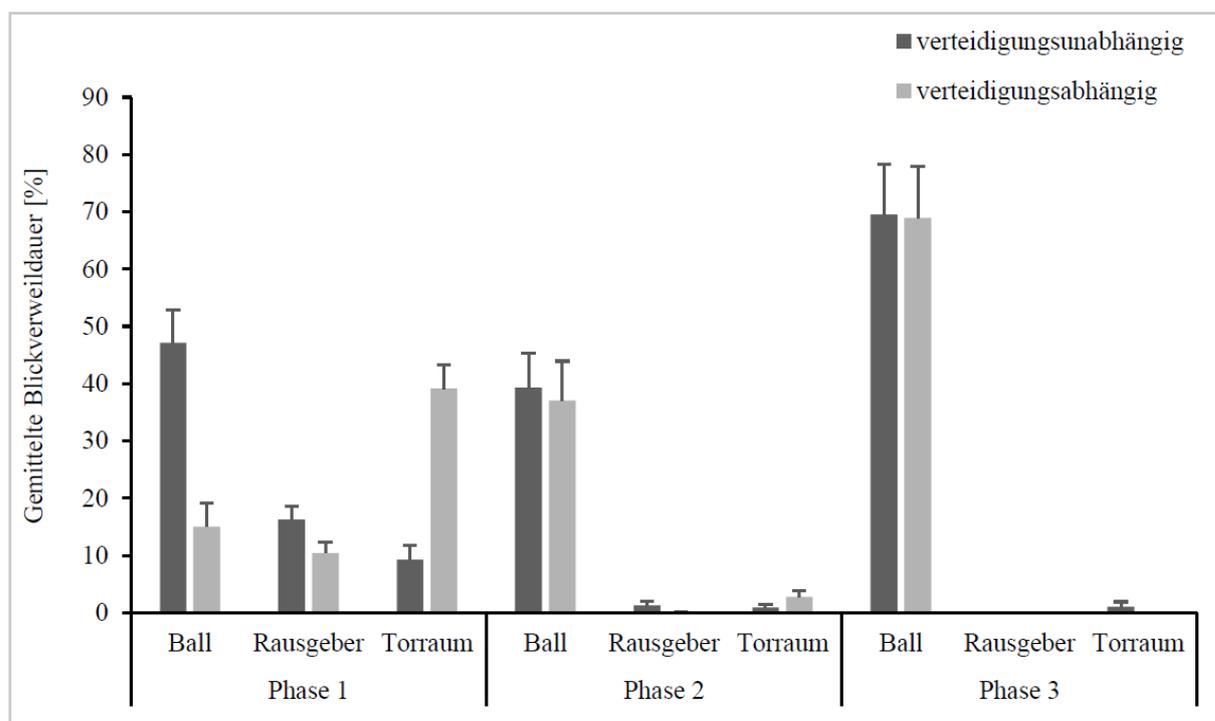


Abb. 1: Mittelwerte (und SE) der Blickverweildauer auf den Areas of Interest für die Bedingungen (*verteidigungsunabhängig*; *verteidigungsabhängig*) in Abhängigkeit von der Zeit (Phase 1; Phase 2; Phase 3).

In Phase 3 lag bei beiden Entscheidungen die meiste Blickverweildauer auf dem Ball (*optimal*: $71,10 \pm 9,04$ %; *inkorrekt*: $26,38 \pm 9,22$ %). Generell kann gesagt werden, dass bei *optimalen Entscheidungen* längere und häufigere Blickverweildauern auf einzelnen Betrachtungsschwerpunkten aufgezeichnet werden konnten als bei *inkorrekten Entscheidungen* (Abb.2).

Hat der Ball den Schläger der Stopperin oder des Stoppers erreicht, so liegt der Betrachtungsschwerpunkt in der Regel auf dem Ball, um einen optimalen technisch-koordinativen Bewegungsablauf der Folgebewegungen zu ermöglichen.

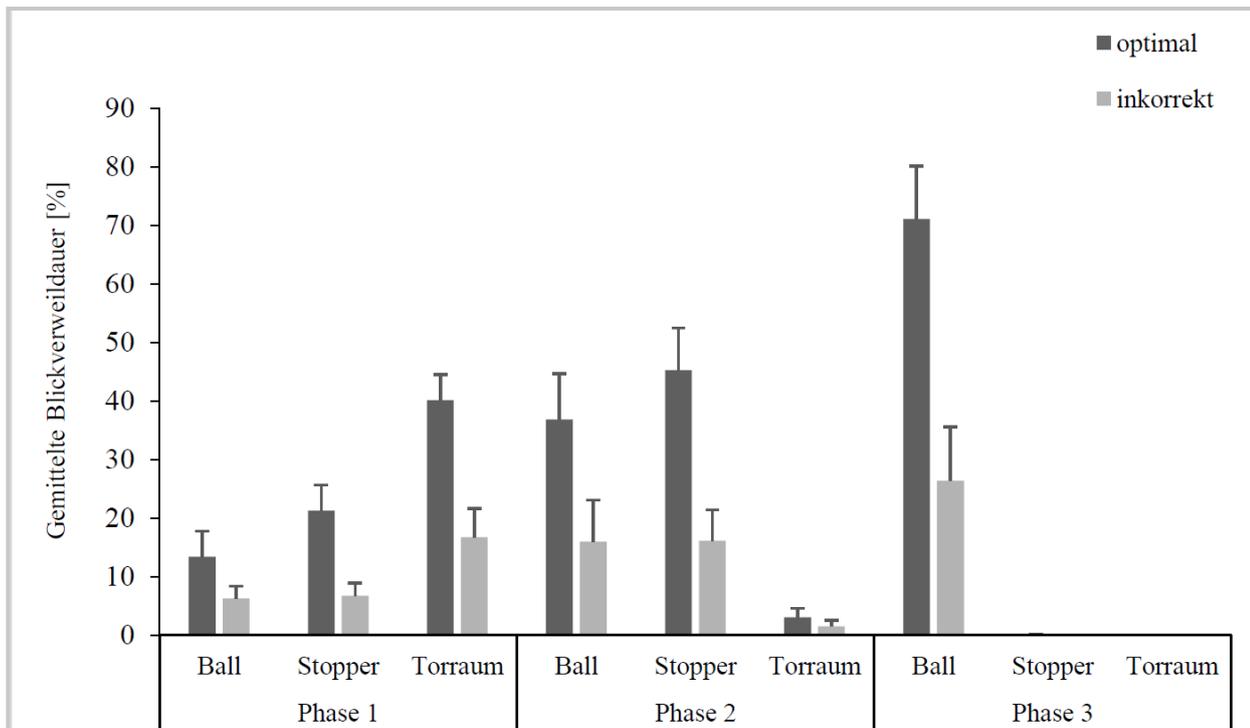


Abb. 2: Mittelwerte (und SE) der Blickverweildauer auf den Areas of Interest für die Beurteilung (*optimal*; *inkorrekt*) in Abhängigkeit von der Zeit (Phase 1; Phase 2; Phase 3).

4 Diskussion

Die Analyse des Blickverhaltens zeigte, dass sich die Häufigkeit der Betrachtungsschwerpunkte in Abhängigkeit von der Phase für beide Bedingungen (*verteidigungsunabhängig/verteidigungsabhängig*) in gleiche Reihenfolge bringen lässt. Es stellte sich heraus, dass die Rausgeberin oder der Rausgeber und der Torraum in Phase 1, die Stopperin oder der Stopper in Phase 2 und der Ball in Phase 3 die häufigsten Betrachtungsschwerpunkte darstellten. Dies lässt sich damit erklären, dass die Rausgeberin und der Rausgeber den zeitlichen und räumlichen Startpunkt einer Strafecke geben und den Ball zur Stopperin oder zum Stopper bringen. Diese Phase bietet für die Schützin und den Schützen eine kurze Zeitspanne, um Informationen des Verteidigungsverhaltens aufzunehmen.

Diese Notwendigkeit zeigt sich auch darin, dass in Phase 2 und 3 der Ball in beiden Bedingungen ungefähr gleich häufig betrachtet wurde, obwohl die Schützin und der Schütze in der *verteidigungsabhängigen Bedingung* in Phase 2 und 3 eigentlich Informationen über die Taktik der Verteidigung sammeln sollten. Der bedeutsamste Effekt innerhalb der Blickverhaltensabläufe zeigte sich dagegen in Phase 1 der *verteidigungsabhängigen Bedingung*. Hier wurde anstelle des Balles (ca. 15 %) der Hauptfokus auf den Torraum gelegt (ca. 39 %), in der *verteidigungsunabhängigen Bedingung* hingegen wurde der Ball (ca. 47 %) mehr betrachtet als der Torraum (ca. 9 %). Es offenbart sich demnach ein deutlicher Unterschied in den Blickverhaltensabläufen der *verteidigungsunabhängigen* und *verteidigungsabhängigen Bedingungen*.

Die vermehrte Betrachtung des Beobachtungsschwerpunktes Torraum in Phase 1 der *verteidigungsabhängigen Bedingung* zeigt, dass die Probandinnen und Probanden ihr Blickverhalten angepasst haben. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Probandinnen und Probanden durch gezieltes Blickverhalten versuchten, auf die Verteidigung zu reagieren, um auf Basis dessen eine Entscheidung zu treffen. Das vermehrte Betrachten der Verteidigung und die Vernachlässigung anderer Betrachtungspunkte in Phase 1 stellen einen Kompromiss dar, um trotz *verteidigungsabhängiger Bedingung* einen Torerfolg gewährleisten zu können.

Weitere Analysen, die nur die Daten der Blickbewegungsabläufe der *verteidigungsabhängigen Bedingung* enthielten und das Blickverhalten von *optimalen* und *inkorrekten Entscheidungen* untersuchten, zeigten, dass in der Beurteilung *optimal* alle Betrachtungsschwerpunkte prozentual häufiger betrachtet wurden als in Szenen mit der Beurteilung *inkorrekt*. Das heißt, dass bei weniger Fluktuation im Blickverhalten zwischen den unterschiedlichen Blickpunkten bessere Entscheidungen getroffen werden konnten. Besonders auffällig war hier der Betrachtungsschwerpunkt Torraum in der Interaktion der Variablen *Phase* und *Beurteilung*. Der Torraum wurde in Phase 1 bei einer *optimalen Beurteilung* deutlich häufiger betrachtet (ca. 40 %) als in der Beurteilung *inkorrekt* (ca. 17 %). Ein wesentlich limitierender Faktor ist demnach die Stabilität des Blickverhaltens, die eine längere Verweildauer auf den Betrachtungsschwerpunkten ermöglicht. Ist die *verteidigungsabhängige* Bedingung ungewohnt, wechselt der Blick zwischen den Betrachtungsschwerpunkten.

Ein Entscheidungsverhalten bei Strafecken wird gerade durch immer besser angepasstes Verteidigungsverhalten zur Notwendigkeit im Hochleistungssport Feldhockey. Ein angepasstes Blickverhalten während Strafecken erscheint als vielversprechende Lösungsmöglichkeit, um Strafecken offensiv weiterzuentwickeln und dadurch eine hohe Erfolgsquote zu gewährleisten.

Das vorliegende Forschungsprojekt liefert für die Trainingsimplementierung und die bisherigen Strategien innerhalb der Wettkampfvorbereitung (Videoanalysen und gezieltes Strafecken-Training) eine erste Grundlage.

Die gesammelten Informationen über die gegnerische Mannschaft können weiterhin genutzt werden, um sich im Strafecken-Training auf die gegnerische Mannschaft vorzubereiten. Ein gezieltes Blickverhalten ergänzt diese Strategien, indem vorbereitete und trainierte Taktiken dynamisch in der Spielsituation eingesetzt werden können. Diese weitere Dimension macht das Offensiv-Verhalten für die gegnerische Mannschaft weniger vorhersehbar und erweitert den Handlungsspielraum in der taktischen Vorgehensweise enorm. Die Analyse der *verteidigungsabhängigen Bedingung* zeigte, dass die Schützinnen und Schützen in der Lage zu sein scheinen, ihr Blickverhalten schnell anpassen zu können, um Informationen der Verteidigung aufzunehmen und ihre Abschlussvariante entsprechend auf dieses Verhalten abstimmen zu können. Es bedarf allerdings eines gezielten Trainings dieser situativen Entscheidungen und eines angepassten Blickverhaltens, damit dies auch in Wettkampfsituationen umgesetzt werden kann.

Die stetige Weiterentwicklung mobiler Eye-Tracking-Systeme lässt mittlerweile auch einen benutzerfreundlichen und nutzenfokussierten Einsatz in Trainingssituationen zu. Dies könnte im Sinne eines Feedbacktrainings als neuer methodischer Ansatz einen wertvollen Beitrag zur Leistungsentwicklung in der spezifischen, aber äußerst relevanten Strafecken-Situation liefern.

5 Literatur

- Vinson, D., Padley, S., Croad, A., Jeffreys, M., Brady, A., & James, D. (2013). Penalty corner routines in elite women's indoor field hockey: Prediction of outcomes based on tactical decisions. *Journal of Sports Sciences*, 31, 887-893.
- Vizcaya, F. J. (2015). *Quantitative Analyse der Strafecken bei der Weltmeisterschaft 2014 in Den Haag*. Ergebnisbericht. Leipzig: IAT.

Aerodynamische Untersuchungen an Anzügen für Ski Alpin und Skeleton – „Aerostoffe“

(AZ 072003/20)

Veit Hildebrand (Projektleitung) & Sebastian Schubert

TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik

Kooperationspartner: Deutscher Skiverband – Ski Alpin
Bob- und Schlittenverband für Deutschland e. V.

1 Einführung

Aerodynamik spielt bei Speed-Sportarten, wie zum Beispiel Ski-Alpin, Skeleton oder Schlitten eine große Rolle. Strömungsgünstig optimierte Materialien, zum Beispiel Kufen, Helm, Anzug und Schuhe, sind die wesentliche Voraussetzung, um den heutigen Anforderungen im Spitzensport gerecht zu werden. Außerdem werden wissenschaftliche Trainingsmethoden, die auf technischen, biomechanischen und medizinischen Erkenntnissen basieren, weltweit eingesetzt. Der Einsatz eines Windkanals mit hochauflösender Messtechnik, Körperscanner und numerischer Strömungslöser ist prinzipiell notwendig. Dies führt dazu, dass sich die Zeiten zwischen den Erstplatzierten nur sehr geringfügig unterscheiden. Neben den mechanischen Hilfsmitteln stehen vor allem die verwendeten textilen Materialien im Fokus des wissenschaftlichen und industriellen Interesses. Diese Fragestellung wurde bisher kaum wissenschaftlich betrachtet und erforscht. Neben der Minimierung der Luftreibung durch Materialien mit bestimmter Rauigkeit und Struktur ist auch die Vorhersehbarkeit des Verhaltens unter verschiedenen Einsatzbedingungen notwendig.

Da der menschliche Körper aerodynamisch betrachtet ein nicht strömungsgünstiger Körper ist, ist die Auswahl der strukturierten Stoffe und deren Platzierung eine höchst anspruchsvolle Aufgabe.

Der Luftwiderstand setzt sich aus den Komponenten Reibungswiderstand und Formwiderstand zusammen, die sich bei Variation der Stoffoberfläche durchaus entgegengesetzt verhalten können. Somit ist die derzeit zu beobachtende Materialauswahl überwiegend von Trial-and-Error geprägt. Dies zeigt sich auch darin, dass Ausrüster von Sportlern bzw. Sportlerinnen einer Sportart teilweise gegensätzliche Konzepte verfolgen und z. B. die lokale Platzierung von Materialien mit Strukturunterschieden an unterschiedlichen Körperpositionen vornehmen oder deren Strukturart und -orientierung nicht einheitlich ist. Das heißt, es fehlen systematische Untersuchungen, die sich sowohl experimentell als auch simulativ dieser Thematik widmen. Bisher werden die Materialuntersuchungen meist an Zylindern im Windkanal vorgenommen. Hier sind die Strömungsverhältnisse und der Übergang zu den auftretenden Turbulenzen anhand der gemessenen Widerstandskräfte/-momente darstellbar. Die menschlichen Körperteile zeichnen sich jedoch durch wechselnde konkav und konvex gekrümmte Bereiche aus, die in den Rennhaltungen noch deutlich verstärkt auftreten. Eine zielführende Übertragung der experimentell an generischen Bauteilen (Zylinder) ermittelten Ergebnisse auf Sportler und Sportlerinnen in unterschiedlichen Rennsituationen erfordert eine spezifische Auswertung für einzelne Körperregionen.

2 Grundlagen der Untersuchungen

Die Reynoldszahl ist eine charakteristische dimensionslose Kennzahl in der Strömungsmechanik und beschreibt das Verhältnis von Trägheits- zu Zähigkeitskräften.

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu}$$

mit u als Anströmgeschwindigkeit, d als charakteristische Abmessung (z. B. Zylinderdurchmesser) und ν als kinematische Zähigkeit der Luft.

In Abhängigkeit von der Reynoldszahl gibt es einen Bereich mit kleinstem Widerstand. Der betreffende Reynoldszahlbereich (ca. 5×10^4 bis 1×10^6) wird vom Fahrer je nach Geschwindigkeit an verschiedenen Bereichen von Arm, Bein und Brust erreicht. Durch die Interaktion mit anderen Körperteilen sowie durch die Bewegung verschieben sich sowohl die Reynoldszahlbereiche und damit auch der Widerstand ständig.

Der angestrebte Bereich minimalen Widerstands ändert sich nicht nur in Abhängigkeit von der Reynoldszahl, sondern auch von der Oberflächenbeschaffenheit, dem Längen-Durchmesser Verhältnis und der Zuströmturbulenz.

Ziel ist, Stoffe mit einem möglichst großen Bereich kleinsten Widerstands zu entwickeln und an den entsprechenden Stellen des Anzugs einzusetzen. Ein Grund dafür ist der sehr große Temperaturbereich an den Wettkampforten und die daraus folgende Änderung der Zähigkeit und damit der Reynoldszahl.

Für die aerodynamischen Untersuchungen ergeben sich folgende zu betrachtenden Einsatzbereiche und relevante Einflüsse:

- › Kritischer Re-Bereich der Stoffe
ca. $1.0 \times 10^5 - 1.0 \times 10^6$
- › Berücksichtigung einer Einsatztemperatur von -20 °C (Variation der Re-Zahl)

- › Variation des Verhältnisses Länge / Durchmesser
- › Störung der Anströmung
- › Übertragung der Ergebnisse auf Puppen und Sportler bzw. Sportlerinnen.

3 Messungen

Im Rahmen der Bearbeitung des Projektes wurden verschiedene Versuchsaufbauten für die generischen Untersuchungen am Zylinder sowie für die Puppen für Ski Alpin und Schlitten und für Testpersonen bei Schlitten und Skeleton eingesetzt.

Im folgendem ist, grob umrissen, der Versuchsaufbau aufgezeigt.

Ski Alpin

Senkrechter Zylinder $d = 100 \text{ mm}$, $L = 450 \text{ mm}$,
 $L = 900 \text{ mm}$, $L = 1350 \text{ mm}$
 $d = 250 \text{ mm}$, $L = 900 \text{ mm}$
14 Stoffe

Puppe 6 Stoffe bzw. Stoffkombinationen

Skeleton/Schlitten

Waagerechter Zylinder $d = 100 \text{ mm}$, $L = 900 \text{ mm}$,
 $L = 1350 \text{ mm}$
2 Stoffe bei verschiedenen Anströmrichtungen und Anströmgeometrien

Schlitten

Puppe 2 Anzüge in verschiedenen Konfigurationen

Testpersonen 4, 31 Konfigurationen

Skeleton

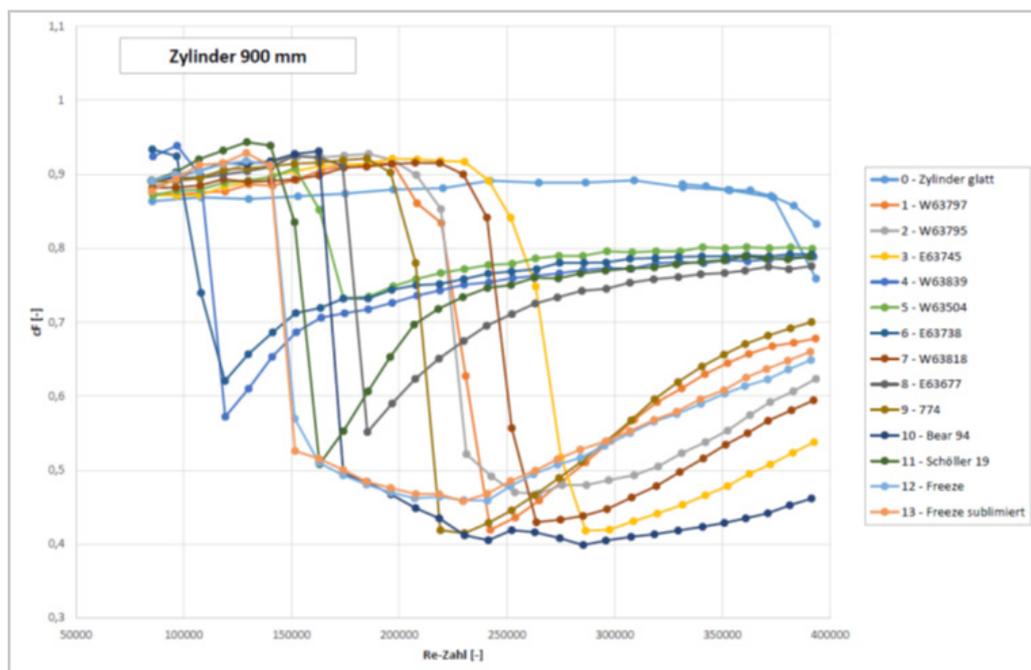
Testpersonen 2, 6 Anzüge in verschiedenen Konfigurationen.



Abb. 1: Darstellung des Versuchsaufbaus

Beispielhaft für die Messungen sind in Bild 2 Ergebnisse der Messungen am senkrechten Zylinder für verschiedene Stoffe dargestellt.

Man erkennt deutliche Unterschiede im Widerstandsverhalten bereits bei kleinsten Änderungen der Oberflächenstrukturen.



Widerstandsbeiwerte, $D = 100 \text{ mm}$, $L = 900 \text{ mm}$

Abb. 2: Ergebnisse der Messungen am senkrechten Zylinder für verschiedene Stoffe

4 Zusammenfassung

Im Rahmen der Bearbeitung des Themas „Aerostoffe“ erfolgten grundlegende Untersuchungen verschiedener Stoffe an senkrechten und waagerechten Zylindern. Weiterführend an Puppen für Ski Alpin und Rodeln sowie mit Testpersonen für Rodeln und Skeleton.

Die Ergebnisse der Kraftmessungen sind als dimensionslose Beiwerte in Diagrammen dargestellt bzw. als Messwerte in den Excel-Files vorhanden.

Auf eine detaillierte Bewertung der Tests mit den Testpersonen wird verzichtet, da bei den jeweiligen Messungen die Trainer anwesend waren und entsprechende eigene Protokolle geführt haben.

Es stellt sich heraus, dass bei Messungen mit einer Puppe auf reproduzierbare Einstellmöglichkeiten und eine hohe Steifigkeit geachtet werden muss.

Offen bleibt, wie sich die unterschiedlichen Bewegungen der einzelnen Gliedmaßen, z. B. Ober- Unterschenkel (Ski) zueinander bzw. relativ zur Anströmgeschwindigkeit auswirken. Dies trifft ebenso auf die Formveränderung der Oberfläche und Änderung der „Weichheit“ durch Muskelkontraktionen zu.

Diesen Umständen sollte bei einer eventuellen Weiterführung des Projektes große Beachtung geschenkt werden.

5 Literatur

Hildebrand, V., & Schubert, S. (2021). Windkanaluntersuchungen zum Projekt „Aerostoffe“, Versuchsbericht ILR – EAD VB 21 – 574, TU Dresden.

Entwicklung eines Instruments zur Bewertung der Technikqualität bei jungen Tischtennistalenten

(AZ 072004/20)

Till Koopmann, Irene Faber, Dirk Büsch & Jörg Schorer (Projektleitung)

Universität Oldenburg, Institut für Sportwissenschaft

1 Einleitung und Problemdefinition

Tischtennis auf professionellem Niveau zählt zu den Sportarten mit der höchsten Spielgeschwindigkeit (Loffing, 2017). Spitzen-Spielerinnen und -Spieler sind gefordert, unter sich ständig verändernden Bedingungen und unter großem Zeitdruck motorisch komplexe Aufgaben, wie z. B. das rechtzeitige Einleiten und Koordinieren von Schlagbewegungen relativ zum herannahenden Ball, zu lösen (Gentile, 2000; Schmidt & Lee, 2011). Ein breites Repertoire an Bewegungen ist unerlässlich, um auf gegnerische Aktionen adäquat reagieren und das eigene Handeln schnell anpassen zu können (Sève et al., 2002). Dies bedeutet, dass Spitzenleistung im Tischtennis untrennbar mit herausragenden technischen und taktischen Fertigkeiten verbunden ist. Ambitionierte Spielerinnen und Spieler, die auf höchstem internationalem Niveau erfolgreich agieren möchten, müssen eine schnelle Umschaltfertigkeit für verschiedene Schlagtechniken, eine variable, flexible und schnelle Beinarbeit, eine gute Gleichgewichtsfertigkeit, eine ausgeprägte Antizipations- und Reaktionsfertigkeit, eine korrekte Positionierungsfertigkeit sowie eine zuverlässige Entscheidungsfertigkeit und Kreativität entwickeln (Ak & Koçak, 2010; Akpınar, Devrilmez, & Kirazci, 2012; Chu et al., 2012; Horsch, 1990; Liu, Zhou, Ji, & Watson, 2012; Muster, 1986).

Im Hinblick auf die technischen Fertigkeiten (z. B. (Auf-)Schlagspiel, Beinarbeit, Ballkontrolle) ist die Altersspanne von acht bis zwölf Jahren von besonderem Interesse. In diesem Alter entwickeln die jungen Spielerinnen und Spieler ihr Fundament an technischen Fertigkeiten. Zudem findet ab einem Alter von etwa zwölf Jahren

die Selektion für das nationale Talentförderungsprogramm statt. In dieser Phase wählt der Deutsche Tischtennis-Bund e. V. (DTTB) diejenigen aus, bei denen das Potenzial zur Weltspitze vermutet wird. Vor diesem Hintergrund betont der DTTB die Notwendigkeit zur Identifikation objektiver Kriterien und Messverfahren für die Bewertung des zentralen Leistungsparameters „Technik“.

Entsprechend fokussierte sich das vorliegende Projekt auf die Entwicklung eines Messinstruments für die Technikanalyse bei Tischtennis-spielerinnen und -spielern im Alter von acht bis zwölf Jahren. Da in der Praxis bisher keine technisch aufwendigen Verfahren wie kinematische Analysen umgesetzt werden können, wurden hier der Blick und die Expertise der Trainerinnen und Trainer objektiviert. Dies diente als Grundlage für die Erstellung eines Beobachtungsbogens zur Technikanalyse im Kontext von Talentidentifikation und Trainingssteuerung im Tischtennis.

2 Methode

Die Entwicklung des Beobachtungsbogens bestand aus drei Teilstudien, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Teilstudie 1 verwendete eine Kombination aus qualitativer Forschung und Literaturrecherche, um die umfassende Ermittlung der Schlüsselindikatoren für eine technisch saubere Ausführung im Tischtennis zu gewährleisten. Hierfür wurden zehn Tischtennistrainerinnen und -trainer mit Hilfe semistrukturierter Einzelinterviews zu den Merkmalen einer technisch sauberen Ausführung verschiedener Schlagvarianten im Tischtennis befragt. Dabei lag der Schwerpunkt vor allem auf der Beurteilung der technischen

Fertigkeiten in der Talentsichtungspraxis. Die Interviews wurden online durchgeführt und die in diesem Zuge aufgezeichneten Audiodateien anschließend transkribiert. Die Transkripte der Interviews wurden weiterführend einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen, und die Interviewten wurden nach Erstellung des ersten Konzepts erneut mit Hilfe eines ‚Member Checks‘ zur Validierung der Ergebnisse einbezogen. Parallel zu den Interviews wurde eine Recherche praxisorientierter Literatur in den Archiven der Magazine *Trainerbrief*, *Tischtennislehre* und *VISIE* sowie eine systematische Recherche (Suchterm: („table tennis“ AND (techni* OR stroke)) wissenschaftlicher Literatur in eingängigen, sportwissenschaftlichen Datenbanken durchgeführt (u. a. SPORTDiscus, PubMed, SURF). Die anschließende Triangulation der Ergebnisse sowohl der Interviews als auch der Literaturrecherchen diente der Entwicklung eines ersten Konzepts für den Beobachtungsbogen.

In der *zweiten Teilstudie* wurde dieses Konzept für die Technikbewertung anhand von Videobeobachtungen genutzt. Zwei erfahrene Trainer betrachteten Videos ihnen unbekannter Spielerinnen und Spieler, die während eines internationalen Turniers im Jahr 2015 aufgenommen wurden. Pro Spielerin oder Spieler wurde die Technik basierend auf zwei verschiedenen Videos bewertet (eine Technikbewertung pro Video), wobei jeweils ein Score für die Aufschlagvariation (Anzahl der registrierten Aufschlagstechniken), die Schlagvariation im Ballwechselerlauf (Anzahl der registrierten Schlagstechniken) sowie die Technikqualität (Durchschnitt der Qualitätsbewertungen der beiden Bewerter) berechnet wurde. Über die derart vorgenommene videobasierte Technikbewertung hinaus wurde die gesamtspielerische Leistung (Tischtennis-Rating) aller in den Videos gezeigten Spielerinnen und Spieler für die Zeitpunkte ein und zwei Jahre nach der Videoaufnahme festgehalten. Diese Datenlage ermöglichte die Bestimmung statistischer Kennzahlen bezüglich der Intrarater- und Interrater-Reliabilität sowie der prognostischen Validität des Beobachtungsbogens. Außerdem wurden in Form eines Fragebogens Rückmeldungen der Bewerter bezüglich der Durchführ- und Handhabbarkeit eingeholt.

Alle statistischen Analysen dienten der Evaluation und der Weiterentwicklung des Beobachtungsbogens.

Im *dritten Projektteil* sollte der überarbeitete Beobachtungsbogen während der Talentsichtungen des DTTB im Feld bzw. in der Halle eingesetzt werden. Die Nutzung des Beobachtungsbogens in der realen Anwendungssituation sollte als abschließende Prüfung der Reliabilität, Validität und Durchführbarkeit dienen. Diese Projektphase wurde durch die Coronavirus-Situation und die damit verbundenen Maßnahmen behindert, sodass nur eine begrenzte Aufnahme von Daten möglich war. Die verfügbare Datenmenge ist für eine finale Evaluation des Beobachtungsbogens bezüglich aller Gütekriterien leider nicht ausreichend.

3 Ergebnisse

In *Teilstudie 1* ergab die Archivrecherche der praxisorientierten Literatur insgesamt 23 relevante Artikel, während die systematische Recherche wissenschaftlicher Literatur zunächst 785 Suchergebnisse lieferte, aus denen schlussendlich 21 relevante Studien gefiltert wurden. Alle recherchierten Artikel wurden im Detail bezüglich ihrer Aussagen und Ergebnisse zu technischen Fertigkeiten im Tischtennis analysiert. Die praxisorientierte Literatur befasste sich hierbei vor allem mit der optimalen Vorbereitung und Ausführung von Aufschlägen, Schlägen und Beinarbeit sowie dabei häufig auftretenden Schwierigkeiten. Die wissenschaftliche Literatur hingegen fokussierte auf Unterschiede in technischen Fertigkeiten zwischen verschiedenen Leistungsniveaus im Erwachsenenalter, wobei die Aussagen der praxisorientierten Literatur anhand objektiver und wissenschaftlicher Verfahren weitgehend bestätigt wurden. Die beiden recherchierten Literaturtypen ergänzten sich sehr gut, zeigten aber keine bzw. sehr begrenzte Inhalte bezüglich der in diesem Projekt untersuchten Zielgruppe junger Spielerinnen und Spieler im Alter von 8-12 Jahren. Diese Lücke wurde dann mit Hilfe der Interviews geschlossen.

Die interviewten zehn Trainerinnen und Trainer des höchsten deutschen Niveaus (vier weiblich, sechs männlich; Alter: $M = 55$ Jahre, $SD = 15$ Jahre) hatten zwischen 12 und 60 Jahre ($M = 31$, $SD = 14$) Erfahrung im Training mit Spielerinnen und Spielern der untersuchten Altersklasse. Die Interviewten zeigten eine bemerkenswert hohe Übereinstimmung bezüglich der als wichtig und zentral benannten Technikmerkmale für Spielerinnen und Spieler im Alter von 8-12 Jahren. Demnach sind die Schlägerhaltung, die Ballerwartungshaltung, die Beinarbeit bzw. Positionierung des Körpers, das Aufschlagspiel und das Schlagspiel (alle Schläge nach dem Aufschlag) die zentralen fünf Elemente der Technik. Hierbei sollten laut der Trainerinnen und Trainer bei der Bewertung technischer Fertigkeiten stets ein gewisser Grad an Individualität der Technik sowie die Verbundenheit aller technischen Elemente beachtet werden. Demnach sollte einzelnen Spielerinnen und Spielern eine gewisse Freiheit gegeben werden, eine eigene Technik zu entwickeln. Hierbei spielen laut Einschätzung der befragten Trainerinnen und Trainer allerdings das Ausmaß und das Timing der Individualisierung eine wichtige Rolle. Bei der Verbundenheit der Technikelemente betonten die Trainerinnen und Trainer, dass die fünf Kernelemente der technischen Fertigkeiten stets als einander beeinflussende Faktoren gesehen werden sollten. Außerdem sollte stets die Lernfähigkeit der Spielerinnen und Spieler mitgedacht werden, also die Fähigkeit, schnell und adäquat auf Instruktionen der Trainerinnen und Trainer zu reagieren und die Technik entsprechend anzupassen. Die Triangulation aller Ergebnisse mündete in ein erstes Konzept für den Beobachtungsbogen, das anschließend in Teilstudie 2 evaluiert wurde.

In *Teilstudie 2* zeigten sich die höchsten Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (*intraclass correlation coefficients*; ICC) für die Intrarater-Reliabilität bezüglich der Aufschlagvariation, der Schlagvariation sowie der Technikqualität basierend auf einem einzelnen Video ($.60$, $p < .01$ bis $.68$, $p < .01$). Auch die ICC der Interrater-Reliabilität waren basierend auf einem einzelnen Video am höchsten für die Aufschlagvariation, die Schlagvariation und die Technikqualität ($.19$, $p = .18$ bis $.45$, $p = .01$).

Bei der Analyse zweier Videos waren höhere ICC für die Intrarater- als für die Interrater-Reliabilität zu beobachten. Beim Vergleich der Aufschlag- und Schlagvariation ($.44$, $p = .01$ bzw. $.09$, $p = .33$) mit der Technikqualität ($.45$, $p = 0.01$ bzw. $.65$, $p < .01$) wies letztere höhere Übereinstimmungen zwischen den Bewertern auf.

Die Validitätsprüfung ergab für die Aufschlag- und Schlagvariation nur kleine Zusammenhänge (maximal $r = .29$, $p = .86$) zwischen den technischen Fertigkeiten und den Tischtennis-Ratings (Ausnahme: Aufschlagvariation und Tischtennis-Rating nach einem Jahr, $r = -.32$, $p = .15$). Für die Technikqualität konnte ein mittlerer Zusammenhang mit den Tischtennis-Ratings zum Zeitpunkt der Videoaufnahme ($r = .44$, $p = .03$) sowie gar größere Zusammenhänge mit den Tischtennis-Ratings ein ($r = .51$, $p = .02$) und zwei Jahre nach der Videoaufnahme ($r = .58$, $p = .01$) aufgedeckt werden.

Die Ergebnisse des Fragebogens zur Durchführ- und Handhabbarkeit zeigten alles in allem hohe Bewertungen (durchschnittlich 6.6 bis 9.0 von 10 möglichen Punkten) mit etwas niedrigeren Bewertungen für Frage 3 („Deckt der Beobachtungsbogen alle wichtigen Aspekte von Technik im Tischtennis ab?“; Bewertungsdurchschnitt 5.8) und Frage 8 („Wie sehr hat Ihnen der Beobachtungsbogen bei der Beurteilung der technischen Fertigkeiten der Spielerinnen und Spieler geholfen?“; Bewertungsdurchschnitt 5.4). Diese Fragen werden im nächsten Abschnitt unter Einbezug der zusätzlichen Rückmeldungen und Anmerkungen der Bewerter diskutiert.

4 Diskussion und Ausblick

Das Ziel dieses Projekts war die Entwicklung und Implementierung eines Instruments zur Bewertung der Technik junger Tischtennis-spielerinnen und -spieler (8-12 Jahre). Hierfür wurden Erkenntnisse und Erfahrungen von zehn erfahrenen Tischtennistrainerinnen und -trainern mit den Resultaten aus sowohl wissenschaftlicher als auch praxisorientierter Literatur kombiniert. Basierend auf einer daraus resultierenden vollumfänglichen Informations- und Kenntnisbasis wurde ein Beobachtungsbogen entwickelt, bezüglich seiner Gütekriterien überprüft und in der Praxis implementiert.

Auf Nachfrage ist der aktuelle Beobachtungsbogen bei der Forschungsgruppe erhältlich.

Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen zeigen, dass der Beobachtungsbogen bereits ein solides Niveau der Objektivität und Reliabilität erreicht hat, dieses aber noch weiter verbessert werden könnte. Hier ist beispielsweise an eine intensivere Erklärung und Einführung des Beobachtungsbogens gegenüber den Bewerterinnen und Bewertern zu denken, damit diese den Beobachtungsbogen noch präziser anwenden können. Außerdem sollte die durch den Beobachtungsbogen ausgelöste Diskussion zwischen Trainerinnen und Trainern über die relevanten Technikelemente, deren entsprechende Ausführungen sowie die besten Strategien der Trainerinnen und Trainer, diese Elemente bei der Spielbeobachtung auch wahrnehmen zu können, weiter vorangebracht werden. Dies würde vermutlich die Reliabilität weiter erhöhen, da die Bewerterinnen und Bewerber nicht nur dieselben Leistungsaspekte theoretisch als wichtig erachten, sondern sich auch über das Vorgehen zur Wahrnehmung und Bewertung ebendieser Aspekte in der Praxis verständigen könnten. Die Ergebnisse bezüglich der Validität deuten darauf hin, dass in der betrachteten Altersgruppe die Technikqualität im Kontext der Spielbeobachtungen eine wichtigere Rolle spielt als die Aufschlag- und Schlagvariation. Bei letzterer muss stets die Effizienz im Sinne des Punkterzielens mitgedacht werden: Wenn eine Technikvariante stets zum Punkterfolg führt, sollte die Beschränkung auf diese Technik nicht automatisch zu einer negativen Bewertung der technischen Fertigkeiten führen. Des Weiteren deutet der zu beobachtende Trend des über die Zeit zunehmenden Zusammenhangs zwischen Technikbewertung und Tischtennis-Rating eine interessante längsschnittliche Perspektive an, deren Bedeutung und Entwicklung weiter erforscht werden sollte.

Insgesamt konnte im Rahmen dieses Projekts das Vorhaben der Entwicklung eines Instruments zur Bewertung der Technik junger Tischtennisspielerinnen und -spieler erfolgreich umgesetzt werden. Mit dem entwickelten Beobachtungsbogen wurde die Ausgangsbasis für weitere Fortschritte und Anwendungen sowohl in der Wissenschaft als auch der Sportpraxis geschaffen. Hier ist beispielsweise die Erstellung von Entwicklungs- und Leistungsprofilen sowie die Nutzung des Beobachtungsbogens zur Trainingssteuerung denkbar. Die Corona-bedingt ausgebliebene Implementierung des Beobachtungsbogens in die Sichtungspraxis bleibt als zukünftige Aufgabe bestehen. Dabei gilt es, neben der Reliabilität und Validität des Beobachtungsbogens vor allen Dingen auch seine Durchführ- und Handhabbarkeit in der Talentsichtungs- und Trainingspraxis näher zu überprüfen. Schließlich soll ein für Trainerinnen und Trainer gewinnbringendes und gut anwendbares Instrument resultieren, das langfristig Anwendung findet und somit als wichtige Grundlage für längsschnittliche Perspektiven auf Talentsichtungsprozesse im Tischtennis dienen kann.

5 Literatur

- Ak, E., & Koçak, S., 2010. Coincidence-anticipation timing and reaction time in youth tennis and table tennis players. *Perceptual Motor Skills*, 110, 879-887.
- Akpınar, S., Devrilmez, E., & Kirazci, S., 2012. Coincidence-anticipation timing requirements are different in racket sports. *Perceptual Motor Skills*, 115, 581-593.
- Chu, C. Y., Chen, I. T., Chen, L. C., Huang, C. J., & Hung, T. M., 2012. Sources of psychological states related to peak performance in elite table tennis players. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 7, 86-90.
- Gentile, A. M., 2000. Skill acquisition: Action, movement and neuromotor processes In J. H. Carr & R. H. Shepherd (Eds.), *Movement science: Foundation for physical therapy in rehabilitation* (2nd ed., pp. 111-180). Gaithersburg MD.
- Horsch, R. (1990). *Tischtennis; Schule, Verein, Freizeit; Sport in der Lehrerfortbildung: Band 4 [Table tennis; school, club, leisure; Sports in teacher education: Part 4]*. Universitätsverlag Konstanz GMBH.
- Liu, W., Zhou, C., Ji, Z., & Watson, J. C., 2012. The effect of goal setting difficulty on serving success in table tennis and the mediating mechanism of self-regulation. *Journal of Human Kinetics*, 33, 173-185.
- Loffing, F. (2017). Left-handedness and time pressure in elite interactive ball games. *Biology Letters*, 13(11).
- Muster, M., 1986. *Tischtennis lernen und trainieren. Lehrbuch für Schule und Verein*. Limpert Verlag.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D., 2011. *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (5th ed.). Human Kinetics.
- Sève, C., Saury, J., Theureau, J., & Durand, M., 2002. Activity organization and knowledge construction during competitive interaction in table tennis. *Cognitive Systems Research*, 3, 501-522.

Projektbezogene Veröffentlichungen:

- Faber, I., Koopmann, T., Büsch, D., & Schorer, J., (in Überarbeitung). Developing a Tool to Assess Technical Skills in Talented Youth Table Tennis Players – a Multi-Method Approach Combining Professional and Scientific Literature and Coaches' Perspectives. *Sports Medicine Open*.
- Koopmann, T., Faber I., Büsch, D., & Schorer, J., 2020. Vorsprung durch Technik: Ein Serviceforschungsprojekt zur Technikbewertung bei jungen Tischtennispieler*innen. *Trainerbrief* (3.2020), 10-1.

Individualisiertes Feedbacktraining im Hochleistungsrudern

(AZ 072005/20)

Thomas Jaitner (Projektleitung), Eike Meyer & Kevin Nolte

TU Dortmund

1 Problem

Um im Riemenrudern sportliche Höchstleistungen zu erreichen, ist eine herausragende Rudertechnik erforderlich, die den Athleten bzw. die Athletin in die Lage versetzt, vorhandene Kraftfähigkeiten effektiv einzusetzen und einen optimalen Vortrieb des Bootes zu entwickeln. Um die Bewegungstechnik im Training zu optimieren, bietet der Einsatz mobiler, sensorbasierter Rudermesssysteme mit Feedbackoption gerade im Hochleistungssport ein vielversprechendes, aber bislang kaum ausgeschöpftes Potenzial zur Verbesserung der Trainingsqualität, da die Feedbackinformationen auch unabhängig vom Trainer/der Trainerin von den Athleten und Athletinnen direkt zur Optimierung ihrer Bewegungstechnik genutzt werden können (u. a.S Weigelt et al., 2017). Dies ist unter praktischen Gesichtspunkten auch deshalb von besonderer Bedeutung, da sich aus Sicht des Verbandes insbesondere für jüngere Kaderathleten und -athletinnen ein besonderer Bedarf im Techniktraining konstatieren lässt.

Die Zielstellung dieses Service-Forschungsprojekts war daher, die Wirksamkeit eines technologisch gestützten Feedbacktrainings hinsichtlich der Technikoptimierung zu evaluieren, wobei ein besonderer Fokus auf der Individualisierung der Feedbackstrategien lag.

2 Methode

16 Athleten des U23 Kaders des DRV nahmen an dem Trainingsexperiment in einem Prätest-Posttest-Design teil und wurden auf eine Interventionsgruppe und eine Kontrollgruppe aufgeteilt (Abb. 1). Für die Datenerhebung bei den Prä- und Posttests und die Durchführung und Erfassung des Feedbacktrainings standen drei Rudermesssysteme des FES sowie drei eigens entwickelte Feedbacksysteme zur Verfügung. Alle Messfahrten wurden im Zweier durchgeführt.

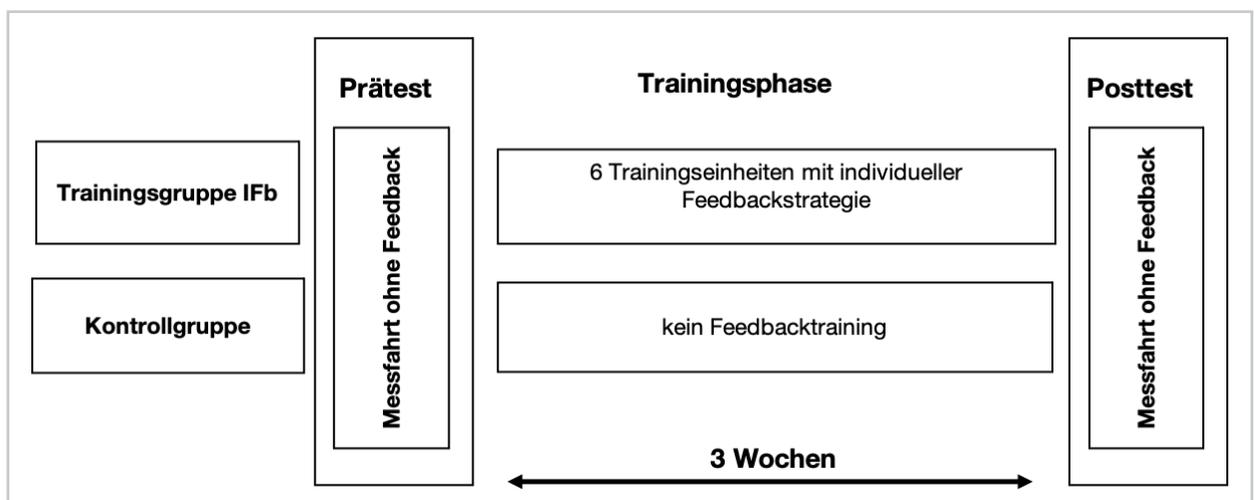


Abb. 1: Untersuchungsablauf des Trainingsexperiments

Die Personen der Interventionsgruppen absolvierten neben dem Prä- und Posttest sechs Trainingseinheiten mit einem individuell präferierten Feedback.

Zur Auswahl standen drei unterschiedliche visuelle Feedbackstrategien:

- › eine kontinuierliche numerische Messwertepäsentation,
- › eine Akzentuierung durch Einfärbung der Anzeige bei Abweichung vom vorgegeben Sollwertbereich sowie
- › eine situationsabhängige Darbietung, bei der eine Darbietung der Parameter nur bei Messwerten außerhalb des Sollwertbereichs erfolgte.

Die Auswahl der Feedbackstrategie erfolgt durch die Teilnehmenden nach einer Erprobungsphase mit Evaluation in Abstimmung mit dem zuständigen Trainer.

Die Festlegung der Ansteuerungsparameter erfolgte auf der Basis einer Eingangsdiagnostik in Abstimmung zwischen Trainer, Leistungsdiagnostiker und Wissenschaftler. Für alle Personen der Interventionsgruppe wurde die Schlagweite als primärer Ansteuerungsparameter identifiziert und zusammen mit dem Winkel der vorderen und hinteren Umkehr dargeboten. Die Kontrollgruppe absolvierte ebenfalls sechs Trainingsfahrten, anstelle der technologisch gestützten Feedbackinformation erhielten sie jedoch eine Rückmeldung durch den Trainer im Begleitboot.

Im Prätest und im Posttest absolvierten alle Teilnehmenden zwei Messabschnitte mit moderater Belastung (Schlagzahl 18-20) und einen weiteren Messabschnitt mit intensiverer wettkampfählicher Belastung (Schlagzahl 30-32). Neben den Veränderungen der Ansteuerungsparameter von Prä- zu Posttest in Relation zu den Sollwerten wurde zudem die Stabilität der angesteuerten Technikmerkmale berücksichtigt, die als weiteres Merkmal der Technikoptimierung anhand von Variabilitätskoeffizienten determiniert wurde.

Zudem wurden die Mittelwerte der Bootsgeschwindigkeiten, der Dollenleistungen sowie der daraus berechnete Quotient bei Analyse der Trainingseffekte berücksichtigt. Für die statistische Analysen wurde mit dem Reliable Change Index (RCI) ein Verfahren der Einzelfallanalyse eingesetzt, das die kritische Differenz als Maß für statistisch bedeutsame Unterschiede der Variablen heranzieht (Pospeschill & Siegel, 2018).

3 Ergebnisse

In der Interventionsgruppe präferierten nach der Erprobung aller drei Feedbackstrategien vier Personen die erste Feedbackstrategie, und je zwei Personen bevorzugten die zweite bzw. dritte Strategie. Somit lassen sich hinsichtlich der Darbietungsform und -häufigkeit individuell unterschiedliche Präferenzen identifizieren. Inwiefern sich diese auf den Ansteuerungserfolg auswirken, ließ sich aufgrund der kleinen Stichprobe in diesem Projekt jedoch nicht belegen.

Die Kurzdarstellung konzentriert sich im weiteren auf die Analyse der Ansteuerungsparameter aus den Prä- und Posttestmessungen unter wettkampfnahen Bedingungen.

Hier zeigt sich in der Interventionsgruppe anhand des Reliable Change Index (RCI) bei sieben der acht Teilnehmenden eine signifikante Erhöhung der Schlagweite und damit ein Trainingseffekt. Die Veränderungen der mittleren Schlagweiten liegen dabei zwischen 2,0° und 5,0°. Die achte Testperson erreicht in Prä- und Posttest nahezu identische mittlere Schlagweiten (Differenz unter 0,1°).

In der Kontrollgruppe kann bei vier von acht Personen eine signifikante Erhöhung der mittleren Schlagweite festgestellt werden, und die Prätest-Posttest-Differenzen liegen zwischen 1,3° und 4,4°. Bei zwei Teilnehmenden lag die Veränderung unter 1,0° und durch den RCI wurden keine signifikanten Änderungen aufgezeigt. Bei den übrigen zwei Personen ist eine signifikante Verringerung der Schlagweite erkennbar. Allerdings sind das diejenigen Personen, die mit 90,4° und 88,6° die höchsten Ausgangswerte im Pretest erzielten und mit diesen Werten im Optimalbereich der Schlagweiten lagen.

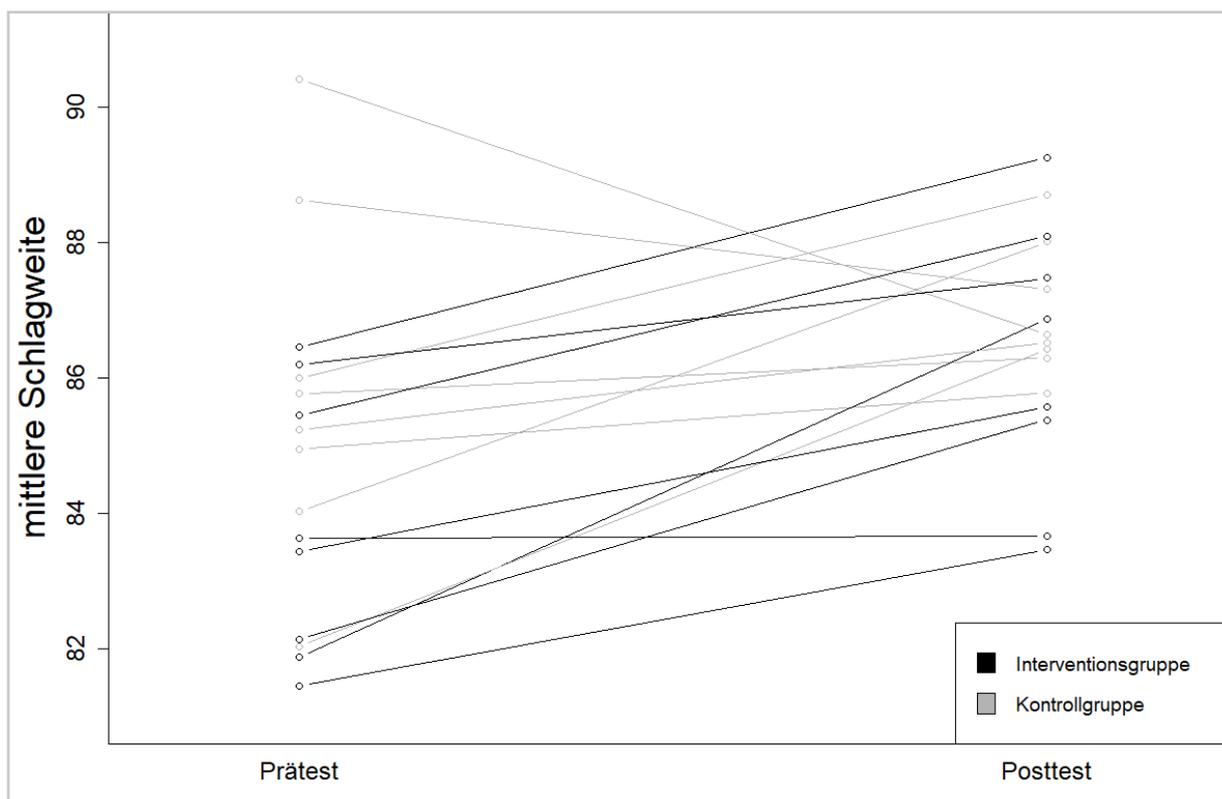


Abb. 2: Prä- und Posttestwerte des Ansteuerungsparameters Schlagweite in Interventions- und Kontrollgruppe

Vergleicht man nun die Veränderungen zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe, so lässt sich aufgrund der kleinen Stichprobe und der insgesamt für den Hochleistungsbe- reich zwar bedeutsamen, aber recht geringen Änderungen erwartungsgemäß kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen feststellen (Abb. 2).

Zudem lässt sich feststellen, dass die Veränderungen der mittleren Schlagweiten über den Zeitraum des Trainingsexperiments vom Ausgangsniveau der Testpersonen abhingen. So betrug die Korrelation zwischen den mittleren Schlagweiten beim Prätest und der Differenz zwischen Prä- und Posttest $-0,77$.

Die Variationskoeffizienten sind mit Werten zwischen $0,007$ und $0,022$ in beiden Gruppen ebenfalls sehr gering, was auf eine für diesen Leistungsbereich zu erwartende hohe Stabilität der Bewegungstechnik deutet. Die absoluten Veränderungen des Koeffizienten von Prätest zu Posttest liegen zwischen $0,001$ und $0,004$, die maximale Veränderung der Standardabweichung bei $0,4^\circ$.

Daher kann insgesamt nicht von einer strukturellen Änderung der Schlagvariabilität über die Trainingsphase ausgegangen werden, sondern es lassen sich eher individuelle Tendenzen aufzeigen.

4 Diskussion

In der Gesamtbetrachtung bestätigen die Erkenntnisse des Service-Forschungsprojekts den hohen Stellenwert und die Bedeutung des biomechanisch gestützten Feedbacktrainings für die Optimierung der Bewegungstechnik im Riemenuddern für Hochleistungsathleten bzw. -athletinnen. Für die hier untersuchten Einzelfälle lässt sich festhalten, dass ein selbstständiges Training mit individualisiertem Feedback mindestens zu vergleichbaren Trainingseffekten in Bezug auf die angesteuerten Technikmerkmale führt, als wenn das Techniktraining ausschließlich durch die subjektive Rückmeldung des Trainers unterstützt wird. Diese Einschätzung wird auch von den Trainern und Athleten geteilt.

Alle Testpersonen gaben an, dass ihnen das Feedback Technikanpassungen während der Fahrt ermöglicht und diese auch in die nächsten Trainingseinheiten transferiert werden können.

Die Möglichkeit, das objektive Feedback mit dem eigenen Gefühl abgleichen zu können und dadurch ein besseres Gefühl für die eigene Schlagweite zu entwickeln wurde zudem explizit positiv herausgestellt. Zudem wurde angegeben, dass die Rückmeldung insbesondere bei hohen Schlagzahlen eine hilfreiche Kontrollfunktion bietet.

Das eingesetzte Messsystem mit Feedbackoption ermöglicht somit ein für den Hochleistungsbe- reich qualitativ hochwertiges Techniktraining auch ohne direktes Einwirken des Trainers bzw. der Trainerin durchzuführen und eröffnet dem DRV weitere Möglichkeiten zur Optimierung des Trainings im Spitzen- und Nachwuchsbe- reich.

5 Literatur

- Pospeschill, M., & Siegel, R. (2018). *Methoden für die klinische Forschung und diagnostische Praxis* (Vol. 46). Springer-Verlag.
- Weigelt, S., Weigelt, J. P., Ender, M., Viedt, C., & Treff, G. (2017). Entwicklung des Rückmeldesystems PCS Sportler für Android im Rudersport. In I. Fichtner (Ed.), *Technologien im Leistungssport 2* (29-37). Meyer & Meyer Verlag.

Evaluation der Bedeutung akustischer Prozesse für Reaktionsgeschwindigkeit und Entscheidungsfindung im Badminton

(AZ 072007/20)

Andreas Mierau (Projektleitung) & Thorben Hülsdünker

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft

1 Problem

Aufgrund der hohen Ballgeschwindigkeiten und kurzen Distanzen spielen visuomotorische Reaktionen im Badminton eine leistungsde-terminierende Rolle. Athletinnen und Athleten müssen innerhalb kürzester Zeit visuelle Signale in eine motorische Reaktion umsetzen, dieser Prozess wird auch als visuomotorische Reaktion bezeichnet. Entsprechend ist es nicht überraschend, dass Badmintonspieler schnellere visuomotorische Reaktionszeiten als Nichtsportler aufweisen (Hülsdünker et al., 2017) und dass neuronale Prozesse im Gehirn von Athleten schneller ablaufen (Hülsdünker et al., 2018).

Allerdings ist Badminton keine rein visuelle Sportart. Insbesondere akustische Informationen des Ball-Schläger-Kontaktes enthalten wichtige Informationen über die Geschwindigkeit des Balles und sind somit möglicherweise an der Reaktionsgeschwindigkeit und Entscheidungsfindung beteiligt. In Sportarten wie Tennis und Tischtennis konnte bereits gezeigt werden, dass die Akustik einen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung und Kognition hat. So führt eine Reduktion akustischer Informationen (z. B. durch Kopfhörer) zu reduzierter Schlagpräzision im Tischtennis (Klein-Soetebier et al., 2020), einer höheren Wahrscheinlichkeit eines Punktverlustes im Tennis (Takeuchi, 1993) oder Veränderung der Antizipation (Müller et al., 2019).

Inwiefern akustische Informationen die Reaktionsgeschwindigkeit im Badminton beeinflussen, ist jedoch unklar. In einem früheren Projekt zu stroboskopischem Training berichteten die Spieler neben einer verbesserten Reaktionsfähigkeit auch von einem verstärkten Fokus auf

akustische Signale (Hülsdünker et al., 2020a, 2020b). Von einem neurophysiologischen Standpunkt klingt dies zunächst plausibel, da akustische Informationen im Gehirn ca. 20-40 ms schneller verarbeitet werden als visuelle Signale (Jain et al., 2015). Allerdings treffen durch die relativ langsame Schallgeschwindigkeit – im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit – die akustischen Signale ca. 26 ms später im Gehirn ein. Hinzu kommen Faktoren wie die Geschwindigkeit des Balles, Lautstärke des Schläges und viele weitere Faktoren, die einen starken Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit haben können (Schlittenlacher et al., 2017). Eine schematische Darstellung der wichtigsten Schritte in der visuellen und akustischen Signalverarbeitung zeigt Abb. 1 (S. 2).

Es ist daher nicht klar, inwieweit akustische Informationen unter realistischen, badminton-spezifischen Bedingungen die Reaktionsfähigkeit beeinflussen. Diese Information ist jedoch von entscheidender Bedeutung. Während in einer Trainingssituation die eigenen und gegnerischen Schläge akustisch deutlich identifizierbar sind, ist dies unter Turnierbedingungen mit vielen Zuschauern nicht der Fall. Gleiches gilt für eine Vielzahl anderer Sportarten, in denen die Verfügbarkeit akustischer Signale zwischen Training und Wettkampf stark unterschiedlich ist.

Sofern die Akustik zur Reaktionsgeschwindigkeit und damit zur Leistung im Badminton beiträgt, sollte dies auch im Training Berücksichtigung finden. So können beispielsweise in Vorbereitung auf große Turniere Trainingseinheiten mit deprivierter Akustik oder distractor sounds genutzt werden, um die Wettkampfsituation zu simulieren.

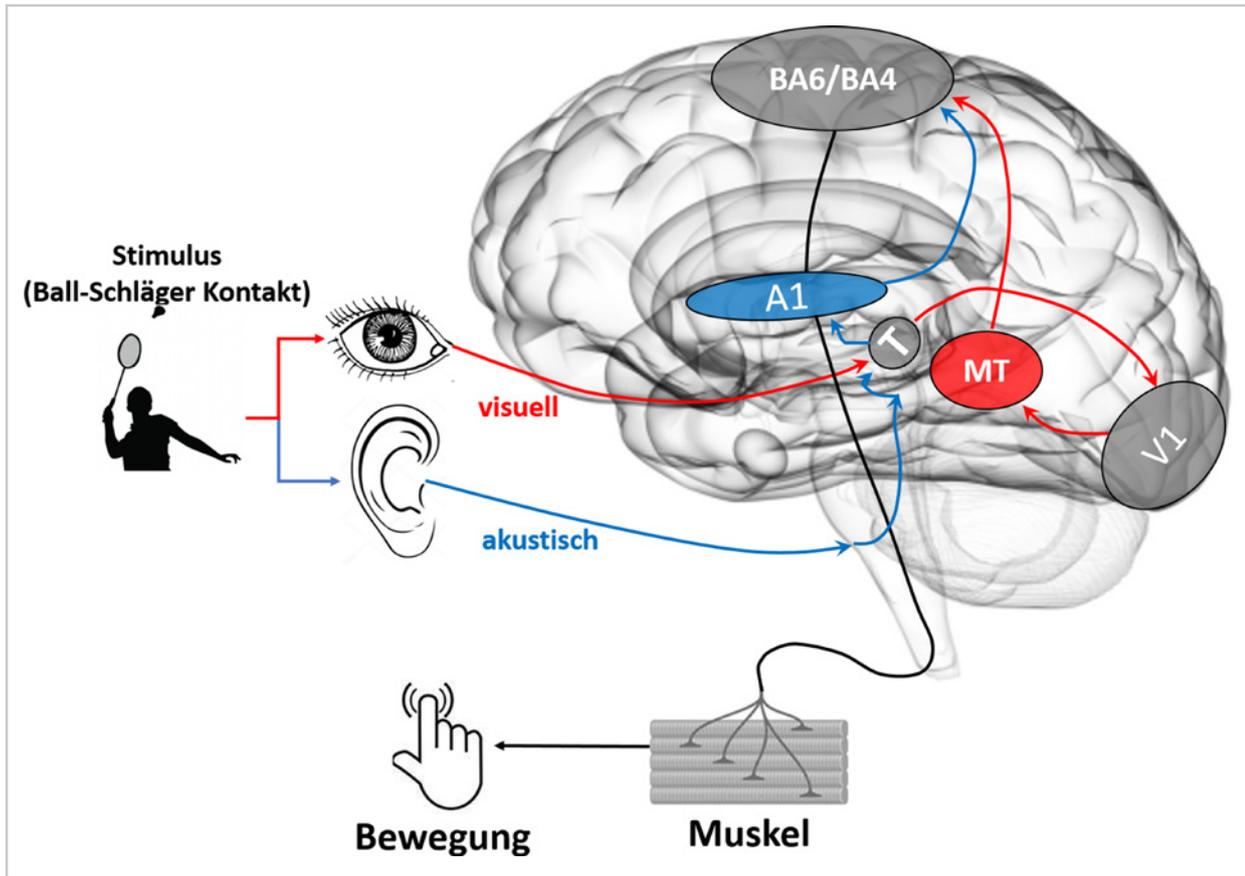


Abb. 1: Schematische Darstellung der wichtigsten Schritte während visuo-motorischer und audio-motorischer Reaktionen. T = Thalamus, MT = bewegungssensitives mid-temporales visuelles Areal, V1 = primärer visueller Kortex, BA6: prä- und supplementärer motorischer Kortex, BA4: primärer motorischer Kortex, A1: primärer auditorischer Kortex.

Diese Studie verfolgte daher das Ziel, die Auswirkungen akustischer Informationen auf die Reaktionsgeschwindigkeit im Badminton anhand von Smash und Drop Schlägen zu untersuchen. Neben der Identifikation von Verhaltensdaten, wurde zudem die neuronale Aktivität aufgezeichnet, um die Ursachen einer potenziell schnelleren akustischen und/oder audio-visuellen Reaktion zu identifizieren.

2 Methode

Dieses Forschungsprojekt wurde als Serviceforschungsprojekt vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BiSp) gefördert und in Kooperation mit dem Deutschen Badmintonverband e. V. (DBV) und den Badmintonstützpunkten in Saarbrücken und Bonn durchgeführt. Insgesamt nahmen 27 Badmintonspieler zwischen 14-30 Jahre an der Studie teil.

Es wurden zwei Experimente durchgeführt. Experiment 1 ermittelte die visuellen und akustischen Eigenschaften von Smash und Drop Schlägen. Diese Informationen wurden für Experiment 2 in einen visuellen, akustischen und audio-visuellen Stimulus umgesetzt, um die Auswirkungen auf die Reaktion zu untersuchen. Aufgrund der aktuellen Corona-Situation und der Lockdown Bedingungen konnten bislang noch nicht alle Messungen abgeschlossen werden. Für Experiment 1 wurden 23 Datensätze ausgewertet, für Experiment 2 liegen bisher 8 vor. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Deutschen Sporthochschule Köln genehmigt.

2.1 Experiment 1 (Geschwindigkeit und Soundprofil)

Experiment 1 diente der Identifikation eines badmintonspezifischen audio-visuellen Profils von Smash und Drop Schlägen.

Dafür führten die Spieler 20 Smash und 20 Drop Schläge in randomisierter Reihenfolge aus. Der Angriff erfolgte von der Doppelaufschlaglinie, und die Bälle wurden von einem Zuspieler auf der gegenüberliegenden Feldseite gespielt. Die Bälle sollten grade und ohne Schnitt zurückgespielt werden. Die Aufgabe für den Smash war eine maximale Schlaghärte, der Drop sollte möglichst kurz hinter das Netz gespielt werden. Einen schematischen Überblick über den Versuchsaufbau zeigt Abb. 2.

Die Lautstärke wurde mit 10 Hz in einem Bereich zwischen 30-120 db ermittelt.

Zur Messung der Ballgeschwindigkeit wurden zwei Basler ace 800-510 uc (Basler AG, Ahrensberg, Germany) Hochgeschwindigkeitskameras im 90°-Winkel von frontal und sagittal platziert. Die Aufzeichnungsfrequenz betrug 500 Hz bei einer Auflösung von 800 x 600 Pixeln. Vor den Tests wurde ein Volumen von 2 x 2 x 2 m kalibriert. Insgesamt dauerte Experiment 1 für jeden Athleten ca. 20 Minuten.

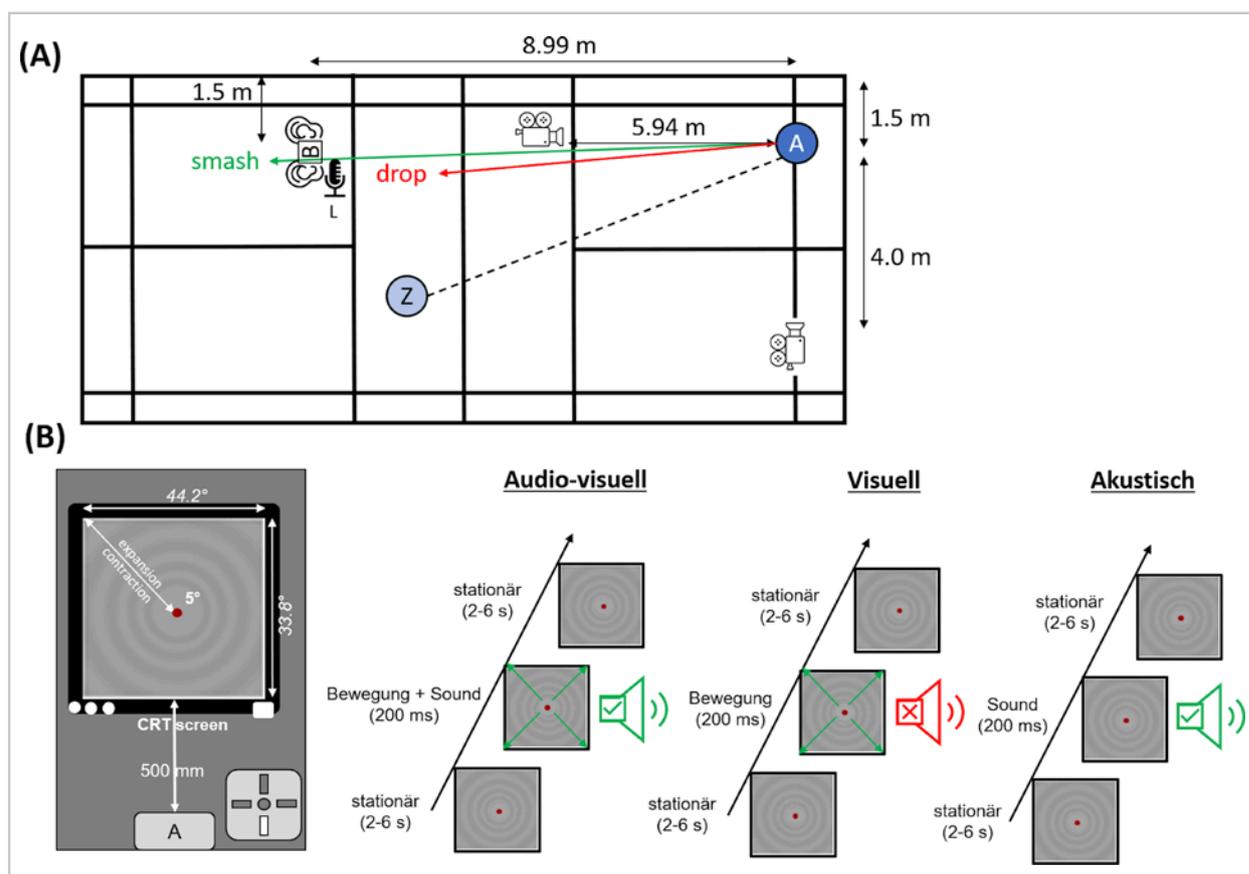


Abb. 2: Übersicht über den Versuchsaufbau für Experiment 1 (A) und Experiment 2 (B)

Zur Ermittlung der akustischen Information wurden auf der Position des abwehrenden Spielers (Distanz zum angreifenden Spieler = 9 m) binaurale Mikrophone (3Dio, Vancouver, WA, USA) sowie ein Lautstärkemesser (PeakTech GmbH, Ahrensberg, Germany) platziert. Die Höhe der Mikrophone wurde auf die Ohrhöhe des jeweiligen Angriffsspielers in Abwehrposition angepasst. Ein Focusrite Scarlett i2i Amplifier (Focusrite Audio Engineering Limited Windsor House, Turnpike, UK) verstärkte die Signale. Die Aufnahme erfolgte mit 44,1kHz über die Audacity Software (Version 2.3.3.).

Um einen repräsentativen Schlag für die visuelle, auditive und audiovisuelle Stimulation im Laborversuch (Experiment 2) auszuwählen, wurde jeweils der Smash und Drop mit der mittleren Lautstärke (median) ausgewählt. Für diesen Schlag wurden in der Videoanalyse die horizontale Geschwindigkeit sowie die akustischen Eigenschaften (Soundprofil) extrahiert. Dies wurde für jeden Athleten individuell durchgeführt.

Nach Experiment 1 lagen somit für jeden Athleten die Geschwindigkeit und das akustische Profil eines repräsentativen Smash und Drop Schlages vor.

Zum Vergleich der akustischen und visuellen Charakteristik von Smash und Drop wurden zudem jeweils 5 repräsentative Schläge basierend auf der Lautstärke ausgewählt und in Bezug auf die Abschlaggeschwindigkeit, Lautstärke, maximale Frequenz, rise time (Zeit zwischen Schlagbeginn und maximaler Lautstärke) analysiert.

2.2 Experiment 2 (Reaktionstest)

Um die Auswirkungen akustischer Informationen auf die Reaktionsgeschwindigkeit zu untersuchen, wurden die visuellen und akustischen Eigenschaften aus Experiment 1 in einen visuellen, einen akustischen und einen audio-visuellen Stimulus transferiert. Abb. 2 illustriert den Versuchsablauf in Experiment 2.

Es wurden 5 Blöcke mit jeweils drei Bedingungen (akustisch, visuell, audio-visuell) durchgeführt. Jede Bedingung enthielt 24 Trials (12 Smash, 12 Drop). Innerhalb einer Bedingung blieb die Stimulusmodalität konstant. Counterbalancing und Randomisierung über die Blöcke und Reihenfolge der Bedingungen verhinderten einen Reihenfolgeeffekt. Die Aufgabe der Athleten bestand darin, schnellstmöglich mit einem Tastendruck auf einen visuellen oder akustischen Reiz zu reagieren. Das Intervall zwischen zwei Reaktionen wurde zufällig zwischen 2-6 Sekunden variiert. Insgesamt wurden 360 Trials durchgeführt (60 pro Bedingung).

Aufgrund der höheren signal-to-noise ratio, wurde ein radialer motion onset Stimulus für die visuelle Stimulation eingesetzt. Die Geschwindigkeit dieses Bewegungsstimulus wurde an den Verlauf der Geschwindigkeit über einen Zeitraum von 200 ms angepasst. Dies wurde ausgehend von der Abschlaggeschwindigkeit und dem Abbremsverhalten des Balles in horizontaler Richtung berechnet.

Für den akustischen Stimulus des Smash und Drop wurde das Profil des ausgewählten repräsentativen Schlages in eine Sounddatei umgewandelt und über in-ear Kopfhörer abgespielt.

Der Beginn der Sounddatei bestand aus einer silent period von 26 ms, um der Schallausbreitung über die Distanz von 9 m Rechnung zu tragen. In der audio-visuellen Bedingung wurden der visuelle und akustische Stimulus somit simultan gestartet. Durch visuelle und akustische Stimulationssysteme (Cambridge Research Systems, Rochester, UK) lag der delay zwischen visuellem und akustischen Stimulationsbeginn bei <1 ms.

Die Aufzeichnung der Gehirnaktivität erfolgte mittels einer 64-Kanal Elektroenzephalographie (EEG). Die Elektroden waren gleichverteilt auf dem Kopf platziert, basierend auf dem 10:10 System (Jurcak et al., 2007). Die Impedanz der Elektroden betrug <10 k Ω und es wurde mit einem low-pass Filter bei 280 Hz und einer Aufnahme-frequenz von 1000 Hz aufgezeichnet.

Durch die anhaltenden COVID-19 Problematik konnten erst 8 Messungen für Experiment 2 abgeschlossen werden. Für die EEG-Datenanalyse ist diese Anzahl nicht ausreichend. Diese Arbeit beschränkt sich daher auf die Ergebnisse des Reaktionstests. Die Resultate der EEG-Untersuchung werden zu einem späteren Zeitpunkt berichtet.

2.3 Statistik

Vergleiche aus Experiment 1 zwischen Smash und Drop wurden mit Bonferroni-korrigierten abhängigen t-Tests für die Parameter Geschwindigkeit, Lautstärke, peak-Frequenz und rise-time durchgeführt. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (RM-ANOVA) und den within-subject Faktoren „Schlagart“ (Smash, Drop) und „Stimulation“ (akustische, visuell, audio-visuell) analysierte die Reaktionsgeschwindigkeit in Experiment 2. Die Normalverteilung war für alle untersuchten Variablen gegeben (Kolmogorov-Smirnoff Test). Ergebnisse mit einem p-Wert unter 0,05 wurden als signifikant betrachtet. Effektstärken wurden als klein ($t = 0,2$, $\eta^2 = 0,01$), mittel ($t = 0,2$, $\eta^2 = 0,01$) und groß ($t = 0,2$, $\eta^2 = 0,01$) klassifiziert.

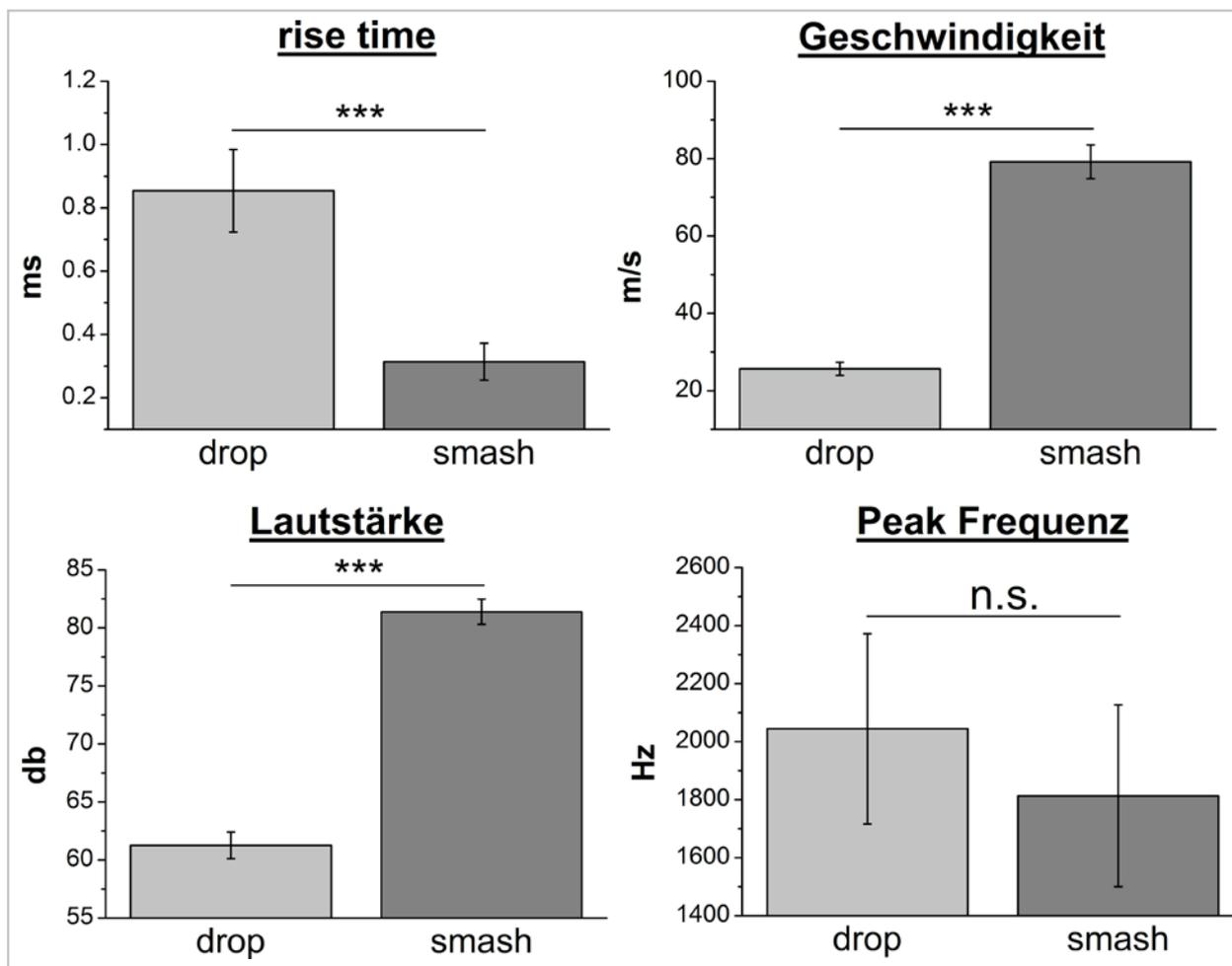


Abb. 3: Ergebnisse der Vergleiche zwischen den visuellen und akustischen Eigenschaften der Smash und Drop-Schläge. Die Fehlerbalken repräsentieren 95% Konfidenzintervalle. *** = $p < 0,001$, n.s. = nicht signifikant.

3 Ergebnisse

Für Experiment 1 zeigen die Ergebnisse der t-Tests für den Smash im Vergleich zum Drop eine signifikant höhere Lautstärke ($p < 0,001$, $d = 7,9$), höhere Geschwindigkeit ($p < 0,001$, $d = 5,1$) und schnellere rise time ($p < 0,001$, $d = 1,6$). Keine Unterschiede waren in der peak Frequenz des Soundprofils festzustellen ($p = 0,96$, $d = 0,3$). Abb. 3 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus Experiment 1.

Die Ergebnisse aus Experiment 2 zeigen Haupteffekte für die Faktoren „Schlagart“ ($p < 0,001$, $\eta^2 = 4,3$) und „Stimulation“ ($p < 0,001$, $\eta^2 = 3,7$) sowie eine Interaktion beider Faktoren ($p = 0,006$, $\eta^2 = 0,51$). Unabhängig von der Art der Stimulation sind Reaktionen auf einen Smash signifikant schneller im Vergleich zum Drop. Post-hoc Analysen zeigen zudem signifikant schnellere Reaktionen auf akustische im Vergleich zu visu-

ellen Reizen ($p < 0,001$), sowie schnellere Reaktionen auf eine audio-visuelle Stimulation im Vergleich zu beiden monosensorischen Bedingungen (visuell: $p < 0,001$, akustisch: $p < 0,001$). Basierend auf der Interaktion ist festzustellen, dass die Beschleunigung der Reaktion von Drop zu Smash für visuelle Reize stärker ausgeprägt ist im Vergleich zur akustischen und audio-visuellen Bedingung. Abb. 4 (S. 6) zeigt die Ergebnisse aus Experiment 2.

4 Diskussion

Dieses Serviceforschungsprojekt untersuchte die Bedeutung akustischer Informationen im Badminton. Die akustischen und visuellen Eigenschaften von Smash und Drop Schlägen wurden unter realistischen Bedingungen gemessen (Experiment 1) und deren Effekte in einem Reaktionstest analysiert (Experiment 2).

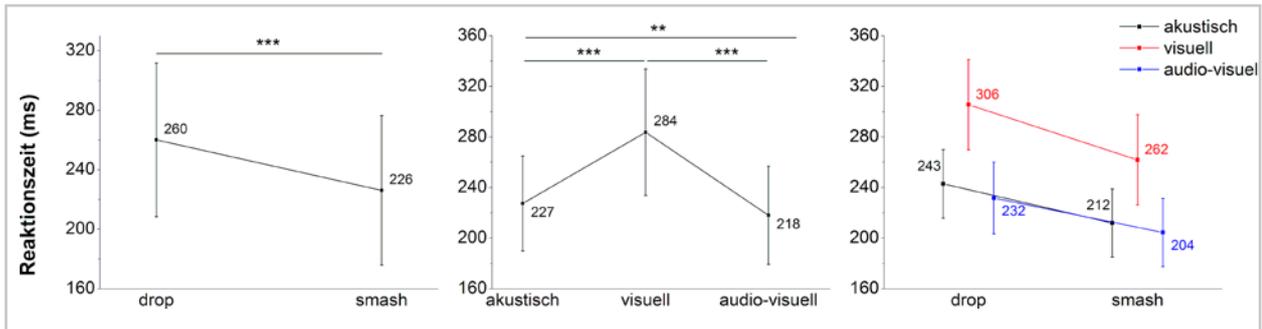


Abb. 4: Vergleich der Reaktionsgeschwindigkeit aus Experiment 2. Rechte Grafik: Ergebnisse des Haupteffektes für den Faktor "Schlagart". Mittlere Grafik: Haupteffekt für den Faktor "Stimulation". Rechte Grafik: Interaktionseffekt der Faktoren "Schlagart" und "Stimulation". Die Fehlerbalken repräsentieren 95% Konfidenzintervalle. *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$

Unabhängig von der Stimulationsbedingung zeigten sich schnellere Reaktionen auf einen Smash im Vergleich zum Drop. Die schnellsten Reaktionen wurden für die audio-visuelle Stimulation festgestellt. Zudem war die Reaktionsgeschwindigkeit auf akustische Signale, trotz eines delays von 26 ms, signifikant schneller im Vergleich zu visueller Stimulation.

Die Ergebnisse zeigen die Bedeutung akustischer Informationen im Badminton. Aufgrund von Unterschieden in der Verfügbarkeit akustischer Informationen in Abhängigkeit der Spielsituation (z. B. Training vs. Turnier), legen die Ergebnisse nahe, dass ein Training unter akustisch anspruchsvollen Bedingungen (z. B. deprivierte Akustik oder distractor sounds) in der Vorbereitung genutzt werden kann.

4.1 Visuelle und akustische Eigenschaften von Smash und Drop

Wie zu erwarten, war die Lautstärke im Smash signifikant höher im Vergleich zum Drop. Dies galt auch für die rise-time, jedoch nicht für die peak-Frequenz. Alle Parameter wurden in vorherigen Experimenten als Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeit audio-motorischer Reaktionen identifiziert (Schlittenlacher et al., 2017; Schlittenlacher & Ellermeier, 2015). So sinkt die Reaktionszeit mit größerer Lautstärke und schnellerer rise-time, was die schnelleren Reaktionen auf den Smash in der akustischen Bedingung erklärt. Ebenfalls erwartbar war zudem die höhere Geschwindigkeit im Smash. Für visuelle Bewegungsreize wurde bereits vielfach nachgewie-

sen, dass die benötigte Zeit für eine Reaktion mit zunehmender Geschwindigkeit des Stimulus abnimmt (Hülsdünker et al., 2017; Hülsdünker et al., 2019; Kawakami et al., 2002). Die deutlich höhere Geschwindigkeit im Smash resultiert entsprechend in den schnelleren Reaktionszeiten in der visuellen Bedingung.

Die Vergleiche der Reaktionszeit zwischen Smash und Drop unterstreichen auch die Bedeutung sportartspezifischer visueller und akustischer Stimuli für wissenschaftliche Untersuchungen im Leistungssport.

So liegt die Differenz in der monosensorischen Reaktionszeit zwischen Smash und Drop bereits bei 30 ms für die akustische und 40 ms für die visuelle Bedingung. Die Frage, ob akustische Informationen die Reaktion auf visuelle Reize beeinflussen, hängt somit stark von audio-visuellen Eigenschaften der Sportart ab.

4.2 Monosensorische und multisensorische Reaktionsgeschwindigkeit

Die Reaktion auf akustische im Vergleich zu visuellen Reizen war unabhängig von der Bedingung (Smash oder Drop) ca. 35 ms schneller. Berücksichtigt man den delay von zusätzlichen 26 ms, spricht dies für eine deutlich schnellere Verarbeitung akustischer im Vergleich zu visuellen Informationen im Gehirn der Badmintonspieler. Dieser Wert ist auch deutlich höher als die häufig angegebenen 20-40 ms (Jain et al., 2015; Shaw et al., 2020), was wiederum die oben beschriebene Notwendigkeit einer sportartspezifischen Stimulation unterstreicht.

Interessant ist jedoch die nochmals schnellere Reaktion auf multisensorische (audio-visuelle) Reize im Vergleich zur monosensorischen akustischen Bedingung. Die Literatur ist hier sehr heterogen und es gibt sowohl Studien, die diese Ergebnisse bestätigen (Albat et al., 2021) als auch Experimente, die keinen Unterschied zwischen akustischer und audio-visueller Reaktionszeit zeigen konnten (Shaw et al., 2020). In dieser Studie betrug der Unterschied ca. 10 ms und ist trotz der kleinen Stichprobe bereits hochsignifikant. Eine mögliche Erklärung ist die sogenannte „multisensory facilitation“, die schnellere Erkennung von multisensorischen im Vergleich zu unisensorischen Stimuli (Diaconescu et al., 2011; Ostrolenk et al., 2019).

Entsprechende neuronale Korrelate wurden bereits in subkortikalen (Hirokawa et al., 2011) und kortikalen Arealen (Diaconescu et al., 2011) festgestellt. Die EEG-Analyse wird zeigen, ob sich die Unterschiede zwischen monosensorischen und multisensorischen Reaktionen auch im Gehirn der Badmintonspieler zeigen.

Insgesamt unterstreicht diese Studie die Bedeutung akustischer Informationen für die Reaktionsgeschwindigkeit im Badminton. Bei einem absoluten Unterschied von ca. 65 ms zwischen visuellen und audiovisuellen Reaktionen ist davon auszugehen, dass die Reduktion akustischer Informationen während eines Spiels zu einer signifikanten Reduktion der Reaktionsleistung führt. Dies sollte im Training berücksichtigt werden.

4.3 Praxisrelevanz

Die Bedeutung akustischer Informationen allgemein im Sport und speziell im Badminton wird von vielen Athleten bestätigt. Spiele unter akustisch anspruchsvollen Bedingungen (z. B. in Hallen mit vielen Zuschauern) unterscheiden sich subjektiv von Spielen, im Training.

Diese Studie konnte erstmalig den Effekt sportartspezifischer akustischer Informationen auf die Reaktionsgeschwindigkeit im Badminton quantifizieren. Mit 65 ms schnelleren Reaktionen unter audio-visuellen im Vergleich zu visuellen Bedingungen ist der Unterschied sehr groß. Natürlich wird dies zumindest teilweise

über Antizipation kompensiert, trotzdem ist der Effekt der Akustik nicht zu unterschätzen. Dies trifft insbesondere auf Rückschlagsportarten zu, in denen die Akustik des Ball-Schläger Kontaktes wichtige Informationen über die Art des Schlages liefert.

Für das Training implizieren die Ergebnisse, dass Aufgaben mit einer Manipulation der akustischen Informationen eine sinnvolle Form der Vorbereitung auf akustisch anspruchsvolle Situationen sein können. Diese Form der Vorbereitung umfasst beispielsweise das Training unter akustisch deprivierten Bedingungen (z. B. durch Ohrstöpsel) oder den Einsatz von akustischen distractor sounds, um die tatsächliche Wettkampfsituation zu simulieren.

4.4 Future directions

Diese Studie untersuchte erstmalig den Einfluss sportartspezifischer akustischer Informationen auf die Reaktionsgeschwindigkeit. Es ist jedoch davon auszugehen, dass auch weitere perzeptuelle und kognitive Funktionen von akustischen Prozessen abhängen. Zukünftige Untersuchungen werden daher weitere Parameter, wie die Geschwindigkeit der Entscheidungsfindung, untersuchen. Zudem sollen Längsschnittstudien die Auswirkungen akustischen Trainings auf Reaktion und Entscheidungsfindung analysieren.

4.5 Zusammenfassung

Insgesamt zeigen die Ergebnisse einen starken Einfluss sportartspezifischer akustischer Informationen auf die Reaktionsgeschwindigkeit von Badmintonspielern. Unter akustisch anspruchsvollen Bedingungen, wie z. B. auf großen Turnieren, kann dies die Reaktionsfähigkeit negativ beeinflussen. Entsprechend sollten auch akustische Informationen im Training Berücksichtigung finden. So können Aufgaben unter anspruchsvollen akustischen Bedingungen als Simulation für die Wettkampfvorbereitung genutzt werden.

5 Literatur

- Albat, M., Hautmann, J., Kayser, C., Molinski, J., & Ülkü, S. (2021). Task switching costs contribute to the apparent speeding of multisensory reaction times. <https://doi.org/10.1101/2021.03.09.434565>
- Diaconescu, A. O., Alain, C., & McIntosh, A. R. (2011). The co-occurrence of multisensory facilitation and cross-modal conflict in the human brain. *Journal of Neurophysiology*, 106(6), 2896-2909. <https://doi.org/10.1152/jn.00303.2011>
- Hirokawa, J., Sadakane, O., Sakata, S., Bosch, M., Sakurai, Y., & Yamamori, T. (2011). Multisensory information facilitates reaction speed by enlarging activity difference between superior colliculus hemispheres in rats. *PloS One*, 6(9), e25283. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025283>
- Hülsdünker, T., Gunasekara, N., & Mierau, A. (2020a). Short- and Long-Term Stroboscopic Training Effects on Visuomotor Performance in Elite Youth Sports. Part 1: Reaction and Behavior. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002541>
- Hülsdünker, T., Gunasekara, N., & Mierau, A. (2020b). Short- and Long-Term Stroboscopic Training Effects on Visuomotor Performance in Elite Youth Sports. Part 2: Brain-Behavior Mechanisms. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002543>
- Hülsdünker, T., Ostermann, M., & Mierau, A. (2019). The Speed of Neural Visual Motion Perception and Processing Determines the Visuomotor Reaction Time of Young Elite Table Tennis Athletes. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 13, 879. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2019.00165>
- Hülsdünker, T., Strüder, H. K., & Mierau, A. (2017). Visual Motion Processing Sub-serves Faster Visuomotor Reaction in Badminton Players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(6), 1097-1110. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001198>
- Hülsdünker, T., Strüder, H. K., & Mierau, A. (2018). The athletes' visuomotor system – Cortical processes contributing to faster visuomotor reactions. *European Journal of Sport Science*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1468484>
- Jain, A., Bansal, R., Kumar, A., & Singh, K. D. (2015). A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students. *International Journal of Applied & Basic Medical Research*, 5(2), 124-127. <https://doi.org/10.4103/2229-516X.157168>
- Jurcak, V., Tsuzuki, D., & Dan, I. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems. *NeuroImage*, 34(4), 1600-1611. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.09.024>
- Kawakami, O., Kaneoke, Y., Maruyama, K., Kaki-gi, R., Okada, T., Sadato, N., & Yonekura, Y. (2002). Visual detection of motion speed in humans: Spatiotemporal analysis by fMRI and MEG. *Human Brain Mapping*, 16(2), 104-118.
- Klein-Soetebier, T., Noël, B., & Klatt, S. (2020). Multimodal perception in table tennis: the effect of auditory and visual information on anticipation and planning of action. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2020.1819370>
- Müller, F., Jauernig, L., & Cañal-Bruland, R. (2019). The sound of speed: How grunting affects opponents' anticipation in tennis. *PloS One*, 14(4), e0214819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214819>
- Ostrolenk, A., Bao, V. A., Mottron, L., Collignon, O., & Bertone, A. (2019). Reduced

multisensory facilitation in adolescents and adults on the Autism Spectrum. *Scientific Reports*, 9(1), 11965. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48413-9>

Schlittenlacher, J., & Ellermeier, W. (2015). Simple reaction time to the onset of time-varying sounds. *Attention, Perception & Psychophysics*, 77(7), 2424-2437. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0940-3>

Schlittenlacher, J., Ellermeier, W., & Avci, G. (2017). Simple reaction time for broadband sounds compared to pure tones. *Attention, Perception & Psychophysics*, 79(2), 628-636. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1237-x>

Shaw, L. H., Freedman, E. G., Crosse, M. J., Nicholas, E., Chen, A. M., Braiman, M. S., Molholm, S., & Foxe, J. J. (2020). Operating in a Multisensory Context: Assessing the Interplay Between Multisensory Reaction Time Facilitation and Inter-sensory Task-switching Effects. *Neuroscience*, 436, 122-135. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.04.013>

Takeuchi, T. (1993). Auditory information in playing tennis. *Perceptual and Motor Skills*, 76(3 Pt 2), 1323-1328. <https://doi.org/10.2466/pms.1993.76.3c.1323>

Der Einfluss des Blickverhaltens in Zusammenhang mit sozialer Interaktion auf die Leistung von Beachvolleyball-Teams

(AZ 072009/20)

Stefanie Klatt (Projektleitung), Lisa-Marie Rückel, Benjamin Noël, Andre Nicklas, Matya Vargas & Benjamin Noël

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

1 Problem

Dieses Service-Forschungsprojekt beschäftigte sich mit der Veränderung des Blickverhaltens während einer sozialen Interaktion und den Auswirkungen auf die Leistung der Spielerinnen und Spieler. Neben den physischen Faktoren rücken zur Leistungsverbesserung immer mehr soziale Aspekte wie der mannschaftliche Zusammenhalt oder die Ausstrahlung eines Teams in den Fokus. Ein wichtiger Faktor hierbei ist, dass die Emotionen einer Person auf eine oder mehrere andere Personen übertragen werden und damit deren Leistung beeinflussen können. Die Übertragung von Emotionen wie beispielsweise Stress können beim Teammitglied zu Leistungseinbußen führen. Der Prozess der Übertragung von Emotionen wird „Emotional Contagion“ genannt (siehe Hatfield et al., 2014 für einen Übersichtsartikel). Damit eine Emotionsübertragung stattfinden kann, muss die interagierende Person entsprechende Signale vom Sender empfangen. Die überwiegende Mehrheit dieser Signale wird über die Augen aufgenommen. Insbesondere komplexe Mannschaftssportarten wie (Beach-)Volleyball stellen hohe Anforderungen an die Kommunikation zwischen den Athletinnen und Athleten innerhalb einer Mannschaft und bieten durch die Vielzahl an sozialen Interaktionen viele Möglichkeiten der Emotionsübertragung. Im schlimmsten Fall kann die Übertragung von negativen Emotionen zum kollektiven Leistungseinbruch der Mannschaft („Collective Sport Team Collapse“) führen (Apitzsch, 2006; Wergin et al., 2018).

Ziel des Service-Forschungsprojekts war es, explorativ durch das Erfassen des Blickverhaltens in der sozialen Interaktion bei Beachvolleyball-Spielerinnen und -Spielern einen möglichen Zusammenhang zwischen Blickverhalten, situativem Stress, Beziehungsqualität und Leistung zu untersuchen.

2 Methode

Innerhalb diese Projekts durchliefen 18 Beachvolleyball-Spielerinnen und -Spieler (9 weiblich, 9 männlich, $M_{\text{Alter}} = 18,07$ Jahre, $SD_{\text{Alter}} = 4,10$ Jahre) die Testung. Eine Testperson gehörte dem B-Kader, vier dem C-Kader und zwei dem D-Kader des Deutschen Volleyball-Verbands (DVV) an. Die restlichen Probandinnen und Probanden waren zum Zeitpunkt der Testung nicht im Bundeskader, aber im Landeskader. Die Wochentrainingszeit lag im Durchschnitt bei 12,84 Stunden ($SD = 4,58$). Zu Beginn der Studie füllten die Testpersonen den Fragebogen zur Mannschaftskohäsion (Lau, Stoll & Hoffmann, 2003) sowie den Fragebogen zum Athletenverhalten (Baumgärtner, 2012) aus. Im Anschluss wurde ein kurzes individuelles Warm-up inkl. Gewöhnungsphase an das mobile Eye-Tracking-System durchgeführt. Nach der Eingewöhnungsphase spielten die Testpersonen entweder einen Beachvolleyball-Satz bis 21 Punkte (Test-Kondition ohne erhöhtes Stresslevel) oder Kurzsätze (Test-Kondition mit erhöhtem Stresslevel). Die Reihenfolge der Test-Konditionen war zwischen den Testpersonen ausgewogen. Die Kurzsätze starteten beim Spielstand von 17:17 und wurden im Modus Best-of 9 gespielt.

Durch die kürzere Satzlänge und der damit verbundenen größeren Bedeutung jedes Fehlers direkt zu Beginn des Satzes erhöht diese Spielform implizit den Druck/Stress auf die Athletinnen und Athleten, Fehler bzw. Punktverluste zu vermeiden. Die Athletinnen und Athleten trugen jeweils mobile Eye-Tracking-Systeme und wurden zusätzlich von einer Videokamera, die sich seitlich zum Spielfeld befand, aufgenommen. Das mobile Eye-Tracking-System zeichnete die Blickbewegungen der Testperson auf. Anhand der seitlichen Videos wurde die Körper-/Kopfausrichtung der Testpersonen erfasst. Zwischen den beiden Test-Konditionen hatten die Spielerinnen und Spieler eine zehnminütige Pause, in welcher die Aufnahme des Eye-Tracking-Systems gestoppt wurde und die Brille abgenommen werden konnte. Nach Abschluss der Testungen wurden alle sozialen Interaktionen eines Teams aus den Videos des mobilen Eye-Tracking-Systems und den von der Seite aufgenommenen Videos extrahiert und per Frame-by-Frame Analyse für die abhängigen Variablen Fixationsdauer (ms), Anzahl der Fixationen und Körper-/Kopfausrichtung ausgewertet. Die statistische Analyse wurde anhand einer MANOVA mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor *Stresslevel* und dem Zwischensubjektfaktor *Testperson* für die abhängigen Variablen *Fixationsanzahl* und *Fixationsdauer* auf die Areas of Interest (AOI) (Kopf, Oberkörper, Unterkörper, Umfeld) sowie die Körper- und Kopfausrichtung (zugewandt vs. abgewandt) durchgeführt. Zusätzlich wurden drei separate lineare Regressionen für den Zusammenhang der Variablen Fixationsanzahl, Fixationsdauer und Körper- und Kopfausrichtung mit dem Kriterium Leistung in Abhängigkeit der Testpersonen und des Stresslevels analysiert. Aufgrund von fehlerhaftem Videomaterial des Eye-Tracking-Systems, welches durch die Dynamik des Sportspiels Beachvolleyball entstanden ist, konnten nur Daten von sieben Probanden in diese statistische Analyse aufgenommen werden. Die deskriptive Analyse der Fragebögen sowie die Beschreibung der Stichprobe wurden auf Grundlage der Gesamtzahl ($N = 18$) der getesteten Probanden und Probandinnen sowie denjenigen, die in die Inferenzstatistik aufgenommen wurden, durchgeführt.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Fragebogens zum Verhalten der Athleten und Athletinnen wiesen für den Bereich „Leistungskomponenten“ und den Bereich „Kritische Situationen“ ausschließlich Werte innerhalb der Normbereiche auf. Auffällig im Bereich „Leistungskomponenten“ war, dass die „Emotionale Beanspruchung“ im Gegensatz zu den sieben anderen Leistungskomponenten an der unteren Grenze des Normbereichs lag. Im Bereich „Kritische Situationen“ zeigte sich, dass die Fairness der Zuschauerinnen und Zuschauer die Testpersonen unbeeindruckt ließ, wohingegen die Werte für eine überraschend starke oder schwache Leistung des gegnerischen Teams im unteren Bereich der Normwerte lagen. Die niedrigen Werte weisen auf unzureichende Bewältigungsstrategien der Athletinnen und Athleten für diese „Kritische Situation“ hin. Die Werte für die Aufgabenkohäsion und die soziale Kohäsion in den untersuchten Teams wiesen äußerst hohe Werte auf. Trotz der homogen hohen Werte ließen sich deskriptiv für die Probandinnen im Vergleich zu den Probanden leicht erhöhte Werte beobachten. Für beide Geschlechter ließ sich zudem eine sehr geringe Varianz in den Daten feststellen.

Die Ergebnisse der MANOVA mit Messwiederholung zeigten keine statistisch signifikanten Ergebnisse für den Haupteffekt *Stresslevel*, $V = 0,95$; $F(11,189) = 1,81$, $p = 0,055$, $\eta^2 = 0,095$. Der Haupteffekt *Testperson*, $V = 1,01$; $F(66,1164) = 3,58$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,18$, sowie die *Testperson*Stresslevel*-Interaktion, $V = 0,64$; $F(66, 1164) = 2,09$, $p < 0,001$, $\eta^2 = .11$, wiesen statistisch signifikante multivariate Ergebnisse auf. Die univariaten Tests zeigten statistisch signifikante Unterschiede der Fixationsdauer, der Anzahl der Fixationen und der Körper-/Kopfausrichtung. Die binären Regressionen für die Fixationsanzahl, $\chi^2(13) = 18,594$, $p = 0,099$, und der Körper- sowie Kopfausrichtung, $\chi^2(4) = 16,62$, $p = 0,055$, waren statistisch nicht signifikant. Das Modell für die Fixationsanzahl erklärt 5,90 % (Nagelkerke R^2) der Varianz der Leistung in der nächsten Rally und klassifizierte 58,00 % der Fälle korrekt. Für die Kopf- und Körperausrichtung erklärte das Modell 5,30 % (Nagelkerke R^2) der Varianz des nächsten Rally-Ergebnisses und klassifizierte 58,70 % der Fälle korrekt.

Die binäre logistische Regression bezogen auf die Fixationsdauer war statistisch signifikant, $\chi^2(12) = 22,12$, $p = 0,036$. Das Modell erklärt 7,00 % (Nagelkerke R^2) der Varianz des Ausgangs des folgenden Ballwechsels und klassifizierte 59,50 % der Fälle korrekt.

4 Diskussion

Eine generelle Veränderung des Blickverhaltens bei Beachvolleyball-Spielerinnen und -Spielern auf Grund eines erhöhten Stresslevels wurde in dieser Studie nicht gefunden. Jedoch weisen die Ergebnisse auf eine individuelle Anpassung des Blickverhaltens in der sozialen Interaktion für die unterschiedlichen Stresskonditionen hin. Eine Richtung der Anpassung lässt sich aus den Ergebnissen aber nicht ableiten. Es kann vermutet werden, dass die Spielerinnen und Spieler unterschiedliche Strategien zur Bewältigung der hohen Stresssituationen in Bezug auf ihr Blickverhalten anwandten. Beispielsweise zeigte Testperson 5 unter erhöhtem Stress eine höhere Partnerfokussierung, welche sich in einer längeren Fixationsdauer und -anzahl auf das Gesicht des Partners bzw. der Partnerin und einer verringerten Gesamtzahl an Fixationen sowie einer verringerten Anzahl an Fixationen auf das Umfeld und den Körper des Teammitglieds darstellte. Diese Fokussierung auf den Partner bzw. die Partnerin aufgrund des erhöhten Stresslevels deutet auf eine längere Phase des emotionalen Feedbacks sowie der Planung des nächsten Ballwechsels in der sozialen Interaktion hin. Im Gegensatz dazu zeigte Testperson 1 eine geringere Anzahl von Gesamt-, Gesichts- und Umfeld-Fixationen und eine kürzere Fixationsdauer auf das Umfeld und den Oberkörper des Mitspielers in der Stresskondition. Darüber hinaus war Testperson 1 der einzige Teilnehmer mit einer verringerten Fixationsdauer auf das Gesicht des Mitspielers. Im Allgemeinen lässt sich eine erhöhte Varianz der Fixationsdauer in der Testkondition mit erhöhtem Stresslevel erkennen. Eine höhere Varianz bedeutet, dass die Fixationsdauern der Testpersonen unterschiedlicher sind. Die Varianzsteigerung der Fixationsdauer zeigt sich, obwohl die Ergebnisse des Athletenverhaltensfragebogens ergaben, dass die Athletinnen und Athleten aufgrund ihrer sportlichen Vorerfahrung bereits auf gute Bewältigungsstrategien

für stressige Situationen zurückgreifen können. Weitere Untersuchungen sind in diesem Bereich auf jeden Fall notwendig, um die möglichen Veränderungen des Blickverhaltens in der sozialen Interaktion tiefergehend zu untersuchen und Trainings- bzw. Verhaltensprogramme für die Athleten und Athletinnen zu entwickeln, die die Mitspielerin und den Mitspieler optimal fördern oder positive Emotionen übertragen, um den Mannschaftserfolg bestmöglich zu unterstützen. Es würde sich anbieten, Situationen mit längerer sozialer Interaktion wie z. B. Auszeiten, Seitenwechsel oder die Pause zwischen den Sätzen in Folgestudien zu untersuchen.

Innerhalb des durchgeführten Projekts wurde bei allen Teams eine sehr gute „Beziehungsqualität“ beobachtet. Aus diesem Grund konnte nicht untersucht werden, ob sich das Blickverhalten zwischen Teams mit einer guten und Teams mit einer schlechten Beziehungsqualität unterscheidet. Eine Veränderung der Beziehungsqualität aufgrund von situativem Stress lässt sich anhand der Ergebnisse auch nicht erkennen, da sich keine Veränderung der Zugewandtheit zwischen den beiden Stresskonditionen beobachten ließ. Hätte Stress einen negativen Einfluss auf die Beziehungsqualität, hätte sich hier ein abgewandteres Verhalten zeigen müssen. Des Weiteren weisen die äußerst hohen Werte im Bereich der Mannschafts- und sozialen Kohäsion darauf hin, dass ein natürlicher Selektionsprozess bei Mannschaften abläuft. Der Selektionsprozess führt vermutlich dazu, dass nur Mannschaften mit einer guten Aufgaben- sowie sozialen Kohäsion und einer damit verbundenen guten Beziehungsqualität in den erweiterten Leistungsbereich des Beachvolleyballs gelangen. Dies kann entweder auf eine frühzeitige Trennung von Teams mit schlechter Beziehungsqualität sowie Aufgaben- und sozialen Kohäsion hinweisen (vgl. Molinero et al., 2009), oder in den entscheidenden stressigen Momenten können diese Teams nicht ihre optimale Leistung abrufen und somit nicht in diesen Leistungsbereich vordringen.

Ein Effekt des Blickverhaltens in Wettkampfsituationen auf die nachfolgende Leistung eines Beachvolleyballteams konnte in dieser explorativen Studie nicht gefunden werden. Dies deutet darauf hin, dass es keine optimale Fixations-

dauer, -anzahl oder Körper- bzw. Kopfhaltung gibt, die als beste Kommunikationsweise in der sozialen Interaktion zwischen den Ballwechsellern angesehen werden kann, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, den nächsten Ballwechsel zu gewinnen. Die individuelle Anpassung des Blickverhaltens könnte also einen positiven Einfluss auf die Leistung in den nachfolgenden Ballwechsellern gehabt haben. Dies zeigt, dass obwohl das Blickverhalten ein Faktor für die nachfolgende Leistung sein kann, dass der Erfolg im Sportspiel Beachvolleyball von vielen verschiedenen Faktoren abhängig ist, wie z. B. der Spielerexpertise, der Motivation, der emotionalen Verfassung und dem Wetter.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse des Service-Forschungsprojekts darauf hin, dass es individuelle Strategien im Blick-, Körperpositionierungs- und Kopfpositionierungsverhalten in niedrigen und hohen Stresssituationen während der sozialen Interaktionen bei Beachvolleyball-Spielerinnen und -Spielern gibt. Diese individuellen Unterschiede sind in einer hohen Stresssituation stärker ausgeprägt, was auf unterschiedliche Bewältigungsstrategien der Spielerinnen und Spieler schließen lässt. Eine Beeinflussung der nachfolgenden Leistung durch das veränderte Blickverhalten konnte nicht gezeigt werden. Eine mögliche Erklärung für diesen Befund ist, dass die teilnehmenden Teams sich jeweils bei der Datenaufnahme in Stresssituationen befanden und sich dadurch möglicherweise in beiden Teams die Absprachen simultan verschlechtert haben. Des Weiteren lässt sich logisch herleiten, dass das Sportspiel Beachvolleyball aufgrund seiner Komplexität von sehr vielen Faktoren beeinflusst wird und ein einzelner Faktor, in diesem Fall das Blickverhalten, in der sozialen Interaktion zwar einen Einfluss auf die Leistung haben kann, aber nicht ausschließlich dafür verantwortlich ist.

Aus wissenschaftlicher beziehungsweise grundlagenorientierter Perspektive stößt das Service-Forschungsprojekt ein großes neues Feld der Forschung an. Das Blickverhalten in der sozialen Interaktion wurde bislang im Kontext der Sportspiele noch nicht untersucht. Die Wichtigkeit dieses Bereichs ist aber nicht von der Hand zu weisen und findet auch in der Praxis fortschreitende Betrachtung.

Dieser explorative Forschungsansatz des Service-Forschungsprojekts zeigt neue interessante Forschungslücken auf, um zukünftig Studien zur Untersuchung von Leistungseinbrüchen von Mannschaften zu planen, dessen Ergebnisse dann im nächsten Schritt gewinnbringend in die Praxis übertragen werden können. Trainings- und Verhaltensprogramme sollten zukünftig entwickelt werden, welche die Leistung der Athletinnen und Athleten im Spiel signifikant verbessern und/oder im Optimalfall kollektive Mannschaftseinbrüche verhindern bzw. minimieren können.

5 Literatur

- Apitzsch, E. (2006). Collective collapse in team sports: A theoretical approach. In Y. V. Auweele (Ed.), *Current research topics in exercise and sport psychology in Europe* (pp. 35-46)
- Baumgärtner, S. D. (2012). *Fragebogen zum Athletenverhalten in kritischen Wettkampfsituationen:(FAV); ein situationsspezifisches Screeningverfahren*. Lang.
- Hatfield, E., Bensman, L., Thornton, P. D., & Rapson, R. L. (2014). New Perspectives on Emotional Contagion: A Review of Classic and Recent Research on Facial Mimicry and Contagion. *Interpersona: An International Journal on Personal Relationships*, 8(2), 159-179. <https://doi.org/https://doi.org/10.5964/ijpr.v8i2.162>
- Lau, A., Stoll, O., & Hoffmann, A. (2003). Diagnostik und Stabilität der Mannschaftskohäsion in den Sportspielen. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 44(2), 1-24.
- Molinero, O., Salguero, A., Álvarez, E., & Márquez, S. (2009). Reasons for dropout in youth soccer: a comparison with other team sports. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 22, 21-30.
- Wergin, V. V., Zimanyi, Z., Mesagno, C., & Beckmann, J. (2018). When suddenly nothing works anymore within a team – Causes of collective sport team collapse. *Frontiers in Psychology*, 9, 2115.

Trainings- und wettkampfbegleitende Ernährungs- betreuung im Kanurennsport

(AZ 072010/20)

Dominik Sonnenburg, Johannes Buitenhuis & Frank Mayer (Projektleitung)

Universität Potsdam, Hochschulambulanz, Professur für Sportmedizin und Orthopädie

1 Einleitung, Problem- und Fragestellung

Es ist anerkannt und evident, dass eine sportgerechte Ernährung einen maßgeblichen Beitrag beim Erhalt der Gesundheit von Leistungssportathletinnen bzw. -athleten sowie bei Prozessen der Trainingsadaptation und Regeneration leistet. Dabei können mittels einer vielseitigen und energetisch bilanzierten Mischkost die spezifischen Makro- und Mikronährstoffbedarfe gedeckt werden (Schenk, 2014; Thomas et al., 2016). Indes bestehen große Schwankungen hinsichtlich des Energieverbrauchs zwischen verschiedenen Sportarten, wobei sich das Risiko einer unzureichenden Energie- und Nährstoffversorgung mit steigenden Energieumsätzen erhöht. Spitzenathletinnen und -athleten im Kanurennsport weisen hohe Belastungsintensitäten und -umfänge mit bis zu 25 Stunden/Woche auf und zeichnen sich durch einen hohen Gehalt an fettfreier Muskelmasse aus, was den Energieumsatz deutlich steigert. (Carlsohn et al., 2011; Stellingwerff et al., 2011). Daher ist fraglich, ob im Kanurennsport potenziell auftretende Energie- und Nährstoffdefizite mit einer sportgerechten Ernährung allein abgedeckt werden können. Eine in diesem Zusammenhang notwendige Voraussetzung stellt das Vorhandensein adäquater Ernährungskompetenzen dar. Jedoch weisen Leistungssportlerinnen und -sportler bereits bei den Ernährungsgrundlagen ein unzureichendes Wissen auf (Devlin & Belski, 2015; Jenner et al., 2019). Ihnen fehlen häufig die Zeit und Zubereitungsfähigkeiten, um selbstverantwortlich eine adäquate Nährstoffversorgung sicherzustellen (Heaney et al., 2011).

Diese Probleme sind bekannt, werden in der leistungssportlichen Praxis jedoch nur unzureichend adressiert. Bislang existiert kein Betreuungskonzept, welches das Ernährungswissen und -verhalten von Athletinnen und Athleten nachhaltig verbessert und zu einer hohen Compliance und Adhärenz beitragen kann.

Ziele der Studie waren demnach:

- › die Erfassung des Nüchtern-
Ruhe- und Gesamtenergieumsat-
zes bei Spitzenathletinnen und
-athleten aus dem Kanurennsport
im Vergleich zu in der leistungs-
sportlichen Praxis häufig einge-
setzten Schätzformeln.
- › die Untersuchung des aktuellen
Ernährungsprofils der Athletinnen
und Athleten bzgl. individueller
Energie-, Makro- und Mikronähr-
stoffbedarfe.
- › Zu überprüfen, ob durch eine an
den sportartspezifischen Trai-
ningszyklus angepasste Ernäh-
rungsbildungsmaßnahme der
Ernährungsstatus bzw. das Ernäh-
rungswissen und -verhalten hin
zu einer bedarfsgerechten Ernäh-
rung begünstigt werden kann.

2 Methoden

2.1 Probandengruppe

In die Studie wurden 15 Athletinnen und Athleten mit Bundeskaderstatus aus dem Kanurennsport eingeschlossen, von denen 12 der Teilnehmenden die Studie zu Ende geführt haben.

Tab. 1: Anthropometrische und Trainingsdaten der Probandinnen und Probanden

Anzahl [n]	Alter [J]	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m ²]	Fettmasse [%]	Trainingsdauer [h/Wo]
W: 5	25,6 ± 5,2	1,68 ± 4,7	66,4 ± 4,2	23,6 ± 1,6	14,5 ± 2,2	19,6 ± 1,2
M: 7	23,0 ± 1,9	1,87 ± 4,0	88,4 ± 5,6	25,4 ± 1,5	12,4 ± 2,3	21,3 ± 1,0

W = weiblich, m = männlich; Daten dargestellt als Mittelwert ± Standardabweichung

2.2 Studiendesign

Die prospektive Interventionsstudie wurde im Längsschnitt über 12 Monate durchgeführt (Abb. 1). Der Gesamtbeobachtungszeitraum gliederte sich in eine vorgeschaltete Basisphase (M0; Dauer: 3 Monate) und eine 9-monatige Förder-/Projektphase (M1-M3).

2.2.2 Projektphase M1

M1 stellt die Ernährungsbildungs-Intervention dar und ist aufgebaut aus den 3 Maßnahmenkomplexen Ernährungsbildung, Praxistransfer und Kontrollmessungen.

M0 Basisphase								M1 Intervention								M2 post-Evaluation				M3 Abschluss																															
Jan		Feb		März		Apr		Mai		Juni		Juli		Aug		Sep		Okt		Nov		Dez																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
<ul style="list-style-type: none"> • Ernährungs-/ Wissensprofil • Anthropometrie • Blutanalysen • Energieumsatz 								<ul style="list-style-type: none"> • Ernährungsbildungsmaßnahme • Praxistransfer • Verlaufskontrolle 								<ul style="list-style-type: none"> • Ernährungs-/ Wissensprofil • Anthropometrie • Energieumsatz 				<ul style="list-style-type: none"> • Auswertung / Datenanalyse • Bericht 																															

Abb. 1: Study-Flow-Chart des Studienablaufs der Studie

2.2.1 Basisphase M0

M0 dient als Baseline-Datenerfassung über zwei aufeinanderfolgende Untersuchungstage.

Untersuchungstag 1: klinische Eingangsuntersuchung inkl. Nüchtern-Blutentnahme (kleines Blutbild, Ferritin, TSH) zur Überprüfung von Ein- und Ausschlusskriterien. Erfassung anthropometrischer Daten (Körpergröße/-gewicht, BMI, Fettmasse mit Kaliperzange [Harpenden] nach 10-Punkt-Methode (Parízková & Bůzková, 1971). Erheben des Ernährungswissens und der *food literacy* mittels 2 für Leistungssportlerinnen bzw. -sportler validierter Fragebögen. Einweisung in die Methoden zur Erfassung des Ernährungsverhaltens und der körperlichen Aktivität (Verzehrs-/Aktivitätenprotokoll).

Untersuchungstag 2: Erscheinen der Probandinnen und Probanden früh morgens und nüchtern zur Messung des Ruhe-Nüchtern-Umsatzes (RMR) mittels indirekter Kalorimetrie (KM) für die Evaluation individueller Energiebedarfe.

- *Ernährungsbildung:* wöchentliche Durchführung von 9 theoretischen Lehreinheiten (pandemiebedingt via Webkonferenz realisiert) von je 45 min Dauer (Inhalte: Basis-ernährung, Energiestoffwechsel, Makro-/Mikronährstoffbedarf, Hydratation, Gewichtsmanagement, Wettkampfernährung, Nahrungsergänzungsmittel).
- *Praxistransfer:* erlangtes Ernährungswissen wurde aufgegriffen und in 5 Lehreinheiten von 60-90 min Dauer im Rahmen von Trainingslagern praktisch angewendet. (Inhalte: Kostplanerstellung, Lebensmitteleinkäufe, -kennzeichnung, Zeit-Mengen-Management und *food literacy*. Ergänzende Durchführung einer personalisierten Ernährungs-

beratung je Athletin/Athlet auf Grundlage der Verzehrprotokolle bzw. Energieumsatzbestimmung (M0).

- › **Kontrollmessungen:** Erfassung Ernährungs- und Aktivitätsprofil sowie Körperzusammensetzung zur Bewertung interventionsbegleitender Veränderungen des Ernährungsverhaltens.

2.2.3 Projektphase M2

Evaluation des Interventionseffekts bzgl. des RMRs, Ernährungsverhaltens und -wissens sowie der Körperzusammensetzung. M2 erfolgte methodisch analog zu M0.

2.3 Messmethoden und -größen

- **Energieumsatz:** Der Gesamtenergieumsatz (TDEE) wurde als Summe des Ruheumsatzes (RMR) und Leistungsumsatzes (LU) unter Ergänzung des MET-Konzepts berechnet. Die Bestimmung des RMR erfolgte durch die Messung mittels Indirekter KM (CORTEX; MetaLyzer 3B-R3) sowie durch die Schätzung mittels der Formeln nach Harris & Benedict (HB) bzw. Cunningham (CUN). Zur Messung erschienen die Probandinnen und Probanden um 6:00 morgens direkt nach dem Erwachen (Reduktion körperliche Aktivität auf ein Minimum) in nüchternem Zustand (Nahrungskarenz ≥ 12 h, kein Koffein/Alkohol am Vor- und Messtag) an der Hochschulambulanz der Universität Potsdam. Die Messungen erfolgten in liegender Position unter standardisierten Umweltbedingungen (Raumtemperatur 21-23 °C, abgedunkeltes, ruhiges Umfeld). Aus den Atemgasparametern Sauerstoffaufnahme (VO₂) und Kohlendioxidabgabe (VCO₂) wurde die RMR nach der Formel von Weir berechnet (Weir, 1949). Unterschiede zwischen Kalorimetrie und Schätz-Formeln zu den Zeitpunkten M0 und M2 wurden via zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung getestet ($\alpha = 0,05$). Die Evaluation eines Bias bzw. der Genauigkeit der Schätzformeln ggü. KM erfolgten mittels Bland-Altman-Analyse (systematischer Fehler $\pm 1,96 \times$ SD).

- Für die Berechnung des LU protokollierten die Athleten bzw. Athletinnen über einen Zeitraum von 3 Tagen über jeweils 24 h die Art und Dauer ihrer Freizeit- und Trainingsaktivitäten (begleitend zu den Ernährungsprotokollen). Die einzelnen Aktivitäten wurden dann in metabolische Äquivalent-Werte (METs) transformiert (Ainsworth et al., 2011) und anschließend der Energieumsatz/Zeit gemäß der Formel $\text{RMR}/\text{Dauer}_{\text{Aktivität}} \times \text{METs}$ berechnet. Letztere wurden tageweise aufsummiert (24 h) und der Mittelwert aus 3 Tagen gebildet.
- **Ernährungsstatus:** Die Ernährungsprofile wurden mit Hilfe von Verzehrprotokollen erstellt. Menge und Art der verzehrten Lebensmittel wurden über initial 7 Tage (M0) und nachfolgend über 3 Tage dokumentiert. Als Protokollmethode wurde eine Kombination aus Wiegemethode (ehemals Goldstandard; Wiegen verzehrter Lebensmittel) und Schätzmethode (Abschätzen verzehrte Mengen anhand von Haushaltsmaßen oder Stückzahlen) eingesetzt. Es erfolgte eine intensive, persönliche Einweisung der Probandengruppe sowie Feedback zur Dokumentation zwecks Ergebnisoptimierung. Die Ernährungsanalyse erfolgte in 2 Schritten: Die Lebensmittelaufnahme wurde auf Basis der Lebensmittelpyramide für Sportlerinnen und Sportler der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung (SSNS) bewertet (Mettler et al., 2009). Die Nährstoffanalyse (Nutri-Science, Prodi 6.9) erfolgte für folgende Nahrungsparameter: Nahrungsenergie, Flüssigkeit, Kohlenhydrate, Proteine, Fette und Fettsäuren, Vitamine, Mineralstoffe. Die Bewertung der Ernährung erfolgte auf Basis der Zufuhrreferenzwerte der D-A-CH-Gesellschaften (D-A-CH, 2015) sowie Positionspapieren zur sportgerechten Ernährung der Arbeitsgruppe Sporternährung (DGE) bzw. des *American College of Sports Medicine (ACSM)* (Braun et al., 2019; Carlsohn et al., 2019; König et al., 2019; Thomas et al., 2016). Geschlechtsspezifische Unterschiede der Energie- und Nährstoffaufnahme innerhalb und zwischen M0 und M2 wurden via ein- und zweifaktorieller Verfahren getestet ($\alpha = 0,05$).

- **Ernährungswissen:** Ernährungswissen und -verhalten wurden mittels zweier haptischer Fragebögen evaluiert: Fragebogen 1 ist eine für deutsche Nachwuchsathletinnen und -athleten modifizierte Version des international etablierten Sport Nutrition Knowledge Questionnaire (SNKQ) (Horvath et al., 2014). Die Abfrage des Ernährungswissens erfolgte durch 63 dichotome Fragen (Ja, nein, weiß nicht) und gliederte sich in 8 Wissenskategorien: Energiebedarf (8), Flüssigkeit (8), Makronährstoffe (10), Mikronährstoffe (12), Praktische Handhabung im Alltag, Training (9) und Supplemente (8). Das Ernährungsverhalten wurde über Rating-Skalen bzw. offene Fragen bewertet. Fragebogen 2 ist ein von Mosler et al. für deutsche Leistungssportathletinnen und -athleten entwickelter und auf Reliabilität geprüfter Ernährungsfragebogen (Mosler et al., 2019). Er umfasst 66 Ernährungsfragen aus den Bereichen Ernährungswissen und -verhalten, Regenerationsernährung, Nahrungsergänzungsmittelkonsum, Gewohnheiten beim Lebensmitteleinkauf sowie Mahlzeitenplanung und -zubereitung (Fragenformate: dichotom, Ratingskalen, Einfach-/Mehrfachwahl, offene Fragen). Die Datenanalyse erfolgte deskriptiv (Mittelwert \pm SD) und über einfaktorielle Verfahren.

3 Ergebnisse

3.1 Anthropometrie

Weder im Mittelwert noch intraindividuell lagen Unterschiede bzgl. der Parameter Gewicht, BMI, Fettmasse oder fettfreie Masse vor (Tab. 2).

3.2 Ruhe-Nüchtern- und Gesamtenergieumsatz

Für die Ergebnisse der RMR-Messung bzw. -Schätzungen wurden intramethodisch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen M0 und M2 festgestellt (Abb.2, S. 5). Zu beiden Messzeitpunkten unterschätzte die Formel nach HB (M0: 2068 ± 92 ; M2: 1995 ± 122 kcal/24 h) statistisch signifikant ($p = 0,024/0,018$) den RMR bei Männern im Vergleich zur KM (M0: 2330 ± 266 ; M2: 2273 ± 200 kcal/24 h). Bei den Frauen zeigten sich keine Unterschiede zwischen HB (M0: 1477 ± 42 ; M2: 1473 ± 28 kcal/24 h) und KM (M0: 1610 ± 180 ; M2: 1673 ± 200 kcal/24 h). Für HB und KM zeigte die Bland-Altman-Analyse eine mittlere Differenz von 170 kcal/24 h (LOA \pm 483) zu M0 bzw. 183 kcal/24 h (LOA \pm 499) zu M2. Bei hohen RMR-Werten unterschätzte HB die RMR deutlich. Unter Verwendung der Formel nach CUN zeigten sich weder bei den Männern (M0: 2154 ± 89 ; M2: 2157 ± 89 kcal/24 h) noch bei den Frauen (M0: 1710 ± 61 ; M2: 1724 ± 14 kcal/24 h) statistisch signifikante Unterschiede. Der Bias von CUN und HB lag bei 12 kcal/24 h (LOA \pm 321) zu M0 bzw. 37 kcal/24 h (LOA \pm 274) zu M2.

Tab. 2: anthropometrische Daten zu den Messzeitpunkten M0 und M2.

Messzeitpunkt	Geschlecht	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m ²]	FM [%]	FFM (%)
M0	W	1,68 \pm 4,7	66,4 \pm 4,2	23,6 \pm 1,6	14,5 \pm 2,2	85,5 \pm 2,2
	M	1,87 \pm 4,0	88,4 \pm 5,6	25,4 \pm 1,5	12,4 \pm 2,3	87,4 \pm 2,1
M2	W	1,67 \pm 3,9	65,2 \pm 2,7	23,5 \pm 1,1	15,1 \pm 2,6	87,5 \pm 6,6
	M	1,86 \pm 4,0	86,9 \pm 4,7	24,9 \pm 1,5	11,7 \pm 2,4	88,3 \pm 2,4

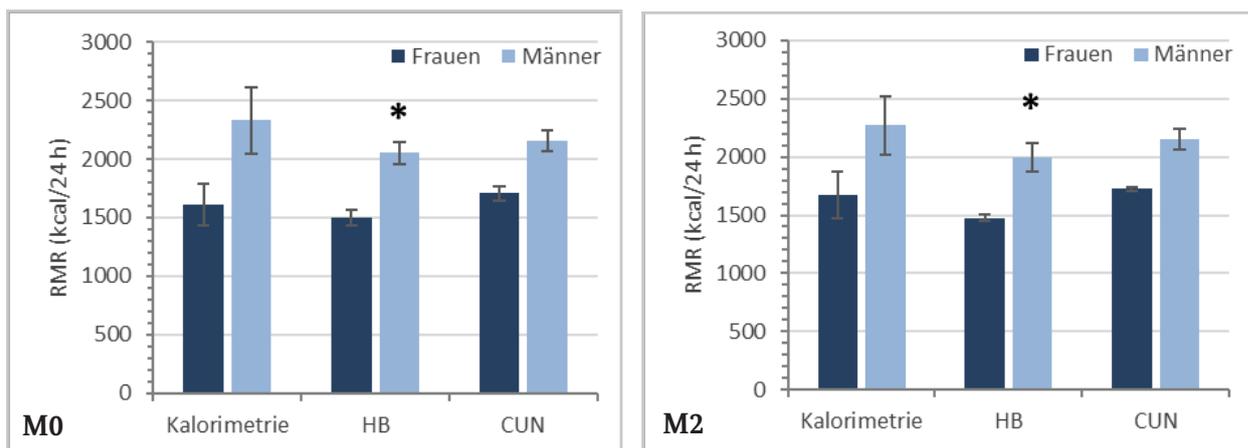


Abb. 2: Veränderung des Ruhe-Nüchtern-Umsatzes (RMR) im Jahrestrainingszyklus. Nach Geschlecht differenzierter Vergleich der gemessenen (Kalorimetrie) und geschätzten (HB, CUN) RMR zu den Studienphasen M0 (li.) und M2 (re.)

* = signifikanter Unterschied zur Kalorimetrie

Der berechnete TEE (= RMR + LU) betrug zum Zeitpunkt M0 3381 ± 517 für Frauen bzw. 5128,1 ± 589 für Männer und zu M2 3346 ± 483 (f) bzw. 4772 ± 707 (m). Die der Berechnung des LU zu Grunde liegenden Aktivitätenprotokolle wurden an typischen Trainingstagen geführt.

3.3 Ernährungsprofil

Die Probandinnen und Probanden verzehrten eine abwechslungsreiche Mischkost (Tab. 3). Sie erreichten zu M0 als auch M2 für alle Lebensmittelkategorien mindestens die Portions-Empfehlungen einer ausgewogenen Basisernährung. Für die Lebensmittelkategorien „Gemüse“ und „Obst“ wurden signifikant höhere Mengen als die Mindestempfehlungen von 3 bzw. 2 Portionen verzehrt.

Ausgehend von einer Trainingsdauer von ca. 3 Stunden/Tag erreichten die Probandinnen und Probanden zu keinem Messzeitpunkt die sportspezifischen Empfehlungen für die Getreideaufnahme von 6 Portionen (3+3 Trainingsstunden) (w: 2,9-3,0; 3,9-4,2 Portionen Getreide/d).

Das nährstoffbezogene Ernährungsprofil der Probandengruppe ist in den Tabellen 4 und 5 (siehe S. 6 und 7) abgebildet. Zum Zeitpunkt M0 war die Energieaufnahme der Frauen bedarfsdeckend, während bei den Männern ein signifikantes Energiedefizit von ca. 1500 kcal vorlag. Beide Geschlechter wiesen mit 5,1(w) und 4,2(m) g/kg/d Kohlenhydrate eine deutlich unterhalb der Empfehlungen des ACSM (6-10 g/kg/d) liegende Versorgung auf.

Tab. 3: Lebensmittelaufnahme in Abhängigkeit der Aufnahmeempfehlungen Lebensmittelpyramide für Sportler*innen der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung

	G	Gemüse (Portion)	Obst (Portion)	Getreide (Portion)	Milch-Produkte (Portion)	Fleisch, Fisch, Ei (Portion)	Pflanzen-Fett (Portion)	Tier. Fett (Portion)	E-reiche Snacks (Portion)
SSNS-Ref		Mind. 3	Mind. 2	3 (+1/T-h)	3-4	1	2 +(¼/T-h)	1	„maßvoll“
M0	W	4,5 ± 0,9	3,9 ± 0,5	3,0 ± 0,4	4,4 ± 0,2	2,3 ± 0,6	2,0 ± 0,4	1,9 ± 0,9	2,5 ± 0,4
	M	3,3 ± 0,8	3,7 ± 0,6	3,9 ± 1,1	3,9 ± 0,4	2,6 ± 0,8	2,1 ± 0,5	2,7 ± 0,8	3,5 ± 0,5
M2	W	4,1 ± 0,6	4,1 ± 0,9	2,9 ± 0,5	4,0 ± 0,5	2,0 ± 0,4	1,8 ± 0,9	1,5 ± 0,9	1,9 ± 0,5
	M	3,5 ± 0,5	3,7 ± 0,8	4,2 ± 0,8	3,8 ± 0,3	2,3 ± 0,5	2,2 ± 0,5	2,75 ± 0,8	3,1 ± 0,2

SSNS-Ref = Referenzwerte der Ernährungspyramide der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung; G = Geschlecht; T-h = Trainingsstunden

Im Vergleich dazu wiesen die Frauen mit 2,2 g/kg/d eine oberhalb der Empfehlung liegende Proteinzufuhr auf. Zudem wurde die empfohlene relative Fettaufnahme von 20-30 % von Männern wie Frauen überschritten. Zum Zeitpunkt M2 zeigten beide Geschlechter signifikante Defizite bei der Energieversorgung (w: -454 kcal; m: -1590) und Kohlenhydratversorgung auf (w: 4,7 g/kg/d; m: 4,4 g/kg/d).

Sowohl vor als auch nach der Intervention erreichen die Athletinnen und Athleten für den Großteil der aus Lebensmittel aufgenommenen Mikronährstoffe mindestens die Zufuhrreferenzwerte der D-A-CH-Gesellschaften. Ausnahmen bildeten die Aufnahme von Iodid zum Zeitpunkt M0 (w: 57 %; m: 44 % der Referenzwerte) sowie Vitamin D zu beiden Zeitpunkten M0 und M2 (w: 26/12 %; m: 35/23 %). Die zusätzliche Versorgung mit Mikronährstoffen aus NEM wurde in dieser Darstellung nicht berücksichtigt.

Tab. 4: Makronährstoffaufnahme vor und nach der Intervention

Makronährstoffe	Studienphase M0		Studienphase M2	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
E-Aufnahme (kcal/d)	3612,3 ± 717,1	3120,2 ± 330,8	3183,5 ± 784,0	2892,7 ± 388,3
E-Bedarf (kcal/d)	5128,1 ± 589,0	3381,0 ± 517,1	4772,9 ± 707,5	3346,0 ± 483,2
KH (g)	367,1 ± 79,1	337,1 ± 50,1	382,2 ± 95,1	312,5 ± 29,3
KH (%)	45,2 ± 2,6	44,4 ± 6,0	49,4 ± 8,9	41,2 ± 4,3
KH (g/kg/d)	4,2 ± 1,1	5,1 ± 1,0	4,4 ± 0,9	4,7 ± 0,4
P (g)	136,5 ± 37,9	141,8 ± 37,7	128,7 ± 14,6	131,7 ± 37,8
P (%)	16,6 ± 2,3	18,5 ± 4,2	16,4 ± 3,6	17,2 ± 3,3
P (g/kg/d)	1,5 ± 0,4	2,2 ± 0,6	1,5 ± 0,4	1,8 ± 0,3
F (g)	130,6 ± 30,5	117,5 ± 19,4	114,2 ± 29,7	87,7 ± 19,7
F (%)	35,8 ± 3,6	34,1 ± 4,0	32,0 ± 6,6	31,1 ± 6,0
Wasser	4900,1 ± 1915	3470,9 ± 580	5667,1 ± 2551,1	3099,0 ± 494,8

Geschlechterspezifische Darstellung der Makronährstoffaufnahme zu den Messzeitpunkten M0 und M2.

E = Energie, KH = Kohlenhydrate, P = Proteine, F = Fette, g/kg/d = Gramm pro kg Körpergewicht pro Tag. Daten dargestellt als Mittelwert ± Standardabweichung.

Tab. 5: Mikronährstoffaufnahme vor und nach der Intervention

Mikronährstoffe	Geschlecht	M0	D-A-CH (%)	M2	D-A-CH (%)
Ballaststoffe (g)	W	47,5 ± 17,1	157	39,7 ± 7,8	133
	M	33,6 ± 15,3	112	36,6 ± 10,0	122
Natrium (mg)	W	2576,9 ± 713,7	171	2238,3 ± 901,8	149
	M	3566,0 ± 879,2	237	3921,0 ± 1004,0	261
Kalium (mg)	W	4355,8 ± 1393,6	109	3910,9 ± 338,0	98
	M	4079,4 ± 969,9	102	3617,1 ± 227,9	90
Calcium (mg)	W	1223,3 ± 238,8	122	950,8 ± 207,3	95
	M	1284,7 ± 254,7	128	1106,3 ± 344,1	110
Phosphor (mg)	W	1810,1 ± 443,0	259	1214,7 ± 194,9	173
	M	1633,6 ± 320,1	233	1512,5 ± 288,3	216
Magnesium (mg)	W	638,8 ± 196,6	213	404,1 ± 55,3	134
	M	559,7 ± 183,9	160	575,2 ± 76,1	164
Eisen (mg)	W	22,2 ± 8,7	150	14,1 ± 2,0	93
	M	17,1 ± 5,1	171	13,0 ± 3,9	130
Zink (mg)	W	15,8 ± 4,2	198	10,0 ± 2,5	198
	M	22,4 ± 12,8	160	17,7 ± 6,6	126
Jodid (µg)	W	114,1 ± 67,3	57	180,4 ± 38,2	90
	M	88,2 ± 56,1	44	172,5 ± 25,5	87
Vitamin A (µg)	W	740,1 ± 155,2	105	672,2 ± 20,3	96
	M	900,0 ± 280,1	106	761,7 ± 330,1	90
Vitamin B1 (mg)	W	2,0 ± 0,9	200 / 111*	1,3 ± 0,2	130 / 72*
	M	2,9 ± 0,8	242 / 107*	1,7 ± 0,3	142 / 59*
Vitamin B2 (mg)	W	2,2 ± 0,6	200 / 110*	1,4 ± 0,2	127 / 80*
	M	3,4 ± 0,8	243 / 117*	1,8 ± 0,9	129 / 62*
Vitamin B6 (mg)	W	3,0 ± 1,4	214	1,6 ± 0,2	114
	M	3,6 ± 1,3	225	2,2 ± 0,8	138
Folat (µg)	W	460,4 ± 150,1	153	365,9 ± 57,1	122
	M	453,9 ± 178,9	151	332,1 ± 161,3	111
Vitamin B12 (µg)	W	6,9 ± 3,3	173	3,7 ± 1,9	93
	M	8,2 ± 4,8	205	8,1 ± 1,9	203
Vitamin C (mg)	W	272,4 ± 167,5	286	156,5 ± 75,3	164
	M	253,7 ± 42,4	230	173,4 ± 61,3	157
Vitamin D (µg)	W	5,3 ± 2,2	26**	2,4 ± 1,5	12**
	M	6,9 ± 2,5	35**	4,5 ± 2,3	23**
Vitamin E (mg)	W	23,5 ± 10,7	196	13,9 ± 3,6	100
	M	27,5 ± 11,5	183	15,4 ± 8,4	102
Vitamin K (µg)	W	225,2 ± 33,3	375	101,5 ± 42,6	169
	M	221,7 ± 20,6	317	133,6 ± 81,7	166

Nach Geschlecht und Referenzwerten für die Nährstoffzufuhr (D-A-CH) differenzierte Darstellung der Mikronährstoffaufnahme aus natürlichen Lebensmitteln zu den Messzeitpunkten M0 und M2. Ergebnisdarstellung als Mittelwert ± Standardabweichung (M0/M2) bzw. als prozentualer Anteil der Mengeneempfehlungen nach DGE (D-A-CH %).

W = weiblich, M = männlich; * normiert auf Energieumsatz (Carlssohn 2019); **Empfehlungen bei fehlender endogener Synthese.

3.4 Ernährungswissen und food literacy

Beim SNKQ wurden zum Messzeitpunkt M0 im Mittelwert 49 von 63 Fragen (77,8 %) zum Ernährungswissen korrekt beantwortet, wobei die Männer 2 Fragen mehr korrekt beantworteten. Geschlechterübergreifend hat die Probandengruppe in den Wissenskategorien „Mikronährstoffe“ (63,5 %) und „praktische Handhabung im Alltag“ (72,0 %) am schlechtesten abgeschlossen. Während sich die Ergebnis-Scores in einigen Kategorien nach der Intervention verbesserten, wurde statistisch keine signifikante Verbesserung des Ernährungswissens festgestellt. Die Probandinnen und Probanden beantworteten im Mittel 79,1 % der Fragen korrekt. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass ein Proband ein deutlich schlechteres Ergebnis im Vergleich zu M0 aufwies (52 VS 40 korrekte Antworten). Durch dessen Exklusion ergäben sich insgesamt 80,6 % korrekte Antworten sowie eine signifikante Steigerung bei den Männern auf 83,8 % korrekte Antworten ($p = 0.048$).

Zu M2 verbesserten sich die Scores auf jeweils 7/12. Unzureichendes Ernährungswissen oder Zubereitungsfähigkeiten wurden von 1 von 12 Personen als Hindernis für die Umsetzung einer gesunden Sporternährung gesehen. Für die Angaben zur Food literacy waren keine Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten erkennbar. Im Mittel gaben die Frauen an, über „gute“ Kochfähigkeiten (Rang 2/5) zu verfügen, eigenständig 5,2 warme Mahlzeiten aus Grundnahrungsmitteln pro Woche zuzubereiten und sich bei der Wahl sportgerechter Lebensmittel sicher zu fühlen (Rang 1/5). Die Männer gaben an, über „ausreichend gute“ Kochfähigkeiten zu verfügen (Rang 3/5) und 4,1 Mahlzeiten zuzubereiten. Bei der Frage nach ihrem individuellen Energiebedarf schätzten alle bis auf 2 Frauen ihren Energieverbrauch als z. T. deutlich zu niedrig ein, zum Zeitpunkt M2 4/12. Die Befragung zur Häufigkeit der NEM-Aufnahme ergab, dass vor der Intervention 9/12 Probanden bzw. Probandinnen regelmäßig (mehrmals/Woche) oder zu besonderen Trainingsphasen NEM einnahmen.

Tab. 6: Vergleich des Ernährungswissens vor und nach der Intervention

Kategorie	Studienphase M0			Studienphase M2		
	Männer RA [%]	Frauen RA [%]	Total RA [%]	Männer RA [%]	Frauen RA [%]	Total RA [%]
Energiebedarf	85,4	79,5	82,5	83,7	79,5	81,6
Flüssigkeit	81,7	80,3	81,0	81,7	80,3	81,0
Mikronährstoffe	67,0	60	63,5	72,1*	62,7	67,4
Makronährstoffe	80,3	77,5	78,9	79,5	79,4	79,5
Handhabung	70,2	73,8	72	73,5	73,8	73,7
Training	85,4	79,5	82,5	85,4	82,5 *	84,0
Supplementation	87,3	82,9	85,1	87,3	84,1	85,7
Gesamt	79,6	76,2	77,8	80,4	77,5	79,1

Fragebogengestützte Auswertung des Ernährungswissens (Horvarth 2014), differenziert nach Wissenskategorie, Geschlecht und Studienphase. RA = „Richtige Antwort“; * signifikanter Unterschied M0 VS M2.

Beim Fragenbogen von Mosler et al. hielten alle Sportler und Sportlerinnen (100 %) eine gesunde und individuell angepasste Ernährung als wichtig für die Gesundheit und die körperliche Leistungsfähigkeit. Allerdings gaben 9/12 von ihnen zum Zeitpunkt M0 an, im Alltag Schwierigkeiten zu haben sich sportgerecht zu ernähren, wobei insbesondere Zeitmangel als Einflussfaktor genannt wurde (8/12).

Im Vergleich gaben 5/12 Athletinnen bzw. Athleten nach der Intervention an, selten oder nie NEM einzunehmen (Abb. 3). Zu M0 nahmen sie im Mittel eine Kombination aus 3,0 NEM/Person mit einer Spannweite von 0-7 NEM/Person ein und zu M2 1,9 NEM/Person (Spannweite: 0-5). Am häufigsten verwendete NEM waren einzelne Mikronährstoffe und -komplexe und proteinhaltige Supplemente.

Diese Angaben zur NEM-Aufnahme sind etwa vergleichbar mit den protokollierten Daten (Verzehrprotokoll).

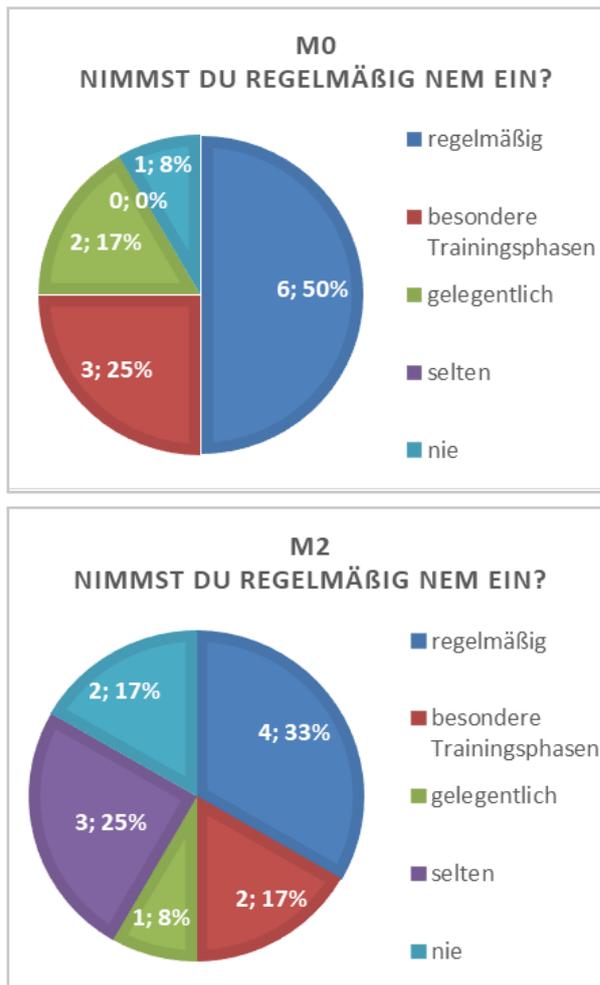


Abb. 3: Häufigkeit Nahrungsergänzungsmittel-einnahme

4 Diskussion und Schlussfolgerung

Die Messungen des Energieumsatzes zeigten, dass zum einen die gemessenen RMR-Werte (KM) über den Jahrestrainingszyklus 2020 im Mittel als auch intraindividuell vergleichbar blieben. Zum anderen waren die vorhergesagten RMR mit 170-183 kcal/24 h signifikant verzerrt, wenn die durch das ACSM vorgeschlagene Standardformel nach HB verwendet wird (Rodriguez et al., 2009). Die Bland-Altman-Analyse zeigte zudem, dass die mittlere Differenz mit zunehmender RMR deutlich ansteigt, was auf eine Unterschätzung des RMR bei hohen RMR-

Werten hinweist. Bei stark austrainierten Athletinnen bzw. Athleten mit einem hohen Anteil an Muskelmasse ist die Formel nach HB daher nicht geeignet für die näherungsweise Schätzung des RMR. Stattdessen sollte bei Kanurennsport-athletinnen bzw. -athleten grundsätzlich die Schätzformel nach CUN verwendet und bei sehr muskulösen Sportlerinnen bzw. Sportlern die Messung des Ruheenergieverbrauchs via indirekter KM erwogen werden.

Bzgl. der Gesamtenergiebedarfe wurden insbesondere bei den Männern sehr hohe, mit der Körpermasse assoziierte, Werte von durchschnittlich 4900-5100 kcal/d bis max. 5600 kcal/d berechnet. Dies sind Energiemengen, die schwierig bzw. nur mit einem hohen Maß an Disziplin und Kenntnissen zur sportgerechten Ernährung durch eine ausgewogene Diät allein realisiert werden können (Kerksick et al., 2018). Eine Einschätzung, die von den Analysen der Ernährungsprofile untermauert wird. Während die Frauen im Rahmen der Studie eine isokalorische bis leicht hypokalorische Energiezufuhr aufwiesen, wurden bei den Männern im Mittel als auch interindividuell deutliche Energiedefizite von 400 bis zu 1700 kcal festgestellt. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass alle aus der Probandengruppe eine intensive Einführung in die Ernährungserhebungsmethode sowie zu Beginn der Studie Feedback dazu erhielten. Indes können Änderungen des Essverhaltens während der Protokollphase sowie Dokumentationsfehler hinsichtlich der Menge und Beschreibung der verzehrten Lebensmittel nicht ausgeschlossen werden. Während ein kurzzeitiges, moderates Energiedefizit von ca. 1-2 % des Energiebedarfs keine wesentlichen Einschränkungen der Leistungsfähigkeit nach sich zieht, kann eine chronische Unterversorgung neben einem progressiven Gewichtsverlust u. a. zu einer Unterversorgung mit Mikronährstoffen und daraus resultierenden negativen Folgen für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit führen und sollte daher dringend vermieden werden (Manore, 2015).

Bei der Evaluation der Makronährstoffzufuhr wurden Messzeitpunkt- und geschlechter-übergreifend Kohlenhydrate als primärer Mangel-nährstoff identifiziert.

Die wichtige Rolle der Kohlenhydrate zur Energieversorgung bei regelmäßigen Trainingsbelastungen ist allgemein akzeptiert und bekannt. Im Vergleich zu Fetten und Proteinen weisen sie einen sehr günstigen energetischen Wirkungsgrad auf, weshalb ein hoher Kohlenhydratanteil in der Ernährung die körperliche Leistungsfähigkeit v. a. bei länger anhaltenden Belastungen signifikant verbessert (Pöchmüller et al., 2016). Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass die Höhe der Kohlenhydratspeicher in Leber und Muskulatur Einfluss auf trainingsinduzierte Anpassungsprozesse hat (König et al., 2019). In ihrem Positionspapier zur Kohlenhydratversorgung empfiehlt das ACSM daher, bei moderatem bis hochintensivem Training an 1-3 bzw. 4-5 Stunden pro Tag eine Kohlenhydratzufuhr von 6-10 bzw. 8-12 g/kg/d (Thomas et al., 2016). Trotz des dokumentierten Energiedefizits bei den Männern wiesen alle Athletinnen und Athleten eine gute Versorgungssituation mit Mikronährstoffen auf, was sich vermutlich durch die abwechslungsreiche und nährstoffdichte Lebensmittelauswahl begründen lässt. Ausnahmen bildeten hierbei die Versorgung mit Vitamin D und Jod. Da die nutritive Zufuhr von Vitamin D nur zu etwa 10 % zur Vitamin-D-Bedarfsdeckung beiträgt, sind Outdoor-Sportlerinnen und -sportler mit ausreichender UV-Exposition möglicherweise auch bei inadäquater Vitamin-D-Zufuhr über Lebensmittel gut versorgt (Carlsohn et al., 2013). Ob eine Vitamin-D-Gabe die sportliche Leistungsfähigkeit beeinflusst, ist umstritten, wobei mangelversorgte Athletinnen und Athleten von einer Vitamin-D-Supplementation zu profitieren scheinen (de la Puente Yagüe et al., 2020).

Die Daten weisen darauf hin, dass mit einer abwechslungsreichen Mischkost auch bei hoher metabolischer Beanspruchung eine bedarfsgerechte Versorgung mit Mikronährstoffen realisiert werden kann. Vor diesem Hintergrund ist es mehr als bedenklich, dass 75 % der Athleten und Athletinnen regelmäßig oder in besonderen Trainingsphasen im Mittel 3 verschiedene NEM supplementieren und bis zu 7 Präparate parallel verwenden.

Zusätzlich zu den Risiken im Zusammenhang mit Überdosierungen und Wechselwirkungen bei gleichzeitiger Kombination verschiedener Supplemente weisen aktuelle Studien darauf hin, dass ca. 12 % der auf dem deutschen Markt befindliche NEM dopingrelevant verunreinigt sind. Zudem konnten ca. 6-9 % bestätigter Dopingfälle auf NEM zurückgeführt werden. (Carlsohn & Steinhorst, 2018). Aufgrund dieser gesundheits-, leistungs- und dopingrelevanten Risiken sollten Sportlerinnen und Sportler nur bei entsprechender Diagnose einer defizitären Nährstoffversorgung und in Verbindung mit medizinisch-diätetischem Fachpersonal eine Supplementation in Erwägung ziehen. Abschließend ist anzumerken, dass nach der Intervention deutlich weniger Personen NEM einnahmen.

Mit 80 % richtigen Antworten bei den Männern und 76 % richtigen Antworten bei den Frauen wiesen die Athleten und Athletinnen bereits zu Beginn der Studie ein gutes (Sport)Ernährungswissen auf. Zum Vergleich wurde in einer nicht publizierten Arbeit das Ernährungswissen von 15 alters- und geschlechts-gematchten Freizeitsportlerinnen bzw. -sportlern analysiert, wobei die Frauen 66 % und die Männer 57 % der Fragen korrekt beantworten konnten. Daher ist es verständlich, dass infolge der Intervention das Ernährungswissen zwar in einzelnen Kategorien, jedoch insgesamt nicht signifikant weiter verbessert wurde. Durch die Elimination eines potenziellen Ausreißers hätte sich jedoch das Wissen der Männer im Mittel um knapp 4 % signifikant verbessert (Heaney et al., 2011).

Zusammenfassend lagen bei der Probandengruppe zu Beginn der Studie bereits umfangreiche Vorkenntnisse zur Sporternährung sowie eine ausreichend gute Nahrungsqualität vor, was die Qualität und den Leistungsumfang der etablierten sport- und ernährungsmedizinischen Athletenbetreuung bestätigt. Durch die Ernährungsbildungsmaßnahme konnten das Ernährungswissen und -verhalten in einigen Teilbereichen begünstigt werden. Darunter zählen u. a. die individuellen Einschätzungen des Energieverbrauchs sowie die kritische Auseinandersetzung bzw. der verantwortungsvollere Umgang mit der eigenen NEM-Aufnahme.

5 Literatur

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, M. C., & Leon, A. S. (2011). 2011 compendium of physical activities: A second update of codes and MET values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1575-1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821e312>
- Braun, H., Carlsohn, A., Großhauser, M., König, D., Lampen, A., Mosler, S., Nieß, A., Oberritter, H., Schäbenthal, K., Schek, A., Stehle, P., Virmani, K., Ziegenhagen, R., & Hesecker, H. (2019). Energiebedarf im Sport: Position der Arbeitsgruppe Sporternährung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE). *Ernährungs Umschau*, 66(8), 146-153. <https://doi.org/10.4455/eu.2019.040>
- Carlsohn, A., Braun, H., Grosshauser, M., Koenig, D., Lampen, A., Mosier, S., Niess, A., Oberritter, H., Schaebethal, K., Schek, A., Stehle, P., Virmani, K., Ziegenhagen, R., & Hesecker, H. (2019). Minerals and Vitamins in Sports Nutrition Position of the Working Group Sports Nutrition of the German Nutrition Society e.V. (DGE). *Ernährungs Umschau*, 66(12), M712-M719. <https://doi.org/10.4455/eu.2019.050>
- Carlsohn, A., Scharhag-Rosenberger, F., Cassel, M., & Mayer, F. (2011). Resting metabolic rate in elite rowers and canoeists: Difference between indirect calorimetry and prediction. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 58(3), 239-244. <https://doi.org/10.1159/000330119>
- Carlsohn, A., Scharhag-Rosenberger, F., Heydenreich, J., & Mayer, F. (2013). *Vitamin D status of athletes with high UV-exposure during exercise training 1. 2012-2014.* <https://doi.org/10.4455/eu.2013.033>
- Carlsohn, A., & Steinhorst, L. (2018). [Consult Your Physician or Health Care Provider? Health and Legal Aspects Regarding the Use of Dietary Supplements Offered in the World Wide Web]. *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportme-*
- dizin*, 32(4), 264-271. <https://doi.org/10.1055/a-0753-7694>
- de la Puente Yagüe, M., Collado Yurrita, L., Ciudad Cabañas, M. J., Cuadrado Cenzual, M. A., de la Puente Yague, M., Collado Yurrita, L., Ciudad Cabanas, M. J., & Cuadrado Cenzual, M. A. (2020). Role of Vitamin D in Athletes and Their Performance: Current Concepts and New Trends. *NUTRIENTS*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/nu12020579>
- Devlin, B. L., & Belski, R. (2015). Exploring general and sports nutrition and food knowledge in elite male Australian athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 25(3), 225-232. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0259>
- Heaney, S., O'Connor, H., Michael, S., Gifford, J., & Naughton, G. (2011). Nutrition knowledge in athletes: A systematic review. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 21(3), 248-261. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.3.248>
- Horvath, G., Meyer, N. L., Konrad, M., & Müller, E. (2014). Determining the nutrition knowledge of junior athletes in Austria. *Ernährungs Umschau International*, 61(9), 138-143. <https://doi.org/10.4455/eu.2014.024>
- Jenner, S. L., Buckley, G. L., Belski, R., Devlin, B. L., & Forsyth, A. K. (2019). Dietary Intakes of Professional and Semi-Professional Team Sport Athletes Do Not Meet Sport Nutrition Recommendations: A Systematic Literature Review. *NUTRIENTS*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nu11051160>
- Kerksick, C. M., Wilborn, C. D., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jäger, R., Collins, R., Cooke, M., Davis, J. N., Galvan, E., Greenwood, M., Lowery, L. M., Wildman, R., Antonio, J., & Kreider, R. B. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>

- König, D., Braun, H., Carlsohn, A., Großhauer, M., Lampen, A., Mosler, S., Nieß, A., Oberritter, H., Schäbenthal, K., Schek, A., Stehle, P., Virmani, K., Ziegenhagen, R., & Hesecker, H. (2019). *Kohlenhydrate in der Sporternährung*. 66(11), 228–235. <https://doi.org/10.4455/eu.2019.044>
- Manore, M. M. (2015). Weight Management for Athletes and Active Individuals: A Brief Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(Suppl. 1), S83-92. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0401-0>
- Mettler, S., Mannhart, C., & Colombani, P. C. (2009). Development and validation of a food pyramid for Swiss athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19(5), 504-518. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.5.504>
- Mosler, S., von Lippe, M., Lührmann, P., & Carlsohn, A. (2019). Evaluation of food literacy in young elite athletes. *Proceedings of the German Nutrition Society*, 25.
- Parízková, J., & Bůzková, P. (1971). Relationship between skinfold thickness measured by Harpenden caliper and densitometric analysis of total body fat in men. *Human Biology*, 43(1), 16-21.
- Pöchmüller, M., Schwingshackl, L., Colombani, P. C., & Hoffmann, G. (2016). A systematic review and meta-analysis of carbohydrate benefits associated with randomized controlled competition-based performance trials. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0139-6>
- Rodriguez, N. R., DiMarco, N. M., Langley, S., American Dietetic Association, Dietitians of Canada, & American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. (2009). Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(3), 509-527. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.01.005>
- Schek, A. (2014). EU 07/14: Ernährung des Leistungssportlers in Training und Wettkampf. *Ernährungs Umschau*, 61(7), 370-379.
- Stellingwerff, T., Maughan, R. J., & Burke, L. M. (2011). Nutrition for power sports: Middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *Journal of Sports Sciences*, 29(Suppl. 1). <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.589469>
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). Nutrition and Athletic Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(3), 543-568. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>
- Weir, J. B. d. V. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of Physiology*, 109(1-2), 1-9. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1949.sp004363>

Entwicklung und Etablierung von Ganzkörper-Elektromyostimulationsinterventionen für Kaderathletinnen

(AZ 072011/20)

Florian Micke, Ulrike Dörmann & Heinz Kleinöder (Projektleitung)

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

Ulla Koch (Cheftrainerin), Shanna Poljakova, Tatjana Bachmayer, Deutscher Turner-Bund e. V.

1 Einleitung

Die simultane Applikation von Strom während Kraftübungen oder sportartspezifischen Bewegungen hat in den vergangenen Jahren mehr und mehr das Interesse des Hochleistungssports geweckt. So rückte insbesondere die Ganzkörper-Elektromyostimulation (GK-EMS) in den Fokus, die ein hochintensives Ganzkörper-Workout in kurzen Trainingszeiten und unabhängig von Zusatzlasten ermöglicht.

Auf Grundlage aktueller Forschungsergebnisse der Arbeitsgruppe und Kooperationen mit Trainingsgruppen aus dem Leistungssport breitet sich das Interesse an GK-EMS nun in weitere Disziplinen aus und mündet durch den Austausch der Kompetenzen in vielfältigen, praxisnahen und trainingswissenschaftlichen Überlegungen für Perspektiv- und Olympiakaderathletinnen. Im Bereich des Turnsports, in dem das vorherrschende Krafttraining mit dem eigenen Körpergewicht realisiert wird, scheint es daher möglich, mit zusätzlichen GK-EMS Interventionen Maximalkraftsteigerungen bei Athletinnen ohne Verwendung hoher Zusatzlasten im Freihandbereich zu erzielen sowie Zeitersparnisse im Athletiktraining zu realisieren. Zum anderen besteht das Interesse im Turnen, Verbesserungen des Leistungs-Outputs in kurzfristigen Zeitintervallen zu nutzen, um die Antrittsschnelligkeit für den Anlauf zum Sprung sowie den Antritt zum Sprungelement in der Bodenkür zu erhöhen.

Die Zielstellung dieses Service-Forschungsprojekts bestand daher in der wissenschaftlich begleiteten Einführung der alternativen und intensiven Trainingsmethodik GK-EMS in das Krafttraining von Nachwuchs- bis Olympiakaderathletinnen des Deutschen Turner-Bundes (DTB) und sollte in längerfristiger Perspektive als saisonbegleitende Maßnahme für einzelne Athletinnen etabliert werden.

2 Methodik

Die gesamte Projektphase wurde in zwei Teilbereiche unterteilt. Der Hauptteil des Forschungsprojektes bestand aus einer 10-wöchigen Trainingsintervention, die mit Kaderathletinnen aus den Trainingsstützpunkten Köln, Karlsruhe und Saarbrücken durchgeführt wurde. Der zweite Teil der Projektphase setzte sich aus der individuellen Begleitung von 4 Turnerinnen aus dem Standort Köln zusammen, bei dem aufbauend auf der standardisierten Trainingsintervention individuelle Programme evaluiert wurden. Bedingt durch Einschränkungen im Rahmen der Covid-19-Pandemie mussten einzelne im Vorfeld geplante Projektschritte verändert und angepasst werden.

Insgesamt nahmen 14 Kaderathletinnen aus den Trainingsgruppen Köln (N = 5), Karlsruhe (n = 4) und Saarbrücken (n = 4) mit unterschiedlichem Kaderstatus (Landeskader, N = 3; Nachwuchskader 2, N = 1; Nachwuchskader 1, N = 3; Perspektivkader, N = 5; Olympiakader, N = 1) an der 10-wöchigen Trainingsintervention teil.

Eine Athletin musste im Laufe der Intervention aufgrund einer Verletzung, die nicht im Rahmen der Studie aufgetreten ist, die Teilnahme beenden. Nach einer Einweisung in die EMS-spezifischen Trainingsmaterialien (miha-bodytec, Augsburg, Deutschland) und die Trainingsmethodik GK-EMS an der Deutschen Sporthochschule Köln führten alle Athletinnen (Alter: $13,7 \pm 2,5$ Jahre; Körpergröße: $154,2 \pm 11,3$ cm; Körpergewicht $44,4 \pm 8,9$ kg; BMI $18,5 \pm 1,6$ kg/m²) unter Betreuung der zuständigen Trainer bzw. Trainerinnen die Intervention in den jeweiligen Standorten durch. Die Intervention bestand aus einer Gewöhnungs- und einer intensiveren Trainingsphase. Die 4-wöchige Gewöhnungsphase diente der sicheren Einführung der für die Athletinnen neuen Trainingsmethode und bestand aus einem Programm, welches 1x/Woche mit zwei statischen Kraftübungen für die Beinmuskulatur (Kniebeuge und Glute-Ham-Bridge) mit jeweils 3 Sätzen und einer progressiven Belastungssteigerung gesteuert wurde. Die Stromintensität wurde über das subjektive Belastungsempfinden (RPE 1-10 Skala) gesteuert und steigerte sich von Einheit 1 = RPE 5 zu Einheit 4 = RPE 8. In der anschließenden 6-wöchigen Trainingsphase wurde der Trainingsumfang auf 2x/Woche erhöht, eine dynamische Ausführung der Kraftübungen (Bulgarische Kniebeuge und Glute-Ham-Bridge im Sling Trainer) gewählt (10 Wdh x 3 Sätze; On:Off Ratio 6 s:4 s; Bewegungsausführung: 2 s exzentrisch, 1 s isometrisch, 2 s konzentrisch, 1 s isometrisch) gewählt, sowie eine dynamische Utilisationsübung (Squat Jumps auf einer Weichbodenmatte oder Skipings oder Kastenaufsprünge) im Anschluss der Kraftübungen durchgeführt. Die Stromintensität wurde ebenfalls über das subjektive Belastungsempfinden gesteuert und sollte den Zielwert RPE 8 erreichen, sodass eine intensive zusätzliche Muskelkontraktion erreicht wird, die dynamische Bewegung aber noch flüssig durchgeführt werden konnte.

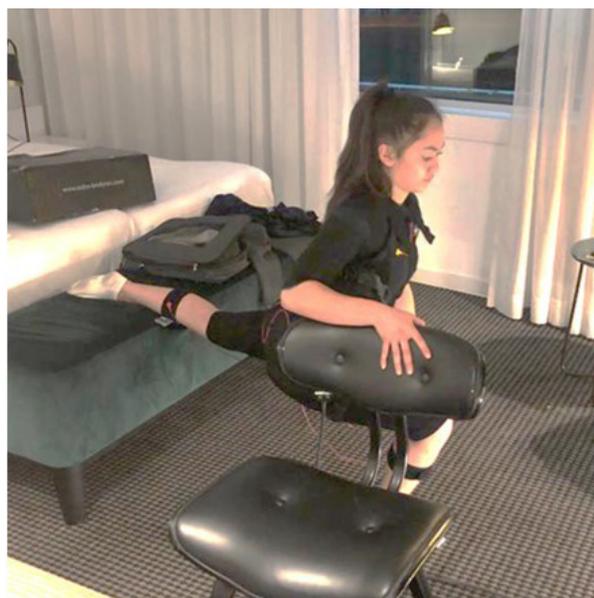


Abb. 1: Athletinnen in GK-EMS-Bekleidung mit Elektrodenweste für die Rumpf- und Oberkörpermuskulatur sowie Elektrodenmanschetten für das Gesäß, Oberschenkel- und Unterschenkelmuskulatur (oben) und während der Trainingsübung „Bulgarische Kniebeuge“ mit GK-EMS (unten)

Zur Überprüfung der Kraft- und Leistungsfähigkeitsveränderungen wurden vor (PRE) und nach der Intervention (POST) differentielle isometrische und isoinertiale Kraftdiagnostiken (F_{\max} , P_{\max}) an mit Kraft- und Wegsensoren ausgestatteten Geräten der Leg Press Machine, der Leg Extension und Leg Curl Machine, sowie der Back Extension Machine und Abdominal Press durchgeführt (Edition-Line, gym80; Gelenkirchen, Deutschland). Zur Überprüfung des Transfers in sportmotorische Fähigkeiten wurden zusätzlich die Sprintfähigkeit (5 m, 10 m, 15 m und 20 m; Doppellichtschranken-System DLS/F03, Sportronic; Leutenbach-Nellmersbach, Deutschland) und Sprungfähigkeit (Squat Jump, Counter Movement Jump und Drop Jump (Optojump-System, Microgate; Bolzano, Italien) diagnostiziert.

3 Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die 10-wöchige Hauptintervention und zeigen zum einen die mittelwertbasierten Veränderungen der Kraft [N] (Abb.2), der Leistung [W] (Abb.3, S. 4), der Sprintschnelligkeit [s] (Abb.4, S. 4) und der Sprunghöhe [cm] (Abb.5, S. 5) und zum anderen die individuellen Veränderungen [Δ pre-post %] der einzelnen Athletinnen.

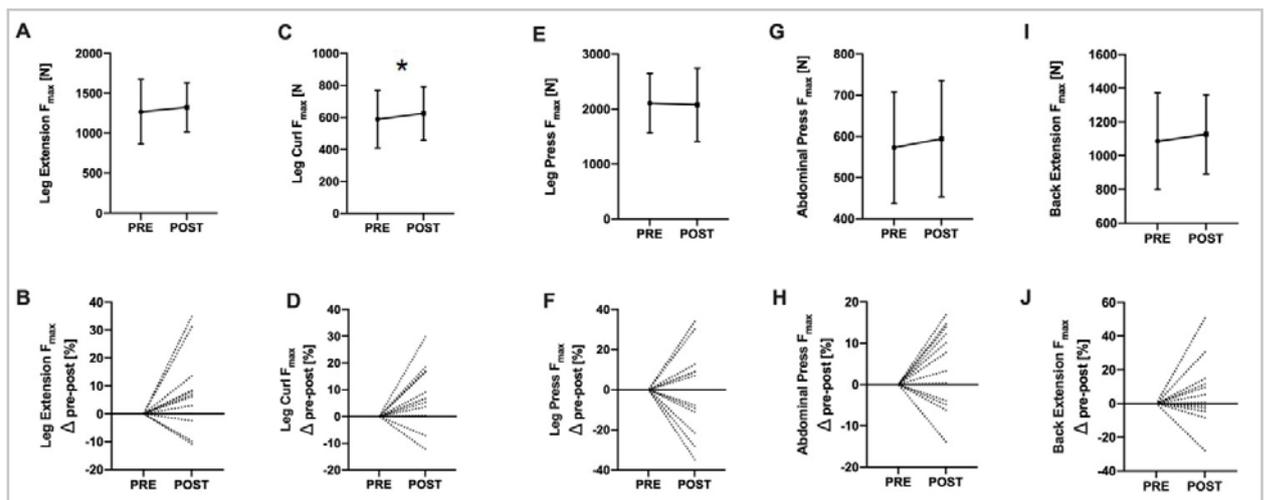


Abb. 2: Mittelwertbasierte (Mittelwert \pm Standardabweichung) und individuelle (Δ pre-post %) Veränderungen der isometrischen Kraftdiagnostik – Maximalkraft (A&B Leg Extension (Kniestrecker); C&D Leg Curl (Kniebeuger); E&F Leg Press (Beinpresse); G&H Abdominal Press (Bauchmuskulatur); I&J Back Extension (Rückenstrecker). Mittelwert gebildet aus 12 Athletinnen (A, C, E, G, I). Individuelle Veränderungen von allen 12 Athletinnen (B, D, F, H, J).

* = $p < 0.05$

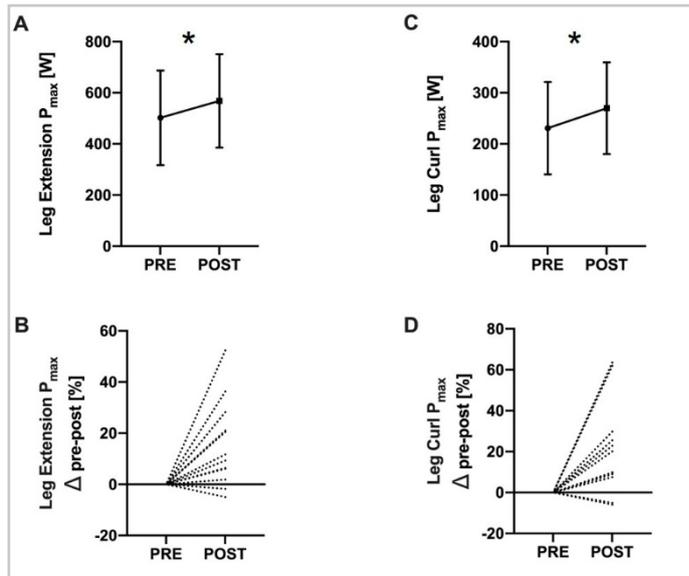


Abb. 3: Mittelwertbasierte (Mittelwert ± Standardabweichung) und individuelle (Δ pre-post %) Veränderungen der dynamischen Kraftdiagnostik – maximale Leistung (A&B Leg Extension (Kniestrecker); C&D Leg Curl (Kniebeuger)). Mittelwert gebildet aus 12 Athletinnen (A, C). Individuelle Veränderungen von allen 12 Athletinnen (B, D)

* = $p < 0.05$

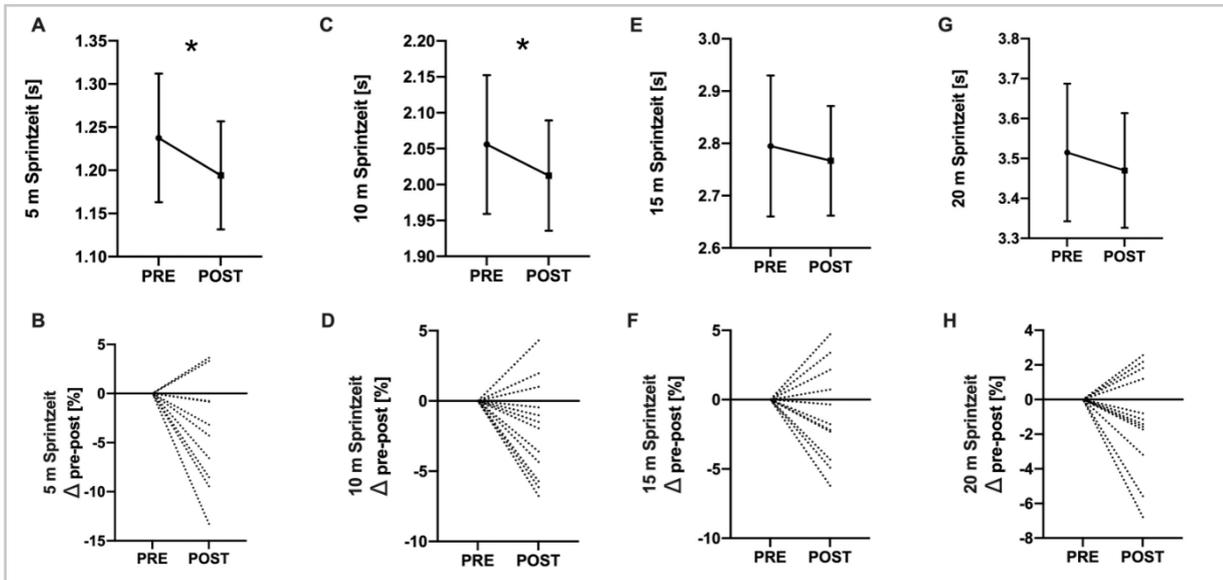


Abb. 4: Mittelwertbasierte (Mittelwert ± Standardabweichung) und individuelle (Δ pre-post %) Veränderungen der Sprintdiagnostik (A&B 5 Meter Zeit; C&D 10 Meter Zeit; E&F 15 Meter Zeit; G&H 20 Meter Zeit). Mittelwert gebildet aus 12 Athletinnen (A, C, E, G). Individuelle Veränderungen von allen 12 Athletinnen (B, D, F, H)

* = $p < 0.05$

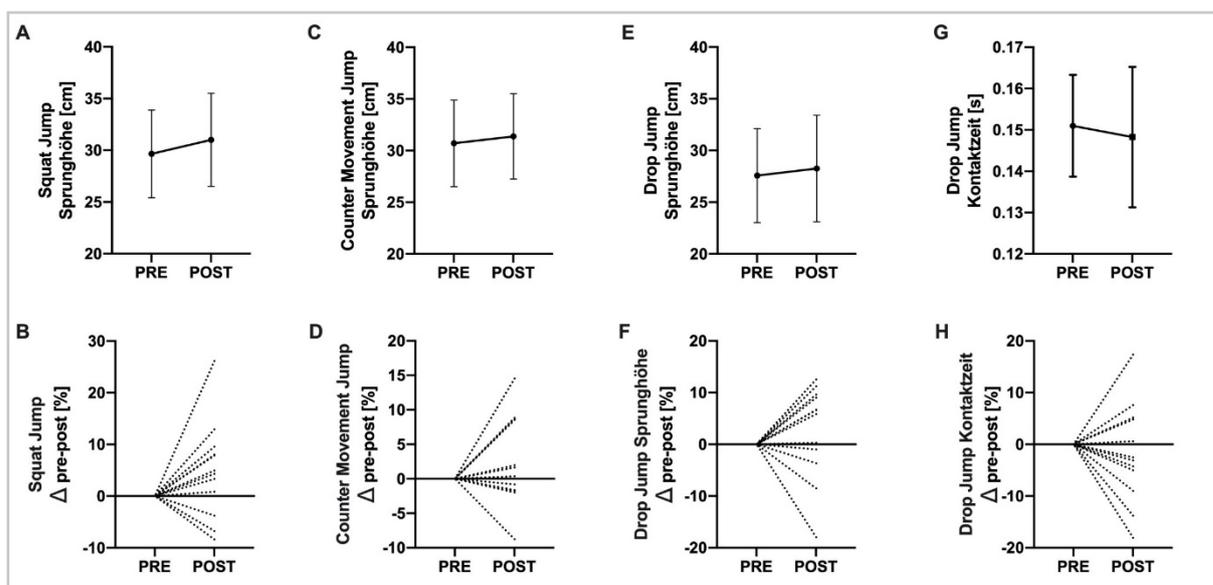


Abb. 5: Mittelwertbasierte (Mittelwert \pm Standardabweichung) und individuelle (Δ pre-post %) Veränderungen der Sprungdiagnostik (A&B Squat Jump; C&D Counter Movement Jump; E&F Drop Jump Höhe; G&H Drop Jump Kontaktzeit). Mittelwert gebildet aus 12 Athletinnen (A, C, E, G). Individuelle Veränderungen von allen 12 Athletinnen (B, D, F, H)

4 Diskussion

Die Durchführung des Trainings fand in den 3 Trainingsgruppen zu jeweils unterschiedlichen Zeiten statt und wurde als begleitende Maßnahme zum disziplinspezifischen Training angesetzt. Alle Ergebnisse sind daher im Kontext des gesamten Trainingsvolumens zu sehen.

Die mittelwertbasierten Ergebnisse weisen auf eine positive Kraft- und Leistungsverbesserung inklusive sportartspezifischen Verbesserungen im Bereich der Sprintschnelligkeit und Sprungkraft durch ein systematisches 10-wöchiges GK-EMS Training bei (hoch-)trainierten Turnerinnen hin. Besonders die signifikanten Verbesserungen der Maximalkraft in der Kniebeugemuskulatur, der dynamischen Leistung in Kniebeuge- und Kniestreckmuskulatur sowie der Sprintzeit bei 5 und 10 Meter verdeutlichen die generelle positive Entwicklung der Athletinnen. Hinsichtlich des turnspezifischen Anforderungsprofils scheinen somit insbesondere die Verbesserungen der ischiocruralen Muskulatur und die Verbesserung der Antrittsschnelligkeit von besonderer Bedeutung zu sein. So konnte zum einen aus vorherigen Kraft-/Leistungstests des DTB-Kaders mehrfach gezeigt werden, dass das Verhältnis der Kniebeuge/Kniestreckmuskulatur zuungunsten der Kniebeugemuskulatur

ausgeprägt ist und einer Verbesserung dieser Muskelgruppe damit sowohl aus leistungssportlicher als auch aus verletzungsprophylaktischer Sicht eine zentrale Rolle im Turnsport zukommt. Zum anderen sorgt eine Verbesserung der Sprintschnelligkeit gerade in der aktuellen Entwicklung des Turnens, mit immer längeren Flugzeiten bei den Sprüngen, resultierend aus steigenden Anlaufgeschwindigkeiten am Sprung und somit der Möglichkeit, die Anzahl an Rotationen um die Transversal- und Longitudinalachse im Flug zu erhöhen, zu einer weiteren wettkampfrelevanten Leistungsverbesserung.

Die Analyse der für den (Hoch-)Leistungssport relevanten individuellen Veränderungen zeigt zum Teil große Unterschiede. Trotz einer mittelwertbasierten tendenziell positiven Veränderung aller Leistungsparameter weisen einzelne Athletinnen zum Teil große negative Leistungsveränderungen auf. So konnten beispielsweise bei einer Athletin Verschlechterungen der Drop Jump Performance um bis zu -18 % und bei einer anderen Athletin Verschlechterungen bei der Maximalkraft an der Leg Press von bis zu -33 % festgestellt werden. Auf der anderen Seite konnten mehrere Athletinnen positive individuelle Zugewinne von >30-40 % bei einzelnen Kraft- und Leistungstests erzielen.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse ist eine individuelle Betrachtungsweise einer jeden Athletin (z. B. aktueller Leistungsstand, Trainingserfahrung, Leistungsreserven im konservativen Leistungsaufbau) für oder gegen die Einführung der intensiven Trainingsmethode GK-EMS mit einer engmaschigen Leistungsüberprüfung notwendig.

Bedingt durch die Covid-19-Pandemie fanden im Projektzeitraum nahezu keine sportlichen Wettkämpfe für alle Athletinnen statt. Die ursprüngliche Planung, die eine zusätzliche intensive Blockperiodisierung mit den bereits EMS-erfahrenen Hochleistungsathletinnen im Vorfeld der Olympischen Spiele bzw. anderer wichtiger Wettkämpfe vorgesehen hatte, wurde in enger Rücksprache mit den verantwortlichen Trainerinnen nicht durchgeführt. Die verfügbare wettkampffreie Zeit wurde im Projekt so weiterführend zur Hauptintervention für die individuelle Begleitung der 4 Kölner Athletinnen genutzt, um ausgehend von den Ergebnissen der Leistungsdiagnostiken gezielt mit Hilfe von GK-EMS an der individuellen Schwachstellen zu arbeiten und um die Trainingsmethode auch für den Einsatz zur Regeneration nach hohen, turnspezifischen Belastungen einzusetzen.

Bewältigung von Satzverlusten und Niederlagen im Beachvolleyball

(AZ 072013/20)

Jürgen Beckmann (Projektleitung), Vanessa Wergin & Wiebke Hahl

Technische Universität München

1 Sportlicher Hintergrund

Der Deutsche Volleyball Verband (DVV) berichtete von der Problematik, dass Beachvolleyball-Mannschaften sich zunehmend mit dem Problem konfrontiert sähen, zunächst in Führung zu liegen, dann jedoch im Entscheidungssatz plötzlich zu versagen. Darüber hinaus berichten einige Teams davon, dass es im Rahmen von nationalen oder internationalen Turnier-Serien, an denen oftmals mehrere Spiele an einem Tag stattfinden, schwierig sei, positiv in ein Spiel zu starten und dieses zu gewinnen, wenn das vorherige Spiel verloren wurde. Das Anliegen des DVV bestand dementsprechend darin, Athletinnen und Athleten im Beachvolleyball Interventionen für Leistungseinbrüche innerhalb von einzelnen Spielen sowie für die Bewältigung von Misserfolg nach verlorenen Sätzen und Spielen zur Verfügung zu stellen.

2 Wissenschaftlicher Hintergrund

Leistungsdruck und daraus resultierender Stress mit Angst vor dem eigenen Versagen spielen im Spitzensport eine stetige Rolle und entscheiden nicht selten über Sieg oder Niederlage. Die Forschung differenziert sich in diesem Bereich aus und betrachtet sowohl den Einzelsportler (Choking under pressure) wie auch Sportmannschaften (Collective sport team collapse). Das Phänomen Choking under pressure beschreibt hierbei eine durch Druck induzierte Leistungsminde- rung in Situationen, die Bestleistung erfordern (Mesagno & Beckmann, 2017). Unter Druck versteht man hierbei den Anstieg von Ängstlichkeit aufgrund des starken Wunsches, Höchstleistung zu zeigen (Hardy, Mullen, & Jones, 1996).

Diese Ängstlichkeit kann zu Verschiebungen der Aufmerksamkeit führen. Als Gründe für Choking under pressure werden daher verschiedene Mechanismen vorgeschlagen, die sich vor allem mit der Verschiebung der Aufmerksamkeit befassen. Dazu gehören Selbstfokus-Theorien, die eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf sich Selbst und die eigenen Fertigkeiten beschreiben, sowie Ablenkungs-Theorien, die eine Ablenkung der Aufmerksamkeit von wesentlichen Aspekten beschreiben (Mesagno & Beckmann, 2017).

Das Phänomen Collective sport team collapse beschreibt hingegen einen plötzlichen, kollektiven und extremen Leistungseinbruch einer gesamten Sportmannschaft (Wergin et al., 2018). Diese kollektiven Teameinbrüche werden durch das Zusammenspiel bestimmter Risikofaktoren sowie kritische Ereignisse auf dem Spielfeld ausgelöst, welche das Zusammenspiel des Teams stören und zu einem Verlust der Kontrolle über das Spiel führen. Dieser äußert sich in Veränderungen auf kognitiver, affektiver und behavioraler Ebene, wie beispielsweise kollektiven negativen Emotionen oder der Abgabe von Verantwortung für das Spielgeschehen (Wergin et al., 2018, 2019). Folgen hiervon sind eine starke Abnahme der Leistung des gesamten Teams, was häufig in einer Niederlage resultiert.

Faktoren, die beide Phänomene gemeinsamen haben, sind vor allem die direkten Folgen auf affektiver und kognitiver Ebene. So wurde z. B. vermehrt gezeigt, dass das Grübeln (Rumination) der Sportlerinnen und Sportler nach Fehlern oder nach verlorenen Spielen mit Leistungseinbrüchen in Drucksituationen einhergeht (z. B. Wergin et al., 2018, 2019; Kröhler & Berti, 2019).

Zudem scheinen negative Emotionen und damit die Fähigkeit zur Emotionsregulation mit dem Leistungsabfall zusammenzuhängen (Gillet et al., 2012). Die negativen Auswirkungen sind nicht nur innerhalb von Spielen sichtbar, sondern können sich über einzelne Spiele hinaus auch auf die zukünftige Leistungsfähigkeit auswirken. So können Misserfolgserlebnisse nicht nur das Grübeln begünstigen (Beckmann, 1994), sondern auch die Einschätzung zukünftiger Spiele als Herausforderung oder Bedrohung beeinflussen (Blascovich & Mendes, 2000). Während eine Einordnung als Herausforderung mit positiven Emotionen und einer vorteilhaften Wahrnehmung der aktuellen emotionalen Lage einhergeht, geht eine Einordnung als Bedrohung oft mit negativen Emotionen und einer schädlichen Wahrnehmung der aktuellen emotionalen Lage einher. Eine Interpretation eines anstehenden Spiels als Bedrohung erfolgt vor allem, wenn eine Niederlage auf fehlende Fähigkeiten attribuiert wird (Beckmann, 1994). Negative Emotionen und Grübeln, resultierend in den oben genannten Aufmerksamkeitsverschiebungen, sind die Folge (Martin & Tesser, 1996). Die schädlichen Auswirkungen von Bedrohungs Zuständen und Grübeln wurden in zahlreichen Studien belegt (Jones et al., 2009; Kröhler & Berti, 2019; Nicholls, Polman, & Levy, 2012). Ein Aufbrechen der Interaktionsmuster zwischen auftretenden Gedanken, negativen Emotionen und der Leistungsfähigkeit auf Spieler- und auf Mannschaftsebene müssen daher das Ziel einer geeigneten Intervention sein, um die oben genannte Problemstellung zu bearbeiten.

3 Projektziele

Um dem Ziel der Bereitstellung einer Intervention nachzukommen, sollte in einem ersten Schritt des Projekts analysiert werden, welche Faktoren zum Einbruch der Teams in Punktspielen führen. Außerdem sollten die kognitive und affektive Lage sowie entsprechende Bewältigungsmechanismen der Athletinnen und Athleten nach verlorenen Spielen erfasst werden. Basierend auf diesen Daten, sollten dann zielgerichtete Interventionen in den Bereichen Leistungserbringung unter Druck und Umgang

mit Misserfolg entwickelt und den Sportlerinnen und Sportlern sowie den Trainerinnen und Trainern zur Verfügung gestellt werden. Durch die konkreten Maßnahmen, die den Sportlerinnen und Sportlern zum Training von mentaler Stärke und Resilienz zur Verfügung gestellt wurden, sollten diese die Möglichkeit bekommen, im Rahmen von Einzel- und Teamcoachings sowie in mehreren Workshops mentale Techniken und Routinen für den Umgang mit Drucksituationen und zur Emotionsregulation zu erlernen. Wirksame Strategien des Interventionskonzepts sollten dann in den Trainingsbetrieb verschiedener Beachvolleyballteams oder sogar Teams anderer Rückschlagsportarten integriert werden können.

Auf wissenschaftlicher Seite sollte das Projekt zunächst Erkenntnisse über die Auslöser von Choking under Pressure, kollektivem Teamversagen sowie über die Zusammenhänge von Emotionsregulationsfähigkeit und Misserfolgsbewältigung bei den teilnehmenden Athletinnen und Athleten bringen. Darauf aufbauend sollte anhand der gesammelten Daten ein Interventionskonzept für Spielerinnen und Spieler entwickelt und dessen Effektivität wissenschaftlich getestet werden. Im Rahmen einer Evaluationsstudie bestand ein weiteres Ziel darin, die Effektivität der entwickelten Interventionen zu überprüfen.

4 Projekt

4.1 Stichprobe

Am Projekt und den damit verbundenen Datenerhebungen und Interventionen nahmen 23 Beachvolleyballspieler bzw. -spielerinnen des Perspektivkaders des DVV im durchschnittlichen Alter von 18,4 Jahren ($SD = 2,01$) an den Bundesstützpunkten Stuttgart und Berlin teil. Die Stichprobe zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass die Athletinnen und Athleten mit häufig wechselnden und möglicherweise sogar unbekanntem Partnern oder Partnerinnen zu Turnieren antreten, wodurch oftmals kein gemeinsames Training vor Wettbewerbsbeginn möglich ist.

4.2 Projektablauf

Das Projekt wurde an den DVV Bundesstützpunkten in Stuttgart und Berlin durchgeführt. Die quantitative Eingangsdiagnostik zu den auftretenden Kognitionen sowie der Emotionsregulationsfähigkeit umfasste einen Online-Fragebogen zur Emotionsregulation. Die qualitative Eingangsdiagnostik umfasste semi-strukturierte Interviews, die erfragten, wie Athletinnen und Athleten in der Vergangenheit Teameinbruchspiele und Niederlagen bewältigt hatten. Es wurde außerdem erfragt, inwiefern Bewertung und Bewältigung der Teameinbruchsituation/Niederlage sich auf die Bewertung zukünftiger Spiele als Herausforderung vs. Bedrohung auswirkten.

Basierend auf den zu Beginn des Projekts durchgeführten Workshops fanden vier weitere Workshops in Berlin und vier weitere Workshops in Stuttgart sowie entsprechende Einzel- und Teamcoachings statt. Die sechs Workshops behandelten die Themen „Leistungseinbruch unter Druck“, „Umgang mit Fehlern und Niederlagen“, „Emotionsregulation“ (zwei Workshops) und „Teamcoaching und Teamdynamiken“. Die Sportlerinnen und Sportler wurden darüber hinaus über den gesamten Projektzeitraum von den beiden Mitarbeiterinnen sportpsychologisch betreut und gecoacht, um eine Umsetzung der Projektziele und eine angemessene Betreuung zu gewährleisten.

Die Evaluation der sportpsychologischen Intervention bestehend aus Workshops und Einzelcoachings umfasste ebenfalls qualitative und quantitative Daten. Qualitative Interviews mit Sportlerinnen bzw. Sportlern und den Stützpunkttrainern sollten Aufschluss über die Entwicklung der Mannschaften im Verlauf des Projekts geben. Anhand der qualitativen und quantitativen Daten sollten die effektivsten Übungen für Leistungseinbrüche in Spielsituationen und für den Umgang mit Misserfolgen identifiziert werden.

4.3 Ergebnisse

Eine qualitative Inhaltsanalyse der zu Beginn durchgeführten Interviews zeigte, dass erlebte Teameinbruchsituationen nach Ansicht der Athletinnen und Athleten häufig mit reduzier-

ten oder dysfunktionalen Interaktionen mit dem Partner oder der Partnerin einhergehen. So berichteten Einige, dass insgesamt wenig bis keine Kommunikation mit dem Partner bzw. der Partnerin stattfindet, während andere angaben, mit der Aufgabe des eigenen Leistungsabbaus und der gleichzeitigen sozialen Unterstützung von Partner oder Partnerin überfordert und dadurch vom Spiel abgelenkt zu sein. Die Athletinnen und Athleten gaben weiter an, dass sie insbesondere bei Partnerinnen oder Partnern, mit denen sie zuvor noch nicht gespielt hatten, nicht wüssten, wie sie die andere Person am besten unterstützen könnten und was diese Person in schwierigen Spielsituationen von ihnen brauche. Zu den individuellen Bereichen „Versagen unter Druck“ und „Umgang mit Fehlern“ stellten sich außerdem Schwierigkeiten in der Emotionsregulation und das Grübeln als klare Ursachen heraus. Athletinnen und Athleten berichteten von starken Emotionen wie Frustration, die ihre Aufmerksamkeit vom Spiel abgelenkt hätten. Typische Gedanken, die in diesem Zusammenhang auftreten, wären vor allem durch einen Fokus auf begangene Fehler oder individuelle spielerische Schwächen gekennzeichnet.

Hinsichtlich der Evaluation der Intervention gaben sowohl Sportlerinnen und Sportler wie auch Trainerinnen und Trainer an, dass die insgesamt siebenmonatige Intervention ihre Perspektive im Training wie auch an Turnieren verändert hätte. Insbesondere die Themen „Umgang mit Fehlern“ und „Emotionsregulation“ seien präsenter und entsprechende Strategien würden bereits im Training umgesetzt werden. Zudem erwähnten die Athletinnen und Athleten, dass die Workshops für sie als eine Art „Türöffner“ fungierten, durch welche sie einen Einstieg in ein Thema bekamen, mit dem sie sich dann individuell oder im Einzelcoaching weiter beschäftigen konnten und durch welchen sie bereits ein breites Spektrum an potentiellen Methoden kennengelernt hätten. Hierdurch falle ihnen in schwierigen Spielsituationen das Ansprechen von Emotionen und die lösungsorientierte Gesprächsführung mit Spielpartnern bzw. -partnerinnen deutlich leichter, da bei allen Spielerinnen und Spielern durch die Workshops ein gemeinsames Verständnis von sportpsycho-

logischen Strategien für den Umgang mit Fehlern und Misserfolg vorläge. Auch die Offenheit im normalen Trainingsbetrieb mit Trainerinnen und Trainern sowie anderen Athletinnen und Athleten über sensible Themen wie Emotionen sprechen zu können, sei deutlich gewachsen, ebenso wie die Erkenntnis der Relevanz sportpsychologischer Themen für die Leistungsverbesserung.

Dies zeigen teilweise auch die quantitativen Daten. Die Handlungsorientierung nach Misserfolg verbesserte sich bei den Spielerinnen und Spielern signifikant zwischen Eingangs- und Abschlusserhebung. Hinsichtlich Wettkampfängst – Trait, kognitiver Interferenz und Verhaltensänderung zeigen sich keine Veränderungen. Was die Emotionsregulationsfähigkeit angeht, zeigte sich keine übergreifende Veränderung, jedoch eine nicht signifikante aber leichte Verbesserung der Neubewertungsfähigkeit. Die geringen Effekte sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf die relativ kleine Stichprobe zurückzuführen, die bislang an der Evaluationsstudie teilgenommen hat. Aufgrund des Underpowerments der Studie sollte den qualitativen Ergebnissen der Evaluation mehr Bedeutung zugemessen werden (Creswell & Plano Clark, 2017).

4.4 Diskussion

Unsere Ergebnisse legen nahe, dass vor einem gemeinsamen Spiel eine zielgerichtete Vorbereitung der Interaktion zwischen Partnerinnen bzw. Partnern in Satzpausen sowie die Umsetzung der sozialen Unterstützung des Partners oder der Partnerin schwierigen Situationen von Vorteil wäre. Hierdurch könnten sich Spielerinnen und Spieler bereits vorab darüber austauschen, was die andere Person in einer schwierigen Situation oder Teameinbruchsituation benötigt, sodass sie sich im Spielgeschehen voll auf das Spiel konzentrieren können. Kollektiver Teameinbruch könnte zumindest teilweise mit gezielten Strategien zur interpersonellen emotionalen (Niven, 2017) und sozialen Unterstützung (von Partnerinnen und Partnern) präventiert werden.

Die Workshops zu den Themen Leistungseinbruch unter Druck, Umgang mit Fehlern und Niederlagen, Emotionsregulation und Teamcoaching zeigten ihre Wirksamkeit in der Vermitt-

lung von Strategien zur gegenseitigen sozialen Unterstützung in Teameinbruchsituationen insbesondere in der qualitativen Evaluation. Darüber hinaus wäre insbesondere im Beachvolleyball die Planung der Abläufe und Routinen im Rahmen von Auszeiten in Teameinbruchsituationen von Vorteil, sodass die Teams in der Lage sind, beim Auftreten einer Einbruchsituation mit einer gezielten Auszeit zu intervenieren.

Die Emotionsregulationskompetenz betreffend weisen die vorhandenen quantitativen Daten auf eine generelle Verbesserung im Umgang mit Misserfolg und damit verbundenen negativen Emotionen hin. Zudem scheinen sich jene stärker zu verbessern, die bisher die Emotionsregulationsstrategie der Neubewertung noch nicht oder nur in geringem Ausmaße genutzt haben. Die Verbesserung wird hier insbesondere durch die qualitative Evaluation in den Gesprächen mit Spielerinnen und Spielern sowie Trainerinnen und Trainern bestätigt. Die Entwicklung der Emotionsregulationskompetenz bei Nachwuchssportlerinnen bzw. -sportlern wirkt sich insbesondere positiv auf deren Umgang mit Fehlern, Satzverlusten und Niederlagen in Turnieren aus, in welchen sie häufig direkt nach einem verlorenen Spiel in das nächste Spiel starten müssen. Entsprechend sollten sich Interventionen auf Individualebene vor allem auf Strategien zum Umgang mit Fehlern und der Emotionsregulation fokussieren, so dass negative Gedankenmuster frühzeitig erkannt und aufgebrochen werden können. Dadurch können Athletinnen und Athleten lernen, früher im Emotionsgeschehen einzugreifen und ihre Emotionen und Gedanken damit adaptiv zu steuern. Dementsprechend wichtig sind die Inhalte der Evaluation für die sportpsychologische Betreuung und Entwicklung von Nachwuchssportlerinnen und -sportlern.

5 Fazit

Durch das Projekt wurden zum einen grundlegende Daten im Bereich Leistungseinbruch unter Druck, kollektives Teamversagen sowie im Bereich Emotionsregulationskompetenzen bei Nachwuchssportlerinnen bzw. -sportlern im Beachvolleyball erhoben. Zum anderen wurde basierend auf den Eingangsdaten ein Interven-

tionskonzept entwickelt, durchgeführt und evaluiert, welches insbesondere in den Bereichen Umgang mit Fehlern und Emotionsregulation zu wirken scheint. Durch diese Entwicklungen konnten auch positive Auswirkungen auf den Leistungsabwurf unter Druck sowie auf die Vermeidung von kollektivem Teameinbruch gezeigt werden. Die im Rahmen des Projekts erhobenen Daten bieten eine Grundlage für weitere angewandte wissenschaftliche Untersuchungen im Themengebiet des kollektiven Teameinbruchs sowie des Umgangs mit Misserfolg.

6 Literatur

- Beckmann, J. (1994). Ruminative thought and the deactivation of an intention. *Motivation and Emotion, 18*(4), 317-334.
- Blascovich, J., & Mendes, W. B. (2000). Challenge and threat appraisals: The role of affective cues. In J. Forgas (Ed.), *Feeling and thinking: The role of affect in social cognition* (pp. 59-82). Cambridge University Press.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2017). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Sage. In Tashakkori, A., & Teddlie, C. (Eds.). (2010). *SAGE handbook of mixed methods in social & behavioral research* (2nd ed.). Sage.
- Gillet, N., Vallerand, R. J., Lafreniere, M. A. K., & Bureau, J. S. (2013). The mediating role of positive and negative affect in the situational motivation-performance relationship. *Motivation and Emotion, 37*(3), 465-479.
- Hardy, L., Mullen, R., & Jones, G. (1996). Knowledge and Conscious Control of Motor Actions under Stress. *British Journal of Psychology, 87*, 621-636.
- Jones, M., Meijen, C., McCarthy, P. J., & Sheffield, D. (2009). A theory of challenge and threat states in athletes. *International Review of Sport and Exercise Psychology, 2*(2), 161-180.
- Kröhler, A., & Berti, S. (2019). Taking action or thinking about it? State orientation and rumination are correlated in athletes. *Frontiers in Psychology, 10*, 576.
- Martin, L. L., & Tesser, A. (1996). Some ruminative thoughts. *Advances in Social Cognition, 9*, 1-47.
- Mesagno, C., & Beckmann, J. (2017). Choking under pressure: theoretical models and interventions. *Current Opinion in Psychology, 16*, 170-175.
- Nicholls, A. R., Polman, R. C., & Levy, A. R. (2012). A path analysis of stress appraisals, emotions, coping, and performance satisfaction among athletes. *Psychology of Sport and Exercise, 13*(3), 263-270.
- Niven, K. (2017). The four key characteristics of interpersonal emotion regulation. *Current Opinion in Psychology, 17*, 89-93.
- Wergin, V. V., Mallett, C. J., Mesagno, C., Zimanyi, Z., & Beckmann, J. (2019). When you watch your team fall apart—coaches' and sport psychologists' perceptions on causes of collective sport team collapse. *Frontiers in Psychology, 10*, 1331.
- Wergin, V. V., Zimanyi, Z., Mesagno, C., & Beckmann, J. (2018). When suddenly nothing works anymore within a team – Causes of collective sport team collapse. *Frontiers in Psychology, 9*, 2115.

Energiebilanz im Alpinen Skisport unter Berücksichtigung der Höhe (EBal-Ski)

(AZ 072004/20-21)

Karsten Köhler¹ (Projektleitung) & Helena Engel²

¹Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften

²Deutscher Skiverband (DSV)/Deutsches Ski Team Alpin

1 Problem und Zielstellung

Die facettenreiche Natur des alpinen Skirennlaufs erfordert – neben einem hohen Maß an technischen und motorischen Fähigkeiten – einzigartige physiologische Charakteristika. Während die Saisonvorbereitung (April-Juli) primär dem Kraftaufbau- und Konditionstraining dient, liegt der Fokus während der Wettkampfsaison auf Technik und Taktik. Hierbei ist es essenziell, die in der Vorbereitung aufgebauten körperlichen Eigenschaften während der Saison durch gezielte Trainings- und Ernährungsreize aufrecht zu erhalten und starke Gewichts- und Funktionsverluste zu vermeiden (Ferland & Comtois, 2018; Gilgien et al., 2018; Neumayr et al., 2003; Polat, 2016).

Bei Leistungssportlern bzw. -sportlerinnen kann der Energieumsatz aufgrund von wechselnden Trainingsanforderungen und Umweltbedingungen stark fluktuieren (Heydenreich et al., 2017). So ist z. B. Gletschertraining (3000-3900 m) mit Wohnlage in Höhenlagen von 2400-2700 m fester Bestandteil der Vorbereitungsphase. Derzeitige Evidenz deutet darauf hin, dass Höhenexposition zu einem gesteigerten Ruheumsatz führt (Hill, Stacey & Woods, 2011). Infolge eines häufig ebenfalls auftretenden Appetitverlusts (Hill et al., 2011) kann eine negative Energiebilanz auch bei kurzen Aufenthalten (5-14 Tage) in moderater Höhe (1500-3500m) zu einer Reduktion des Körpergewichts und Verlusten der Muskelmasse führen (Dünnwald et al., 2019), was wiederum das Verletzungsrisiko erhöhen kann. Diesen negativen Auswirkungen kann durch eine Optimierung der Ernährung mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz während dieser entscheidenden Trainingsphase sowie während der Saison entgegengewirkt werden.

Derzeit liegen keine sportartspezifischen Literaturdaten zum Energieumsatz im Alpinen Skisport in der Höhe vor.

Das übergeordnete Ziel des Projekts war es, die Energiebilanz im Alpinen Skisport beim Training in der Höhe sowie über den Saisonverlauf mittels multipler Messmethoden umfassend zu charakterisieren.

2 Methode

Die Energiebilanz von insgesamt 19 aktiven Skirennläufern (n = 9, 27 ± 3 Jahre) und Skirennläuferinnen (n = 10, 25 ± 3 Jahre) der Disziplinen Speed (Abfahrt und Super-G, n = 10) und Technik (Slalom und Riesenslalom, n = 9) wurde im Rahmen einer prospektiven Kohortenstudie während eines 5- bis 10-tägigen Untersuchungszeitraums im Rahmen eines Trainingslagers in der Höhe (Unterkunft: 1800 m; Training: 3500-4000 m) erhoben (Ziel 1). Des Weiteren wurden Veränderungen in der Körperzusammensetzung über den Verlauf der der Wettkampfsaison (Juni-März) in Kombination mit einer engmaschigen Erfassung des Körpergewichts charakterisiert (Ziel 2). Die Datenerhebung bestand aus 4 Visiterminen an der Technischen Universität München und einer engmaschigen Erhebung im Höhentrainingslager (Abb. 1). Der Energieumsatz während des Trainingslagers in der Höhe wurde mittels zweifach markiertem Wasser (doubly-labelled water; DLW), dem Goldstandard zur Energieumsatzbestimmung, erfasst. Um Aufschluss über die Energiebilanz zu erhalten, wurde zudem die Energiezufuhr der Athleten und Athletinnen erhoben. Zusätzlich wurden Leptin und Triiodthyronin (T3) als zentrale Marker der Energiebilanz erfasst.

Veränderungen in der Körperzusammensetzung wurden mittels Luftverdrängungsplethysmographie und Bioimpedanzanalyse erfasst. Der Ruheumsatz wurde mittels indirekter Kalorimetrie bestimmt. Tägliche Gewichtsdaten wurden durch den Einsatz standardisierter Bluetooth-Waagen unter Einhaltung eines vorgegebenen Wiegeprotokolls erhoben.

Die Veränderungen der Körperzusammensetzung und des Ruheumsatzes zu den Zeitpunkten vor (Pre) und nach dem Trainingscamp (Post) sind in Abbildung 2 dargestellt. Im Verlauf des Trainingslagers in der Höhe war ein signifikanter Anstieg des Körpergewichts (KG; $+0.9 \pm 1.4$ kg, $p = 0.011$) und der Fettmasse (FM; $+0.9 \pm 1.0$ kg, $p < 0.001$) zu beobachten.

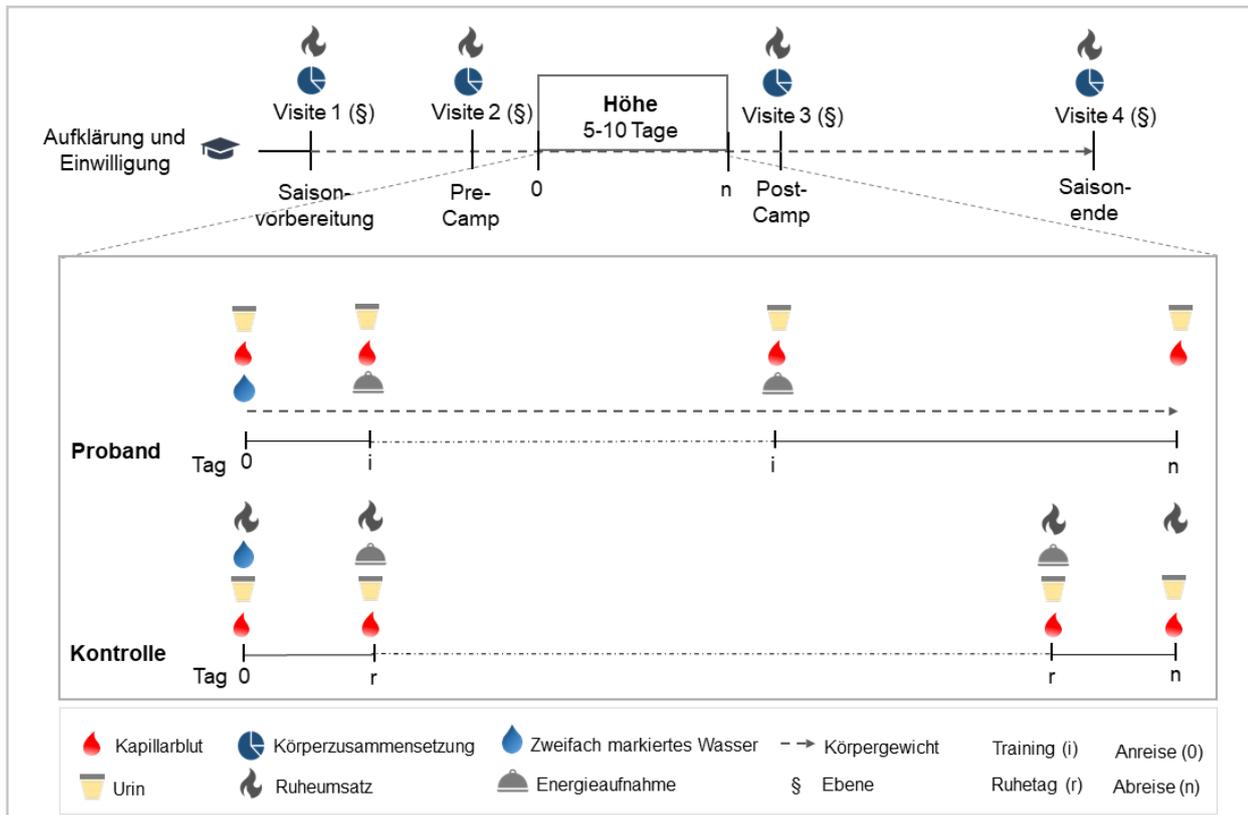


Abb. 1: Schema-Grafik Untersuchungsdesign

3 Ergebnisse

Der Energieumsatz der Athletinnen und Athleten betrug während des Messzeitraums in der Höhe durchschnittlich 4088 ± 895 kcal/d. Bei einer durchschnittlichen täglichen Energiezufuhr von 4375 ± 1223 kcal/d ergab dies eine positive Energiebilanz von 287 ± 827 kcal/d. Der Gesamtenergieumsatz der Speed-Gruppe war signifikant höher als der der Technik-Gruppe ($p = 0.03$). Zudem wurden beim Vergleich des Energieumsatzes ($p < 0.01$) und der Energiezufuhr ($p < 0.0001$) bei Männern und Frauen hochsignifikante Unterschiede beobachtet. Die höchsten Energieumsätze wurden bei Männern des Speed-Teams mit Höchstwerten von nahezu 5900 kcal/d beobachtet.

Es gab jedoch keine signifikante Veränderung der fettfreien Masse (FFM) oder der Skelettmuskelmasse (SMM; Abb. 2A). Bei der Untersuchung geschlechtsspezifischer Unterschiede zeichnete sich ein stärkerer Zuwachs von KG ($+1.32 \pm 1.30$, $p < 0.016$) und FM ($+1.5 \pm 0.8$, $p < 0.001$) bei Männern ab (Abb. 2D). Ebenso waren Veränderungen von KG ($+1.1 \pm 1.3$ kg, $p < 0.028$) und FM ($+1.3 \pm 0.9$ kg, $p = 0.002$) in der Speed-Gruppe ausgeprägter als in der Technik-Gruppe (Abb. 2C). Es wurden keine signifikanten Veränderungen des Ruheumsatzes (RMR) oder Respiratorischen Quotienten (RQ) zwischen den Zeitpunkten Pre und Post beobachtet (Abb. 2B). Es wurden keine signifikanten Veränderungen der Leptin- oder T3 – Konzentrationen während des Trainingslagers beobachtet.

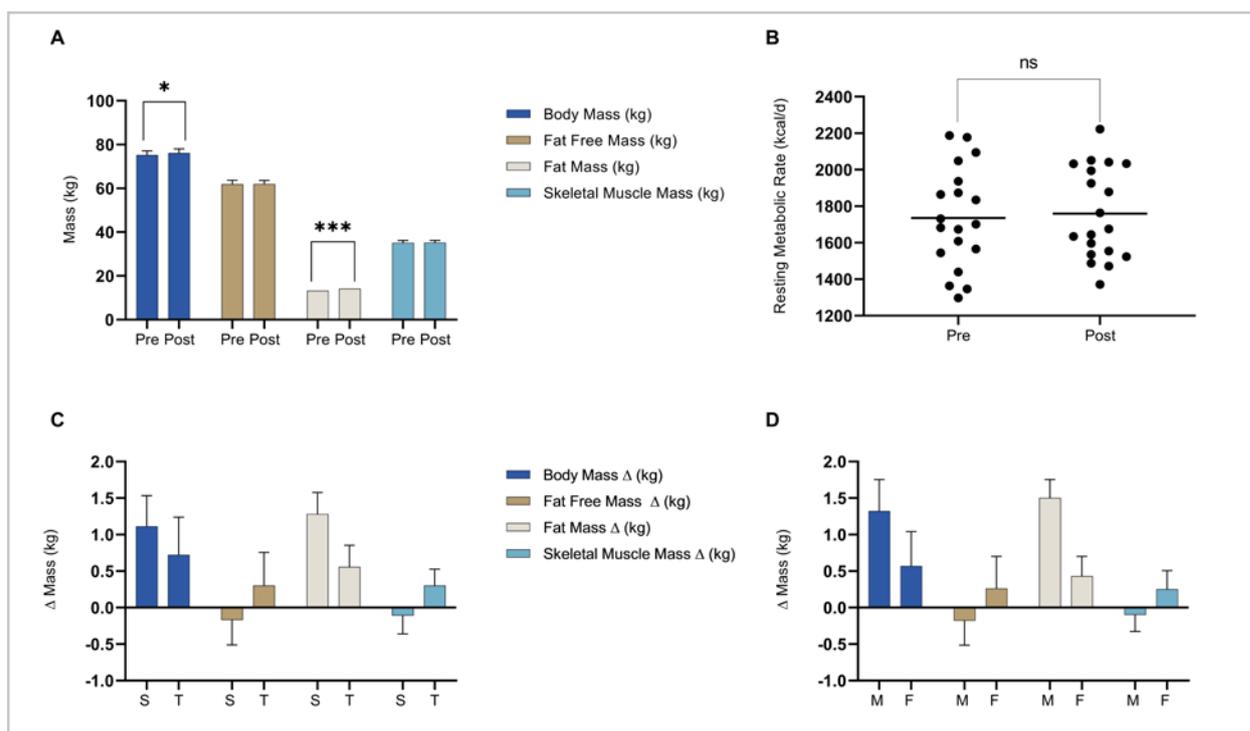


Abb. 2: Veränderung der Körperzusammensetzung (A Gesamt, C Disziplin, D Geschlecht) und des Ruheumsatzes (B) während eines Trainingslagers in der Höhe, Präsentiert als Mittelwert \pm SEM. * zeigt statistische Signifikanz von $P < 0.05$ an, ** zeigt statistische Signifikanz von $P < 0.01$ an, *** zeigt statistische Signifikanz von $P < 0.001$ an.

Die Veränderungen von Leptin korrelierten jedoch signifikant mit den Veränderungen der FM ($p = 0.049$). In der Speed-Gruppe korrelierten Veränderungen von T3 und mit Veränderungen der FFM ($p = 0.040$) und KG ($p = 0.070$).

Bei der Körperzusammensetzung konnten im Verlauf der Saison (Abb. 3, S. 4) keine statistisch relevanten Veränderungen von KG oder FM beobachtet werden. Allerdings kam es im Saisonverlauf zu einer signifikanten Reduktion der FFM (-0.7 ± 0.2 kg, $p = 0.007$) und SMM (-0.5 ± 0.6 kg, $p = 0.005$) (Abb. 3A), wobei ein Trend zu höheren Verlusten in FFM ($p = 0.09$) und KG ($p = 0.08$) bei Frauen erkennbar war (Abb. 3B). Der Ruheumsatz nahm über den Verlauf der Wettkampfsaison ab (-71 ± 124 kcal/d, $p = 0.033$; Abb. 3C), wobei die Abnahme bei Männern größer ausfiel als bei Frauen (Abb. 3D). Zwischen Speed- und Technik-Gruppe lagen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Veränderung der Körperzusammensetzung oder des Ruheumsatzes vor.

Die individuellen Gewichtsverläufe der Athletinnen und Athleten weisen hohe Heterogenität auf und zeigen, dass die Gewichtsveränderungen der Teilnehmenden im Saisonverlauf nicht linear verlaufen, sondern punktuell zu verschiedenen Zeitpunkten in der Saison auftreten.

4 Diskussion

Während eines 1- bis 2-wöchigen Trainingslagers in der Höhe wurde eine Zunahme des durchschnittlichen KG sowie der FM beobachtet, während die FFM und SMM stabil blieben. Die Zuwächse an FM und KG waren primär in männlichen Athleten und im Speed-Bereich zu beobachten und weisen auf eine positive Energiebilanz während des Untersuchungszeitraums hin. Diese Beobachtungen werden durch Veränderungen in den zentralen Blutmarkern Leptin und T3 bestätigt. Ein isolierter Effekt des Trainingslagers in der Höhe sollte basierend auf den vorhandenen Daten jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da nicht alle Untersuchungen direkt vor und nach dem Trainingscamp durchgeführt werden konnten.

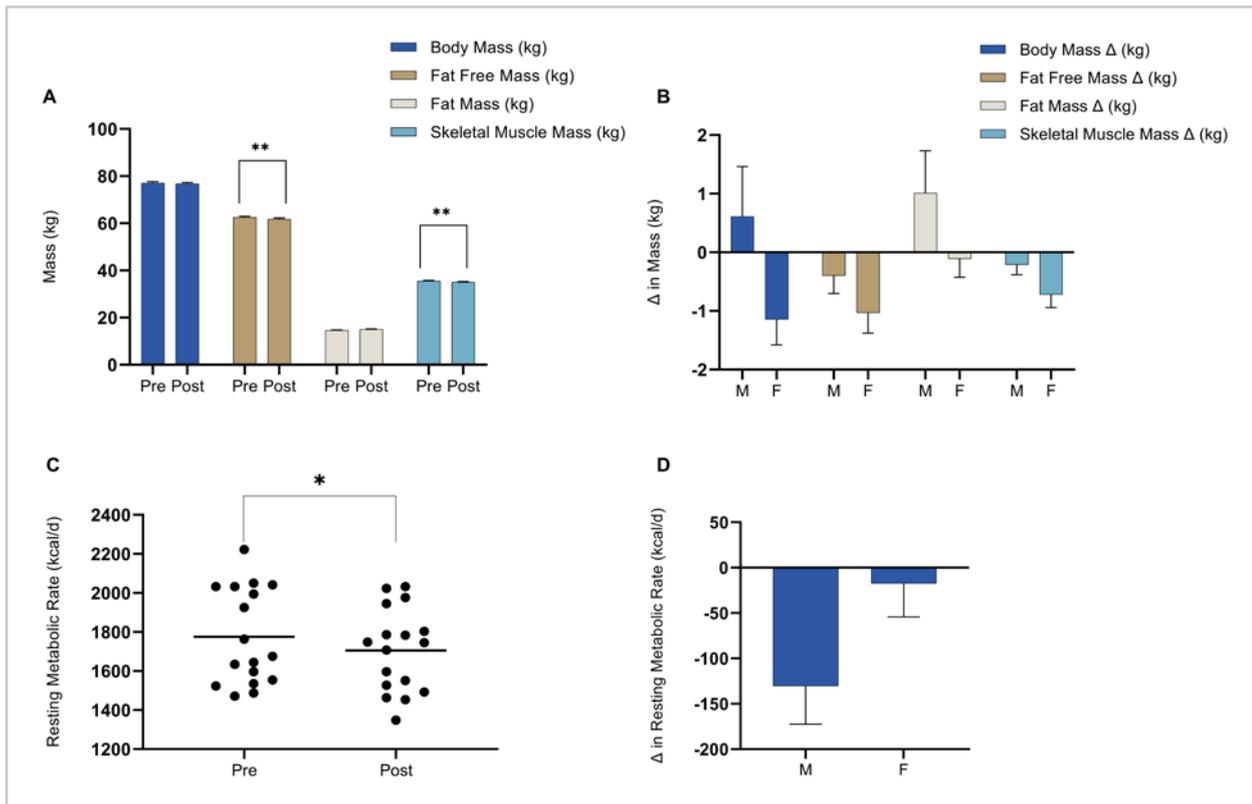


Abb. 3: Veränderung der Körperzusammensetzung (A Gesamt, B Geschlecht) und des Ruheumsatzes (C Gesamt; D Geschlecht) im Saisonverlauf, Post¹ entspricht dem Messzeitpunkt Post-Season; Präsentiert als Mittelwert \pm SEM. * zeigt statistische Signifikanz von $P < 0.05$ an; ** zeigt statistische Signifikanz von $P < 0.01$ an.

Es ist daher nicht auszuschließen, dass die Veränderungen der Körperzusammensetzung, insbesondere die starke Zunahme an KG und FM bei Männern und in der Speed-Gruppe, zum Teil durch eine frühere Trainingsphase zu erklären sind. Der Trend zu einer positiven Energiebilanz und die gleichbleibenden Werte für FFM und SMM weisen jedoch darauf hin, dass es auch unter extremen Bedingungen möglich ist, den Energiebedarf zu decken und leistungsrelevante Muskelmasse zu erhalten.

Eine dem durchschnittlichen Energieumsatz von 4088 ± 895 kcal am Tag entsprechende Energiezufuhr scheint durch die tägliche Einnahme von 4-5 Mahlzeiten sowie hochkalorischer Sportnahrung während des Trainings (4375 ± 1223 kcal) grundsätzlich zu erreichen sein. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die individuelle Energiebilanz mit einer Range von -851 kcal/d bis $+1960$ kcal/d sehr stark variiert.

Über den Saisonverlauf wurde bei alpinen Skirennläuferinnen und Skirennläufern eine signifikante Reduktion von FFM, SMM und RMR festgestellt, wobei die Gewichtsverläufe starke individuelle Unterschiede andeuten. Diese Daten weisen darauf hin, dass die untersuchten Athletinnen und Athleten den Energiebedarf von Training und Wettkämpfen unter extremen Bedingungen im Saisonverlauf phasenweise nicht decken konnten. Die beobachteten Verluste von FFM und SMM könnten zum einen durch den reduzierten Umfang von spezifischem Krafttraining während des Saisonverlaufs erklärt werden. Zudem könnten die hohen Anforderungen der Wettkampfphase, welche überwiegend aus Reisen besteht und hierdurch Abweichungen von normalen Routinen mit sich bringt, die konsequente Umsetzung von optimierten Ernährungsstrategien erschweren.

Unsere Daten zeigen stark individuelle Unterschiede zwischen allen Athletinnen und Athleten, obwohl alle während des Trainingslagers mit ähnlich extremen Anforderungen konfrontiert waren. Zusammenfassend sollte daher bei der Entwicklung angepasster Ernährungsstrategien der Fokus auf einen individuellen Ansatz gelegt werden, wenn es das Ziel ist, eine ‚optimale‘ Körperzusammensetzung kurzfristig im Trainingslager sowie langfristig über den Saisonverlauf aufrecht zu erhalten. Hierzu könnte es hilfreich sein, die Körperzusammensetzung standardmäßig und in regelmäßigen Abständen, insbesondere in entscheidenden Phasen der Saison, zu erfassen, um so Athletinnen und Athleten zu identifizieren, die ein höheres Risiko für Verluste an FFM und SMM aufweisen. Wenn notwendig sollten dann die entsprechenden Ernährungsinterventionen mit Fokus auf eine Verbesserung der Energiebilanz ergriffen werden, um negative Effekte auf die Leistung oder das Verletzungsrisiko zu vermeiden.

Im Rahmen des Wissenstransfers wurden die Ergebnisse den Disziplin-Trainern der Damen und Herren präsentiert, woraus sich direkte Ableitungen für die Versorgung in den Unterkünften ergaben, welche bereits im Rahmen der Saison 2021/22 umgesetzt werden. Neben einem angepassten Mahlzeit-Guide für Restaurants, wurde in Zusammenarbeit mit Mannschaftsköchen ein Konzept für zukünftige Gletscher-Trainingslager entwickelt und umgesetzt. Nach Vervollständigung der Datenerhebung im Verlauf der Saison wurden mit den Athletinnen und Athleten Einzelgespräche zur Vorbereitung auf das nächste Trainingslager in der Höhe geführt, wobei neben individuellen Ergebnissen praktische Empfehlungen zu Energie- und Makronährstoffzufuhr für nachfolgende Trainingslager besprochen wurden. Hierbei soll die direkte Zusammenarbeit mit den Teams langfristig weitergeführt sowie standardisierte Protokolle zur Erfassung der Körperzusammensetzung über den Saisonverlauf implementiert werden.

5 Literatur

- Dünnwald, T., Gatterer, H., Faulhaber, M., Arvandi, M., & Schobersberger, W. (2019). Body Composition and Body Weight Changes at Different Altitude Levels. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, *10*, 458. doi: 10.3389/fphys.2019.00430.
- Ferland, P.-M., & Comtois, A. S. (2018). Athletic Profile of Alpine Ski Racers. A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32* (12), 3574-3583. doi: 10.1519/JSC.0000000000002900.
- Gilgien, M., Reid, R., Raschner, C., Supej, M., & Holmberg, H.-C. (2018). The Training of Olympic Alpine Ski Racers. *Frontiers in Physiology*, *9*, 1772. doi: 10.3389/fphys.2018.01772.
- Heydenreich, J., Kayser, B., Schutz, Y., & Meller, K. (2017). Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season. A Systematic Review. *Sports Medicine – Open*, *3* (1), 968. doi: 10.1186/s40798-017-0076-1.
- Hill, N. E., Stacey, M. J., & Woods, D. R. (2011). Energy at high altitude. *Journal of the Royal Army Medical Corps*, *157* (1), 43-48. doi: 10.1136/jramc-157-01-08.
- 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), 571-575. doi: 10.1055/s-2003-43270.
- Polat, M. (2016). An examination of respiratory and metabolic demands of alpine skiing. *Journal of Exercise Science & Fitness*, *14* (2), 76-81. doi: 10.1016/j.jesf.2016.10.001.

Sondierung: Ersatz von synthetischen Zuschlagstoffen durch biologische Zuschlagstoffe für Reitböden im Spitzensport

(AZ 072006/20-21)

Olaf Hemker (Projektleitung), Charlotte Vornholt & Sigrid Bertelmann

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

1 Problem

Im Reitsport werden, besonders im Spitzensport, hauptsächlich Tretschichten aus Sand verwendet. Das Material für die Tretschicht, die oberste Schicht auf dem Reitplatz, besteht neben speziellen Sanden häufig auch aus Sand-Zuschlagstoff-Gemischen. Zuschlagstoffe sind entweder aus nachwachsenden Rohstoffen (biobasiert) oder auch auf fossiler Basis synthetisch hergestellt. Sie werden verwendet, um die sportfunktionellen Eigenschaften der Böden zu verbessern. Eine allgemeingültige Zielbeschreibung der Tretschichtbeschaffenheit gibt es nicht.

Die Hersteller der Reitböden verfügen über unterschiedlichste Erfahrungen und Ideen, aufgrund derer zahlreiche individuelle Lösungen zur Erreichung des optimalen Reitbodens entwickelt werden. Eine Bestandsaufnahme zum Material der synthetischen Zuschlagstoffe fehlt bisher.

Zuschlagstoffe werden durch die Nutzung des Reitplatzes einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt. Selbst Sandkörner aus Quarz verändern unter Schlag- sowie Reibungsbelastung ihre Form bzw. werden zerkleinert und zerrieben (Heinrich et al., 2010, S. 130 ff). Es ist davon auszugehen, dass auch die Zuschlagstoffe in der Sandtretschicht diesem Prozess unterliegen. Hinzukommen, je nach Lage des Platzes, witterungsbedingte Faktoren wie Temperaturschwankungen, UV-Licht und Niederschlag, die ebenfalls einen Einfluss auf Form, Größe und Struktur der Zuschlagstoffe haben können. Auch hier fehlt es an weiteren Erkenntnissen. Weiterhin ist davon auszugehen, dass ein unkontrollierter Austrag von Tretschichtmaterial stattfindet.

Ist die Tretschicht mit Zuschlagstoffen aufbereitet, werden auch diese auf umliegenden Flächen verteilt. Infolge von starker Zerkleinerung kann eine Auswaschung in tiefere Bodenschichten und in das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die Zerkleinerung bis hin zu Schwebpartikeln in der Luft führen kann. Daraus folgend stellt sich die Frage, ob eine erhöhte Staubentwicklung durch Trockenheit oder mangelhafte Belüftung bestimmte Erkrankungen der Atemwege mit sich bringt.

Um dem unkontrollierten Austrag von Kunststoffen entgegenzuwirken, wäre die Verwendung nachhaltigerer Materialien als Zuschlagstoff sinnvoll. Bisher ist jedoch kein Material bekannt, das ökologischer ist und in der Verwendung über die gleichen vorteilhaften Eigenschaften verfügt.

2 Methode

Das Forschungsvorhaben ist gemäß der Formulierung im Titel „Sondierung (Teil 1)“ so zu verstehen, dass im Wesentlichen der Sachstand zu den einzelnen Arbeitspaketen zu ermitteln ist. Dafür sind Literaturrecherchen und auch Umfragen durchzuführen. Eigene Feld- und Laboruntersuchungen können allenfalls den Charakter von orientierenden Untersuchungen aufweisen. In Anbetracht des Umfangs und des Schwierigkeitsgrades der einzelnen Arbeitspakete entstehen wahrscheinlich auch neue Fragen. Es wird ausdrücklich gewünscht, Wissensdefizite zu identifizieren und darauf aufbauende weitere Arbeitspakete und ggf. Forschungsvorhaben zu benennen.

Um allen Aspekten des Forschungsvorhabens Rechnung zu tragen wurden 6 Arbeitspakete identifiziert und separat bearbeitet.

3 Ergebnisse

3.1 AP 1 Sportfunktionelle Eigenschaften – Ermittlung und Erkenntnisse

Sportfunktionelle Eigenschaften bezeichnen das Verhalten des Reitbodens bei der Nutzung. Hier sind zum Beispiel die Scherfestigkeit, die Trittfestigkeit und die Dämpfungsfähigkeit zu nennen. Die Beschaffenheit der Tretschicht leistet einen entscheidenden Beitrag zur Leistungsfähigkeit der Pferde und zur Minderbelastung ihrer Bewegungsapparate.

Die Erwartungen und Anforderungen an eine Tretschicht sind vielschichtig und unterscheiden sich stark entsprechend ihrer Nutzergruppen. Sand kann als Tretschichtmaterial ausreichend sein. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass nur wenige Sande in Material, Kornform und Korngröße geeignet sind. Die Ressourcen sind begrenzt, was möglicherweise lange Transportwege und hohe Kosten bedingt. Hinzu kommt ein aufwändiges Wassermanagement. Zuschlagstoffe beeinflussen die Eigenschaften der Tretschicht und können so den Defiziten weniger geeigneter Sande entgegenwirken.

Die Definition der angestrebten sportfunktionellen Eigenschaften zeigt sich aus verschiedenen Gründen problematisch. So kommen in den Disziplinen unterschiedliche Ansprüche zum Tragen, und schon bei der Benennung herrscht Uneinigkeit. Überdies wird die Beschreibung dadurch behindert, dass noch keine einheitlichen Parameter festgelegt sind. Hierzu müssen auch Prüfmethode standardisiert werden.

3.2 AP 2 Materialerfassung von synthetischen Zuschlagstoffen

Die Umfrage zu den Produkten und zum Einsatz von Zuschlagstoffen richtete sich an ein Spektrum von etwa 40 Firmen, die an der Produktion und/oder der Herstellung eines Reitbodens beteiligt sind (Dunkelziffer fraglich).

Hier ergeben sich bei einem Feedback von etwa 50 % der Firmen zwar keine vollständig erschöpfenden Analysen, jedoch zeichnen sich Tendenzen ab.

Der entscheidende Vorteil der Zugabe von Zuschlagstoffen wird in der Verbesserung des Scherfestigkeitsverhaltens gesehen. Wasserspeichervermögen, Stabilität, Trittfestigkeit/Eindringtiefe sowie Elastizität werden als weitere wichtige Kriterien genannt. Ein Großteil der Angaben bezieht sich auf synthetische Zuschlagstoffe, obwohl die Umfrage ergebnisoffen formuliert war. Art, Qualität und Menge der eingereichten Produktunterlagen sind völlig heterogen. Einheitliche Bewertungsmaßstäbe liegen nicht vor.

Auch über Alternativen wird offensichtlich nachgedacht. Letztlich fehle es noch an Produkten, die Kunststoffe ersetzen können. Es zeigt sich, dass nach den Diskussionen der jüngsten Zeit diese Thematik als wichtiges Zukunftsthema für alle Akteure im Reitplatzbau betrachtet wird.

Empfehlungen zum Einbau synthetischer Zuschlagstoffe in den Reitsand sind wenig konkret formuliert und genügen nicht den erdbautechnischen Standards. Ein nachträgliches Aufbringen von synthetischem Zuschlagstoff kann infolge der Beanspruchung oder des Materialaustrages erforderlich sein. Die Zeiträume variieren von einem bis über 10 Jahre. Konkrete Mengenangaben liegen nicht vor. Der Massenanteil des Zuschlagstoffes in der Tretschicht beträgt den Angaben nach nur zwischen etwa 0,6 und 1,8 %. Das deutet bereits auf die besondere Problematik der versuchstechnischen Erfassung des Abrieb- und Zerfallverhaltens synthetischer Zuschlagstoffe hin.

3.3 AP 3 Abrieb und Zerfall von organischen und synthetischen Zuschlagstoffen

Mithilfe von orientierenden Versuchen können erste Aussagen über Größe, Form und Massenanteile von zerkleinerten Zuschlagstoffen und somit über deren Abrieb und Zerfall getroffen werden.

Durch Mikroskopie werden die Proben den Siebgrößen nach auf synthetische Fasern hin untersucht. Zusammenfassend ist zu sagen, dass in allen Größenbereichen sowohl Fäden der synthetischen Zuschlagstoffe als auch organische Bestandteile vorhanden sind.

Durch Verglühen wird der Massenanteil der Zuschlagstoffe festgestellt. Findet das Verglühen nach Siebgrößen statt, können auch auf diese Weise Rückschlüsse auf die Größenverteilung und so den Zerkleinerungsprozess möglich werden.

Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass in Tretschichten auch immer ein unkontrollierter Eintrag organischer Partikel aus Pferdeäpfeln, Laub o. ä. stattfindet. Die Trennung von organischen und synthetischen Bestandteilen mithilfe von Wasserstoffperoxid ist schwierig und mit Ungenauigkeiten behaftet. Eine Überlegung ist, aufgrund von Erfahrungswerten einen pauschalen Prozentsatz für die organischen Bestandteile anzusetzen.

Die Zerkleinerung aufgrund von mechanischer Belastung kann mit künstlichen Verschleißversuchen nachgestellt werden. Hier sind nach den Versuchen mit Tretschichtmaterial eines Reitplatzes in allen Korngrößenbereichen mehr Partikel des synthetischen Zuschlagstoffes zu finden als vorher.

3.4 AP 4 Emissionen von synthetischem Zuschlagstoff aus dem Reitboden – Analyse der Austragswege

Es werden sieben mögliche Austragswege identifiziert:

- › Austrag durch Hufe
- › Austrag über Pflegegeräte, z. B. Bahnplaner
- › Austrag über Wind und Pferdehufe – sichtbare Stoffe in der Umgebung des Platzes
- › Austrag über die Luft
- › Materialtransport in tiefere Bodenschichten

- › Austrag in Randbereiche (bei Plätzen mit horizontaler Entwässerung)
- › Entsorgung.

Langfristig betrachtet führt die Verbreitung persistenter, schwer abbaubarer Stoffe auch in kleinen Mengen zu einer Anreicherung im Boden, die problematische Konzentrationen erreichen kann. Vor diesem Hintergrund ist es notwendig, den unkontrollierten Austrag von Mikro Kunststoff einzudämmen und nach Möglichkeit zu verhindern.

Derzeit herrscht auf dem gesamten Gebiet rund um den Austrag von Mikro Kunststoffen aufgrund von anthropogenen Strukturen ein Wissensdefizit. So sind die Folgen der Belastung für die Umwelt und damit auch auf die aller Organismen nicht ausreichend geklärt. Des Weiteren gibt es keine klaren Aussagen über Mengen oder Art ausgetragener Kunststoffe. Für die Entsorgung wurden ebenfalls noch keine befriedigenden Methoden entwickelt.

3.5 AP 5 Gesundheitliche Auswirkungen auf Mensch und Tier

In Expertengesprächen wird die Einschätzung dreier Veterinäre eingeholt. Diese geben eine Einschätzung zu möglichen Gesundheitsrisiken ab, die mit Zuschlagstoffen in Verbindung gebracht werden könnten. Mit dem Hauptaugenmerk auf den Bewegungsapparat führt Swagemakers (2021) aus, dass ein zu harter, zu wenig federnder Boden zu große Kräfte auf die Gelenke, Sehnen und Bänder des Pferdes abgibt. Eine zu hohe Scherfestigkeit, ein stumpfer Boden, birgt außerdem die Gefahr, in Drehbewegungen traumatische Verletzungen hervorzurufen.

[Anm. d. Verf.: Heinrich et al. (2010, S. 159 ff) fanden heraus, dass durch die Zugabe von Zuschlagstoffen die Energierückgewinnung und Scherfestigkeit einer Tretschicht steigen, während der Kraftabbau sinkt.]

Außerdem können durch dauerhafte, starke Beanspruchung Verschleißerkrankungen die Folge sein. So ist ein tägliches Training auf nicht optimalen Bodenverhältnissen sicherlich von Nachteil für den Bewegungsmechanismus eines Pferdes.

Schusser (2021) legt den Fokus auf die Atemwege des Pferdes. Er sieht die Möglichkeit, dass das Auftreten von Equinem Asthma seit 1994 mit der Verbreitung von Zuschlagstoffen zusammenhängt. Diese früher eher selten auftretende Krankheit könne immer häufiger beobachtet werden.

Ihm liegen Aufnahmen von aktiven Makrophagen (Zellkerne aus den tiefen Atemwegen) mit unterschiedlichen Einschlüssen vor, wobei die Bestimmung am Bild durch Erfahrungswerte erfolgte. Die Partikel seien nicht näher untersucht worden, jedoch stellen sich einige genauso dar, wie die aus der Humanmedizin bereits bekannten Nanokunststoffpartikel.

Auch Dr. Bernhard Ohnesorge (2021) befasst sich schwerpunktmäßig mit den Atemwegen der Pferde. Zuschlagstoffe sowie auch Pferdeäpfel, wenn diese in zunehmender Menge vorhanden seien, führten zu Stäuben. Pferde bildeten eine eher unspezifische Überempfindlichkeitsreaktion aus, wobei der Zusammenhang nicht näher untersucht sei. Daher bestehe die Vermutung, dass Equines Asthma nicht nur aus Pilzsporen und Reaktionen herrühre, sondern auch aus Staub von Silikaten oder anderen Partikeln aus der Umgebung hervorgerufen werden könne.

3.6 AP 6 Alternative, biobasierte Zuschlagstoffe

Als biobasiert werden in diesem Kapitel die organischen Zuschlagstoffe, wie z. B. Holz oder Bambus, und die auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Biokunststoffe, wie z. B. PLA, bezeichnet.

Biobasierte Zuschlagstoffe können zwei Vorteile bieten. Sie schonen Ressourcen und sind im besten Falle auch biologisch abbaubar.

Organische und aus biologisch abbaubaren Kunststoffen bestehende Zuschlagstoffe unterliegen der Zerkleinerung durch die mechanische Belastung und auch dem natürlichen biologischen Abbauprozess.

Werden behandelte organische Zuschlagstoffe wie beispielsweise chemisch imprägnierte Holzhäcksel verwendet, verlangsamt sich der Abbauprozess, der möglicherweise Eigenschaften der Zuschlagstoffe in der Tretschicht verändert.

Durch Auswaschungen könnten hier Schadstoffe in die Umwelt ausgetragen werden.

Die biologische Abbaubarkeit von Biokunststoffen ist hingegen noch zu prüfen.

Feldversuche liefern nach einem Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe stark schwankende Ergebnisse von keinem bis vollständigem Abbau nach 2 Jahren. Der geringe Abbau von PLA im Boden stimmt mit den Ergebnissen von Laborversuchen überein, die „eine sehr geringe biologische Abbaubarkeit von PLA im Boden bei Raumtemperatur zeigen“. (UBA, 2018, S. 99)

Der Abbau ist von der speziellen Zusammensetzung des Kunststoffes selbst und den Umgebungsbedingungen abhängig. Dies wiederum lässt die Frage aufkommen, ob eine Verbreitung und Zerkleinerung dieser Zuschlagstoffe in der Umwelt schadlos ist. Eine „mögliche Belastung von Gewässern und Böden“ und eine „Akkumulation in der Umwelt“ sind nicht auszuschließen (Lechthaler, 2020, S. 56 f). Außerdem sind beispielsweise „der energieintensive Herstellungsprozess, der größere Materialbedarf im Vergleich zu herkömmlichen Kunststoffen, [sowie] in Teilen eine Konkurrenz [...] der biobasierten Rohstoffe mit der Nahrungsmittelherstellung“ zu bedenken (Lechthaler, 2020, S. 56).

In der Literatur finden sich unterschiedliche Feststellungen hinsichtlich der (Witterungs-) Beständigkeit von Biokunststoffen. Hier ist keine verallgemeinernde Aussage möglich. Dies ist bedingt durch die vielen verschiedenen produktspezifischen Eigenschaften, die diese je nach Zusammensetzung haben können. Temperaturen zwischen 50 °C und 60 °C, die in den beispielhaften Untersuchungen zu Materialveränderungen und damit ggf. zu Veränderungen der sportfunktionellen Eigenschaften führen, werden bei Tretschichten in Außenanlagen durchaus erreicht.

4 Diskussion

Für die sportfunktionellen Parameter sind einheitliche Begriffsdefinitionen erforderlich.

Es bedarf systematischer Versuchsreihen mit einer Auswahl vielversprechender Prüfgeräte.

Die Versuchsreihen sind nach Möglichkeit durch weitere Untersuchungen auf Reitplätzen zu ergänzen. So ist eine Überprüfung des Wassergehaltes notwendig, um die Ergebnisse einordnen zu können. Ebenso kann die Messung der vertikalen Verformung einen großen Beitrag leisten. Weiterhin ist bei der Prüfung des Reaktionsverhaltens von Tretschichten bei Belastung ein besonderes Augenmerk auf die Verwendung von Zuschlagstoffen zu richten. Hier sind Art, Menge und Veränderungen der Zuschlagstoffe von Bedeutung. In jedem Fall müssen alle Prüfgeräte mit Wiederholungsversuchen in statistisch ausreichender Anzahl zum Einsatz kommen.

In einem weiteren Schritt sollten ergänzende Untersuchungen überlegt werden, die eine Einordnung der gemessenen Werte unterstützen. Denkbar ist dies mit Hilfe von Vergleichsprüfungen durch die Beschleunigungsmessung oder eine Analyse von Videoaufnahmen. Eine Alternative wäre auch der Vergleich zu der subjektiven Beurteilung durch Reiterinnen und Reiter. So können schließlich Grenzwerte für die Messergebnisse geeigneter Prüfverfahren ermittelt werden. Dabei ist die Bandbreite zwischen sehr positiv und sehr negativ beurteilten Reiteigenschaften auszuschöpfen. Denkbar ist hier eine Aufnahme der Ergebnisse in die Überarbeitung des FLL-Regelwerkes.

In Bezug auf den weiteren Umgang mit Zuschlagstoffen sind einheitliche Anforderungen an die Inhalte von Produktunterlagen zu den synthetischen Zuschlagstoffen unter Bezugnahme auf geltende rechtliche Regelungen notwendig.

Neben den reinen Produkteigenschaften synthetischer Zuschlagstoffe sind insbesondere Betrachtungen zu den kombinatorischen Wirkungen aller Stoffe und Belastungen bei dem Einsatzzweck als Tretschicht erforderlich.

Hersteller können sich aktiver einbringen, z. B. durch verbesserte Außendarstellungen, Beteiligung an Forschungsvorhaben zur Weiter-/Neuentwicklung von Zuschlagstoffen, ggf. Einrichtung einer Interessenvertretung.

Darüber hinaus sind auch erdbautechnische Maßnahmen durch übliche Standards wie konkrete Einbauempfehlungen, Qualitätssicherungsmaßnahmen und Dokumentationen zu regeln.

Da im Rahmen des Forschungsprojekts die Zerkleinerung des Ausgangsmaterials nachgewiesen werden konnte, sollte in folgenden Versuchen auch überprüft werden, ob diese auch eine Veränderung der Eigenschaften im Sinne der dauerhaften Funktionserfüllung für den Sport nach sich zieht. Veränderungen sind in Verbindung mit den eingesetzten Reitsanden zu quantifizieren und im Hinblick auf die Gesundheit der Pferde und Sportler sowie hinsichtlich des Austragsverhaltens aus den Plätzen und möglicher Umweltauswirkungen in der Umgebung zu bewerten.

Die Problematik der entstehenden Mikrokunststoffe ist in allen Lebensbereichen gegenwärtig und bislang unzureichend untersucht.

Grundsätzlich sollte der unkontrollierte Austrag durch geeignete Maßnahmen so weit wie möglich unterbunden werden. Bei Verwendung synthetischer Zuschlagstoffe werden bauliche Maßnahmen wie eine ausreichend hohe, bauliche Umrandung der Plätze empfohlen. Zudem ist die Pflege der Tretschicht, besonders die Bewässerung, sowohl für die Gesundheit von Pferd und Reitenden als auch zum Schutz der Umwelt von größter Wichtigkeit.

Um die Staubbelastung durch die einzelnen Bestandteile der Tretschicht erkennen und bewerten zu können, wären nähere Untersuchungen des Staubes und der eingeatmeten Partikel interessant. Hier wäre auch eine Kooperation mit der Tierärztlichen Hochschule Hannover möglich (Ohnesorge, 2021).

Die Nutzung von biobasierten Zuschlagstoffen kann zu einer Verbesserung der sportfunktionellen Eigenschaften führen. Die gewünschten Abbauprozesse sind jedoch gegebenenfalls von Nachteil, wenn damit ein Verlust der sportfunktionellen Eigenschaften einhergeht.

Außerdem sind Biokunststoffe möglicherweise in Bezug auf die angestrebte Nachhaltigkeit bzw. Umweltfreundlichkeit problematisch. Nach Lechthaler bieten Biokunststoffe „noch keine ausreichende Lösung als Ersatzmaterial und führen zu neuen, bisher nicht bekannten Problemen“ (Lechthaler, 2020, S. 57).

5 Literatur

- Heinrich, T., Hemker, O., & Große Erdmann, P. (2010). *Qualität und Dauerhaftigkeit von Reitplatzaufbauten: Sportfunktionale und bodenmechanische Betrachtungen unter den Gesichtspunkten Nutzung, Alterung und Horizontbildung der Reitplätze*. EFRE Forschungsbericht. Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaft und Landschaftsarchitektur.
- FLL (Hrsg.). (2014). *Reitplatzempfehlungen: Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Reitplätzen* (2. Ausg. Februar 2014). Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau.
- Lechthaler, S. (2020). *Makroplastik in der Umwelt. Betrachtung terrestrischer und aquatischer Bereiche*. [1. Auflage]. Springer Fachmedien Wiesbaden (essentials).
- UBA (Hrsg.). (2018): *Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abruf unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer>

Persönliche Gespräche

- Ohnesorge, B., Apl. Prof. Dr. (11. Februar 2021). Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Schusser, G. F., Prof. Dr. Dipl. ECEIM (01. Februar 2021). Ehem. Universität Leipzig.
- Swagemakers, J. H., Dr. (18. März 2021). Tierklinik Lüsche.

Segel Richtung Zukunft! Entwicklung eines Programms zur Begleitung des Offboardings mit dem Deutschen Segler-Verband

(AZ 072009/20-21)

Nadine Thomas¹, Franziska Naumann¹, Ole Benthien² & Ralf Brand (Projektleitung)³

¹Beratungsbüro Thomas, Landau

²Sportpsychologische Beratung, Coaching & Organisationsentwicklung, Neustadt

³Professur für Sportpsychologie, Universität Potsdam

1 Ausgangslage

Der Ausstieg aus dem Leistungssport, geplant oder unfreiwillig, ist für Leistungssportlerinnen und Leistungssportler eine bedeutsame Phase ihrer Sportkarriere (z. B. Wylleman, Alfermann & Lavalley, 2004). Während sie zum Ende ihrer Sportlaufbahn eine (sportartspezifische) Expertenrolle innehatten, müssen sie diese nun aufgeben. Im Leistungssport anschließenden Lebensabschnitt gilt es, andere gesellschaftliche und persönliche Rollen einzunehmen, neue Strukturen aufzubauen und sich einem Umfeld und Leben außerhalb des Leistungssports zuzuwenden.

1.1 Offboarding als kritisches Lebensereignis

Für manche Personen geht der Übergang mit positiven Gefühlen und erfolgreichen Anpassungsprozessen einher – andere hingegen haben deutlich Schwierigkeiten (z. B. Alfermann & Stambulova, 2007; Taylor & Ogilvie, 2001). Für Letztere stellt die Trennungsphase nicht selten ein kritisches Lebensereignis dar, das von psychischer Instabilität und einem niedrigen Wohlbefinden begleitet wird (Alfermann, 2000). Die Athletinnen und Athleten werden sprichwörtlich „aus der Bahn geworfen“. Regulationsmechanismen, die zuvor den Erhalt ihres Gleichgewichts zwischen ihnen und der Umwelt erhielten, greifen nicht mehr (vgl. Filipp & Aymanns, 2018; Filipp & Ferring, 2002).

Vor allem diejenigen, die verletzungsbedingt aus dem Leistungssport ausscheiden müssen, scheinen in dieser Phase sogar anfällig für die Entwicklung psychischer Störungen zu werden (Rice et al., 2016).

1.2 Faktoren für den gelingenden Übergang in die neue Lebensphase

Wie gut der Trennungsprozess gelingt, hängt stark von individuellen *adaptiven Bewältigungsstrategien* ab (Alfermann & Stambulova, 2007; Park, Lavalley & Tod, 2013; Wylleman & Reints, 2010). Dabei dürften die duale Laufbahn bereits eine hohe *Resilienz* und das zweite Standbein als *Schutzfaktoren* für die Anpassungssituation mitbringen (vgl. Häbler, 2019). Zudem werden Athletinnen und Athleten generell hilfreiche Kompetenzen zugesprochen, wie etwa eine hohe Leistungsfähigkeit unter Druck, Problemlösefähigkeiten, Selbstmotivation oder hohes Engagement (siehe z. B. Mayocchi & Hanrahan, 2000). Und auch aus der eigenen Arbeit im Nachwuchssegelsport (AZ: 071004/17-18, AZ: ZMVI4-072033/18-19) wissen wir, dass beispielsweise Seglerinnen und Segler täglich einige psychologische Schlüsselkompetenzen trainieren, die in der Anpassungsphase (z. B. Handlungsorientierung, Zuversicht, Furchtlosigkeit), wie auch für den Erfolg in der nachsportlichen Phase (Selbstdisziplin, Ausdauer, Zeitmanagement) hilfreich sein können.

Ein Transfer dieser im Sport erworbenen Erfahrungen und Fähigkeiten auf den Anpassungsprozess und z. B. den Arbeitsalltag außerhalb des Sports scheint jedoch nicht allen zu gelingen.

Eine Ursache mag darin liegen, dass manchen Athletinnen und Athleten das Bewusstsein für die übertragbaren Fähigkeiten und die Übung der Anwendung in einem anderen Kontext fehlen (Danish, Petitpas & Hale, 1993; Debois, Ledon & Wylleman, 2015; Mayocchi & Hanrahan, 2000). Daher wird empfohlen, in der Übergangsphase durch gezielte *Beratungsleistungen* Unterstützung anzubieten (Debois et al., 2015; Mayocchi & Hanrahan, 2000; McKnight et al. 2009; Murphy, 1995; Wylleman et al. 2004).

In der Wirtschaftswelt ist solch ein Trennungsmanagement (Exit-Management; Offboarding) heutzutage Bestandteil strategischen Personalmanagements, um einen positiven Übergang in die Zukunft zu ermöglichen (z. B. Rascher, 2017). Warum nehmen nicht auch Spitzenverbände mit der Gestaltung einer *professionellen Trennungskultur* das Wohlbefinden und die psychische Stabilität ihrer Athletinnen und Athleten in den Blick?

1.3 Verbände als Unterstützer eines gelingenden Lebensphasenüberganges

Was in den Athletinnen und Athleten in der Phase des Ausstiegs vor sich geht, können Spitzensportverbände stark mitbeeinflussen, indem sie Hilfe anbieten und das Offboarding aktiv mitgestalten. Sie können vor und während der Trennungsphase mittels unterschiedlicher Unterstützungsleistungen die Sensibilisierung, Bewusstmachung und Selbstreflexion mit Blick auf die bevorstehenden Herausforderungen, vorhandenen und notwendigen Kompetenzen und Handlungsmöglichkeiten anregen.

2 Zielstellung

Ziel des Service-Forschungsprojektes war die Entwicklung, Durchführung und wissenschaftliche Begleitung eines unterstützenden Veranstaltungsprogramms für *Perspektiv- und Olympiakader* zur Gestaltung von Trennungsprozessen beim Schritt in die nachsportliche Zukunft (Offboarding). Dabei ging es uns primär um die Ermöglichung erfolgreicher psychologischer Praxis innerhalb dieser wichtigen Phase

sportlicher Laufbahnen, die wissenschaftlich insbesondere zum Zweck des späteren Wissenstransfers begleitet wurde.

Das entwickelte Programm soll zu einer positiven verbandsinternen Trennungskultur beitragen und nimmt die psychische Stabilität und das Wohlbefinden der *Athletinnen und Athleten am Karriereende* in den Blick. Erarbeitet und erprobt wurde es am Bundesstützpunkt Segeln in Kiel gemeinsam mit dem Deutschen Segler-Verband (DSV) als Kooperationsverband. Durch einen Leitfaden wird der Transfer in andere Verbände möglich gemacht.

2.1 Unterstützungsprogramm „Segel Richtung Zukunft!“

In unterschiedlichen Zukunftsveranstaltungen über einen mehrmonatigen Zeitraum hinweg soll Athletinnen und Athleten des Perspektivkaders (präventiv) und Olympiakaders (akut)

- eine gezielte, frühzeitige und konstruktive Auseinandersetzung mit dem Übergang in die nachsportliche Lebensphase ermöglicht werden,
- psychoedukatives Wissen vermittelt sowie selbst- und anwendungsbezogenes Wissen bewusstgemacht werden, das ihnen helfen kann, die Schwellsituation erfolgreich zu managen sowie
- einen „inneren Kompass“ zu erarbeiten, der Sicherheit und Orientierung ermöglichen kann und sich bereits vor dem Ende der Sportkarriere in unterschiedlichen außersportlichen Kontexten erproben lässt.

Im Ergebnis etablieren wir damit ein multifaktorielles Unterstützungssystem, das inhaltlich unterschiedliche Schwerpunkte setzt und für unterschiedliche Situationen und Bedürfnisse eine Werkzeugkiste bereithält. Für den DSV bietet das Programm einen psychologischen Ansatz, den komplexen Anforderungen gerecht zu werden.

3 Projektverlauf

Die Erreichung des Projektziels wurde in unterschiedlichen Phasen vorgenommen: Die bedarfsorientierte Konzeption der Veranstaltungsreihe (Projektphase 1) und die Entwicklung eines Kompetenzmodells für den Elite-Bereich im olympischen Segelsport (Projektphase 2) dienten der Vorbereitung. Darauf aufbauend erfolgten die Durchführung, Erprobung und Implementierung der Veranstaltungsreihe (Projektphase 3). Am Projektende stand die wissenschaftliche Überprüfung des Programms auf die postulierte Wirkung (Projektphase 4) und die Generalisierung ausgewählter Projektergebnisse zur Ausarbeitung eines Leitfadens, um die Nachhaltigkeit und Transfermöglichkeit sicherzustellen (Projektphase 5).

Aufgrund der Thematik war auf Seiten der Projektdurchführenden ein interdisziplinäres Team mit Einblick in die Wirtschaft als auch den Spitzensport gefragt. Dieses Team, besetzt mit Persönlichkeiten aus Sportpsychologie und Wirtschaftspsychologie, war für die Umsetzung der Schritte bei der Entwicklung, Durchführung und wissenschaftlichen Begleitung zuständig. Es wird im Folgenden zusammenfassend mit Team Psychologie bezeichnet.

3.1 Co-kreative Konzeption der Veranstaltungsreihe

Die Startphase diente der interdisziplinären Entwicklung der Veranstaltungsreihe „Segel Richtung Zukunft!“. Hierzu fanden am Stützpunkt in Kiel co-kreative Workshops statt (vgl. Payne, Storbacka & Frow, 2008), um unterschiedliche Erfahrungen und Perspektiven einfließen zu lassen. Das Team Psychologie wurde hierbei zu einem Projektteam ergänzt durch: die Referentin für Leistungssport im DSV, der für den Olympiakader zuständigen Laufbahnberaterin des DOSB, einem Bundesstützpunkt-Trainer sowie aktive Athletinnen und Athleten aus dem Olympiakader. Das Projektteam widmete sich der strukturellen und organisatorischen Planung. Die inhaltlichen und methodischen Details der einzelnen Veranstaltungen übernahm das Team Psychologie.

Da zum Zeitpunkt der Veranstaltungsdurchführung (Projektphase 3) die pandemische Lage (Corona-Pandemie) keine Treffen in Gruppen mehr zuließ, wurden die ursprünglich geplanten Präsenz-Formate kurzfristig in digitale Veranstaltungen transformiert. Hierbei wurde die räumliche/örtliche Unabhängigkeit ausgeschöpft, das heißt, die geplanten Veranstaltungsinhalte auf sieben digitale Sessions verteilt und auch didaktisch dem neuen Format angepasst.

In dieser Projektphase kam das Know-how unserer Arbeitsgruppe als Transferleistung aus dem BISp-Service-Forschungsprojekt „Sport mit Perspektive“ (AZ: ZMVI4-072033/18-19) zum Einsatz, das die Professionalisierung des Onboarding-Prozesses im Blick hatte.

3.2 Entwicklung des Kompetenzmodells Elite

Um einen Ein- und Überblick derjenigen psychologischen Eigenschaften und Kompetenzen, zu erhalten, die relevant für die Spitzenleistung im Segelsport sind, wurde ebenfalls zur Vorbereitung der Veranstaltungen, mit dem DSV eine Anforderungsanalyse (vgl. Benthien, Thomas & Brand, 2019) durchgeführt. Ziel war es, empirische anforderungsrelevante Informationen über den Segelsport im Elite-Bereich zu sammeln und zu analysieren. Als Teilnehmende wurden Personen ausgewählt, die über Expertise im definierten Bereich (Spitzensport Segeln) verfügen (Trainerinnen und Trainer, Athletinnen und Athleten). Die gesammelten Informationen sollten Aufschluss darüber geben, welche psychologischen Kompetenzen im Segelsport tagtäglich trainiert werden. Sie wurden im Anschluss an die Anforderungsanalyse gemeinsam mit den Teilnehmenden in ein Kompetenz- und Rollenmodell überführt. Das Modell fand als wesentlicher Baustein der Zukunftsveranstaltungen Anwendung und beinhaltete Rollen wie beispielsweise: den Teamplayer, die Organisatorin, den Leader, die Selbstbewusste, den Ironman oder die Wettkämpferinnen. Es beschreibt eine Vielzahl unterschiedlicher Rollen, in denen die Seglerinnen und Segler täglich agieren, an die unterschiedliche Erwartungen gestellt sind, die unterschiedliche Aufgaben und Fokusbereiche übernehmen und die mit unterschiedlichen Kompetenzen ausgestattet sind.

Das Know-how zur Anforderungsanalyse transferierten wir aus unserem BISp-Antragsprojekt zur Entwicklung eines Qualitätsmanagementsystems sportpsychologisch unterstützter Talententwicklung (AZ: 071004/17-18).

3.3 Durchführung und Implementierung der Veranstaltungsreihe

Im Anschluss an die beiden ersten Projektphasen standen den Athletinnen und Athleten *sieben digitale Sessions* zur Auswahl, die wichtige persönliche und sozial vermittelnde Ressourcen im Segelsport in den Blick nahmen. Inhaltlich waren sie auf der Grundlage des Kompetenzmodells (Projektphase 2) und Facetten der Resilienz (z. B. Heller, 2019; Reivich & Shatté, 2002) entwickelt worden. Dabei ging es beispielsweise um handlungsbezogene Ressourcen, selbstbezogene Ressourcen, Ressourcen im Umgang mit Stress und Emotionen sowie soziale Kompetenzen. Die Athletinnen und Athleten erhielten in den Veranstaltungen die Möglichkeit innerpsychische Prozesse und Strukturen anzuschauen, die sie im Sport entwickeln und trainieren und die ihnen auch außerhalb des Sports als Ressourcen und Schutzfaktoren dienen können. Die Inhalte der Veranstaltungen waren so gewählt, dass sie zur Auseinandersetzung mit der eigenen Identität einladen und darin unterstützen, sich die eigenen Ressourcen bewusst und sichtbar zu machen und dabei Zusammenhänge zwischen dem Sport und der Arbeitswelt zu erkennen.

Die Erprobung der Veranstaltungsreihe erfolgte im Winter 2020/21 mittels eines Videotelefonkonferenz-Softwareprogramms. Für den Inhalt und die Moderation zuständig waren wir als Team Psychologie. In unserem Fokus stand die interdisziplinäre Gestaltung dieser oben beschriebenen bedarfsorientierten Lernräume, in denen nicht nur die Introspektion der Athletinnen und Athleten gefördert wurde, sondern auch ein sozialer Dialog aller Beteiligten. Zum Einsatz kamen Methoden aus der Personalentwicklung sowie sportpsychologische Beratungsstrategien. Zur Impulsgebung hat es sich als erfolgreich erwiesen, verschiedene Perspektiven aufzuzeigen: Neben uns im Team Psychologie waren auch die Laufbahnberaterin sowie ehemalige Athletinnen und Athleten, die bereits im Arbeitsleben Fuß gefasst hatten, dabei.

Die Anzahl Teilnehmender variierte von Session zu Session. Sie reichte von 3 bis 10 Personen. Ein Großteil der Sessions war voneinander unabhängig konzipiert, so dass die Interessierten ihre Teilnahme flexibel wählen konnten, je nachdem, welche Themen sie für die eigene „Navigation“ als wertvoll empfanden.

3.4 Projektevaluation

Im Rückblick zeigte sich, dass das Interesse der Aktiven aus dem Perspektiv- und Olympiakader des DSV an den konzipierten Veranstaltungen nicht groß war. Gründe dafür können vielfältig sein; unsere Nachforschungen lassen vermuten, dass sich nicht alle Athletinnen und Athleten während der aktiven Laufbahn schon mit dem Ende beschäftigen möchten, sondern den Fokus voll und ganz auf das aktuelle Geschehen legen. Inwieweit die Veranstaltungsreihe gelungen ist, wurde im Anschluss via Online-Befragung aus Perspektive der teilgenommenen Perspektiv- und Olympiakader erfasst. Zudem wurde die Wirkung der Veranstaltungen mit Blick auf unterschiedliche Empfindungen und Einstellung gegenüber dem Karriereende erhoben. Hierbei zeigte sich, dass die Inhalte als spannend und bereichernd wahrgenommen wurden, zur Auseinandersetzung mit den eigenen Stärken und Ressourcen anregten, die Zusammenhänge zwischen dem Segelsport und der Arbeitswelt deutlich machten sowie das interaktive Arbeiten als auch der Austausch geschätzt wurden.

3.5 Leitfaden

Die Erfahrungen und Ergebnisse mündeten in einen Leitfaden, der die Nachhaltigkeit des Programms sichern und weitere Spitzensportverbände und sportpsychologischen Expertinnen und Experten zur Durchführung ähnlicher Offboarding-Programme ermutigen soll. Für den Leitfaden wurden organisatorische und inhaltliche Punkte, die sich als erfolgsversprechend erwiesen haben, sowie strukturelle Aspekte und Überlegungen zusammengetragen und systematisch aufbereitet.

4 Fazit und Ausblick

Im vorliegenden Projekt stand die Ausstiegsphase zum Übergang in die nachsportliche Lebensphase im Fokus. Aus psychologischer Perspektive wurde das „Offboarding aus dem Leistungssport“ im kooperierenden Spitzenverband professionalisiert. Das Projekt konnte sehr gut an unsere vorausgegangene Arbeit zum Onboarding (AZ: ZMVI4-072033/18-19) und zur Erstellung von Anforderungsprofilen (AZ: 071004/17-18) anknüpfen und das gemeinsam erarbeitete Wissen aus dem Nachwuchsbereich in den Perspektiv- und Olympiakader des olympischen Segelns transferiert werden. Mit der zielgerichteten Entwicklung des Programms zur Förderung der psychischen Stabilität beim „Offboarding“ wurde der positive Wandel einer ganzheitlichen Professionalisierung weiter vorangetrieben.

Die persönlichen Rückmeldungen und die Evaluation zeigen, dass das Thema „Karriereende“ für manche Athletinnen und Athleten bereits während der aktiven Laufbahn ein wichtiges Thema ist, das sich lohnt, frühzeitig aufgegriffen zu werden. Zusammenfassend ist uns mit dem entwickelten Programm „Segel Richtung Zukunft“ ein informatives, ansprechendes und interessantes Format gelungen, das bei den Teilgenommenen gut ankam. Die Veranstaltungen haben „mich selbstbewusster in Bezug auf meine Stärken“ gemacht und „vor Augen geführt, was ich alles leiste in meinem Alltag als Sportler und wie hilfreich das auch im späteren Leben sein kann“ so der O-Ton eines Athleten. Deutlich wurde dabei, dass auch Gespräche und die Erfahrungsberichte ehemaliger Athletinnen und Athleten wichtig sind.

Perspektiven aufgezeigt zu bekommen, eine Idee davon zu erhalten, wie es nach dem Leistungssport weitergehen könnte, ist für manche Aktive auch ein wichtiger Punkt, wenn es um die Entscheidung pro oder contra der Weiterführung der Leistungssportlaufbahn geht. Mit einem solchen Offboarding-Programm können auch diese Personen frühzeitig mit relevanten Einblicken und umfassenden Informationen zur Laufbahn nach dem Leistungssport versorgt werden, damit sie ihre Entscheidungen nicht unüberlegt und aus der Angst heraus treffen.

5 Literatur

- Alfermann, D. (2000). Causes and consequences of sport career termination. In D. Lavallee, & P. Wylleman (Eds.), *Career transitions in sport: International perspectives* (pp. 45-58). Fitness Information Technology.
- Alfermann, D., & Stambulova, N. (2007). Career transition and career termination. In G. Tenenbaum, & R. C. Eklund (Eds.), *Handbook of sport psychology* (pp. 712-736). Wiley.
- Benthien, O., Thomas, N., & Brand, R. (2019). Entwicklung, Implementierung und Evaluation eines Qualitätsmanagementsystems sportpsychologisch unterstützter Talententwicklung mit dem Deutschen Segler-Verband. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.) *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2018/19* (S. 91-96). Bonn.
- Danish, S. J., Petitpas, A. J., & Hale, B. D. (1993). Life development intervention for athletes: Life skills through sport. *The Counseling Psychologist*, 21, 352-385.
- Debois, N., Ledon, A., & Wylleman, P. (2015). A lifespan perspective on the dual career of elite male athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, 21, 15-26.
- Filipp, S.-H., & Aymanns, P. (2018). *Kritische Lebensereignisse und Lebenskrisen. Vom Umgang mit den Schattenseiten des Lebens*. Kohlhammer.
- Filipp, S.-H., & Ferring, D. (2002). Die Transformation des Selbst in der Auseinandersetzung mit kritischen Lebensereignissen. In G. Jüttemann & H. Thomae (Hrsg.), *Persönlichkeit und Entwicklung* (S. 191-228). Beltz.
- Häbler A. (2019) Belastbarer im Studium durch Sport – Möglichkeiten der Resilienzförderung im Lebensabschnitt Studium durch sportliche Aktivität. In: A. Schneider, & T. Wendeborn (Hrsg.) *Spitzensport und Studium. Angewandte Forschung im Sport*. Springer.
- Heller, J. (2019). *Resilienz für die VUCA-Welt*. Springer.

- Mayocchi, L., & Hanrahan, S. J. (2000). Transferable Skills for Career Change. In D. Lavallee, & P. Wylleman (Eds.), *Career transitions in sport: International perspectives* (pp. 95-110). Fitness Information Technology.
- McKnight, K., Bernes, K., Gunn, T., Chorney, D., Orr, D., & Bardick, A. (2009). Life after sport: Athletic career transition and transferable skills. *Journal of Excellence*, 13, 63-77.
- Murphy, S. M. (1995). Transition in competitive sport: maximizing individual potential. In S. M. Murphy (Ed.), *Sport psychology interventions* (pp. 331-346). Human Kinetics.
- Park, S., Lavallee, D., & Tod, D. (2013). Athletes' career transition out of sport: A systematic review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6, 22-53.
- Payne, A. F., Storbacka, K., & Frow, P. (2008). Managing the co-creation of value. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36, 83-96.
- Rascher, S. (2017). Die Gestaltung einer achtsamen Trennungskultur als Führungsaufgabe – Outplacement als zukunftssicherndes Instrument der Personal- und Organisationsentwicklung. In C. von Au (Hrsg.), *Führung im Zeitalter von Veränderung und Diversity* (S. 195-220).
- Reivich, K., & Shatté, A. (2002). *The resilience factor: 7 essential skills for overcoming life's inevitable obstacles*. Broadway Books.
- Rice, S. M., Purcell, R., De Silva, S., Mawren, D., McGorry, P. D., & Parker, A. G. (2016). The mental health of elite athletes: A narrative systematic review. *Sports Medicine*, 46, 1333-1353.
- Taylor, J., & Ogilvie, B. (2001). Career termination among athletes. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas, & C. M. Janelle (Eds.), *Handbook of sport psychology* (pp. 672-691). Wiley.
- Wylleman, P., Alfermann, D., & Lavallee, D. (2004). Career transitions in sport: European perspectives. *Psychology of Sport and Exercise*, 5, 7-20.
- Wylleman, P., & Reints, A. (2010). A lifespan perspective on the career of talented and elite athletes: perspectives on high-intensity sports. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 20, 88-94.

Entwicklung eines mobilen Sensorsystems zur Erfassung und Rückmeldung von Laufmündungsbe- wegungen beim Trockentraining im Biathlon

(AZ 072010/20-21)

Johannes Link¹, Nils Roth¹, Björn Eskofier¹ (Projektleitung) & Nico Espig²

¹Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Machine Learning and Data Analytics Lab,

²Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT), Leipzig, Germany

1 Problemstellung

Die komplexe Biathlonleistung setzt sich aus den Komponenten Laufgeschwindigkeit, Schießstandaufenthalt (Schießstand- und Schießzeit) sowie dem Schießergebnis zusammen (Nitzsche, 1998). Im Rahmen von standardisierten Wettkampfanalysen werden die Anteile der verschiedenen Leistungskomponenten der Wettkampfleistung an der komplexen Biathlonleistung regelmäßig überprüft. Abb. 1 zeigt auf der Basis von Regressionsanalysen, beispielhaft für den Juniorenbereich, die Anteile der Teilleistungen bei den Einzeldisziplinen im Rahmen der Juniorenweltmeisterschaft 2019, jeweils für die Ränge 1-30. Es wird deutlich, dass die Zeit für Schießfehler neben der Laufzeit den größten Einfluss auf das Gesamtergebnis hat, im Einzelwettkampf sogar die wichtigste Teilleistung ist.

Die o. g. Wettkampfanalysen der letzten Jahre zeigen auch, dass sich die für eine Podiumsplatzierung notwendige Trefferquote kontinuierlich erhöht. 2009 wurde eine erforderliche Trefferquote von 90-95 % bei entsprechend schneller Schießzeit als Prognoseleistung abgeleitet (Wick, 2009). Schon bei den Olympischen Winterspielen 2014 und 2018 lagen alle Podiumsplatzierten bei Trefferquoten von über 95 %. Dieser Trend hält unvermindert an.

Die verschiedenen Schießtechnikelemente werden im Schießtechniktraining im Hinblick „auf die angestrebte sportliche Leistung und ihre Struktur“ ausgebildet (Nitzsche, 1998). D. h., das Schießtraining beruht auf der exakten Kenntnis der Wettkampfanforderung und bewegt sich inhaltlich zwischen den Schwerpunkten Genauigkeit und Schnelligkeit des Schießens.

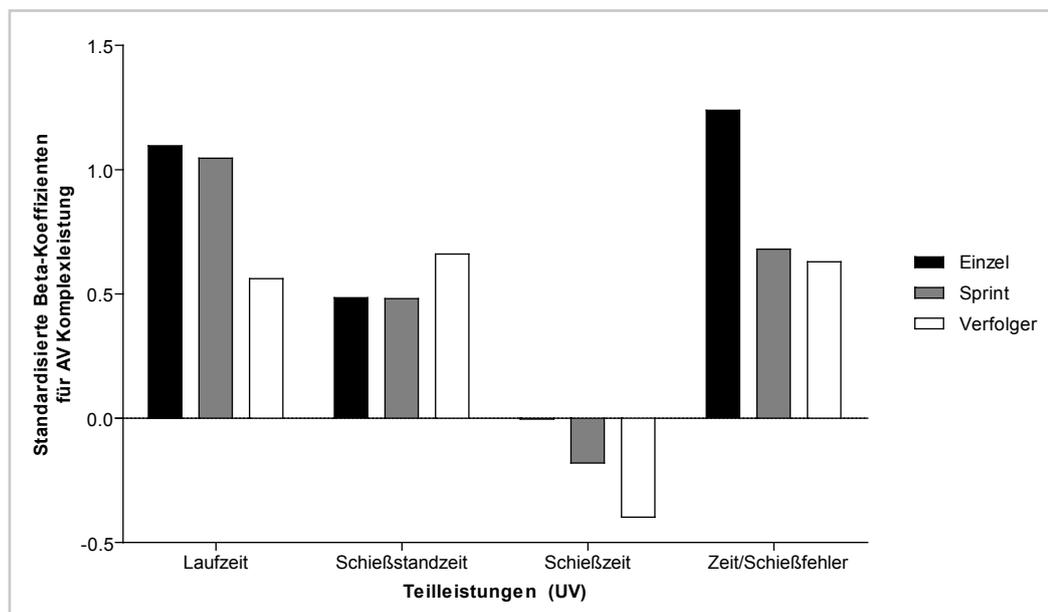


Abb 1: Anteile der Teilleistungen an Komplexleistung, JWM 2019 (Junioren) – nonteam, Top 30 (Espig, 2019)

Des Weiteren muss der Einfluss der psychophysischen Vorbelastung auf das Schießen vorbereitet werden. Im Biathlon sind dazu trainingsmethodisch vier Schießtrainingsbereiche definiert (Nitzsche, 1998):

- das Grundlagenschießen I (unter Ruhe und ohne scharfen Schuss),
- das Grundlagenschießen II (unter Ruhe und mit scharfen Schuss),
- das Technikschießtraining (mit submaximaler Vorbelastung) und
- das Wettkampfnahes Schießtraining (mit maximaler Vorbelastung).

Das Grundlagenschießen I wird dabei auch als Trockentraining bezeichnet und hat u. a. die Aufgabe, die einzelnen Schießtechnikelemente und deren Koordination zu erlernen und zu optimieren, einen schnellen Schießrhythmus

zu festigen sowie den Handlungsablauf immer weiter zu automatisieren. Der Trainingsumfang im Anschlussstraining beträgt nach aktueller Rahmentrainingskonzeption (DSV-Trainerschule, 2009) ca. 1/6 des Gesamttrainingsumfangs. Abb. 2 zeigt für die Athleten des NK1 Bereichs die tatsächliche Differenz des Trainingsumfangs im Trockentraining zwischen den Vorgaben der Rahmentrainingskonzeption (RTK) und dem dokumentierten Training für die erste Trainingsetappe.

Es wird deutlich, dass der vorgegebene Trainingsumfang in diesem Schießtrainingsbereich bei Weitem nicht erfüllt wird. Ursächlich für die Abweichung ist zu einem gewissen Anteil eine fehlerhafte Trainingsdatendokumentation der Athleten. Jedoch wird aus Gesprächen mit Trainern und Sportlern deutlich, dass es der monotone Charakter dieses Schießtrainingsbereichs ist, der ihn relativ unbeliebt macht.

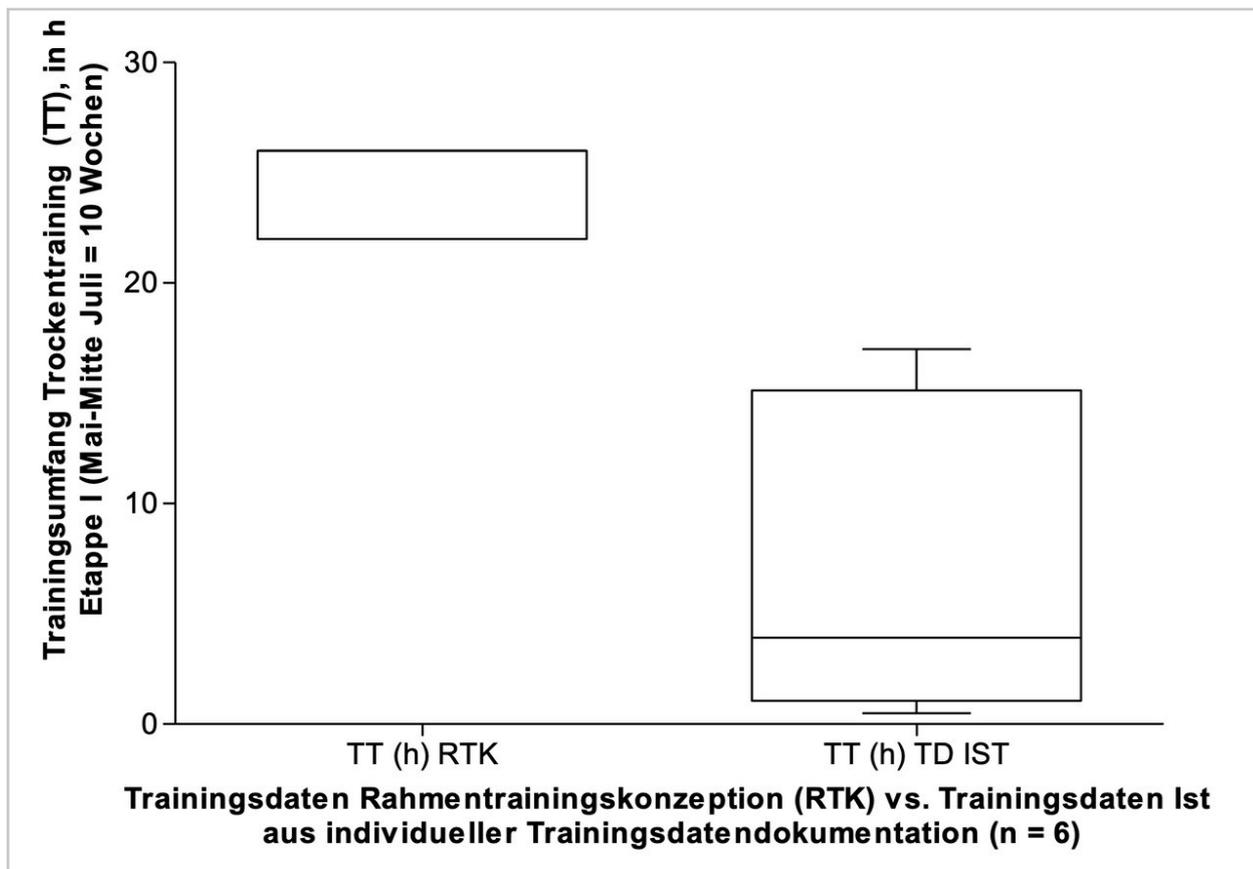


Abb. 2: Trainingsumfang Trockentraining (TT) in h im Vergleich zwischen RTK-Vorgaben und Ist-Trainingsdaten für die Etappe (Mai-Mitte Juli 2019) für den Kaderbereich NK1 (Junioren und Juniorinnen) (Espig, 2020)

Das Trockentraining wird zum einen oft alleine und ohne direkte Anleitung durch den Trainer durchgeführt und ermöglicht zum anderen ohne den scharfen Schuss kein direktes Feedback über die Qualität der Handlungsausführung.

Diagnostische Möglichkeiten zur Unterstützung des Trockentrainings leiten sich aus Forschungsergebnissen zum Einfluss des Ausprägungsgrads der verschiedenen Schießtechnikelemente auf die Laufmündungsstabilität und damit auf das Schießergebnis ab (Laaksonen et al., 2018).

2 Projektziele

Durch die Entwicklung eines mobilen und preislich erschwinglichen Sensorsystems zur Erfassung von Laufmündungsbewegungen können zukünftig alle Biathleten im Leistungssportsystem des DSV von einer technischen Unterstützung beim Trockentraining profitieren. Dieses System soll dabei sowohl direkt beim Üben ein Feedback (akustisch) des aktuellen Handlungsvollzugs (Knowledge of performance) als auch am Ende des Trainings ein Feedback zur Laufmündungsstabilität im Zeitraum kurz vor Schussauslösung (Knowledge of result) liefern. Diese Werte sollen sich dabei nicht nur im Trockentraining erfassen lassen, sondern auch im Trainings- und Wettkampfbetrieb, um einen Vergleich zwischen den Werten im Trockentraining und der komplexen Biathlonleistung anstellen zu können (Validität). Durch die Analyse der Werte im Längsschnitt lassen sich damit individuelle Trainingseffekte erkennen. Die jeweiligen Inhalte des Trockentrainings sollen mithilfe einer Kommentarfunktion innerhalb einer zugehörigen App erfasst werden. Durch die Entwicklung eines mobilen Sensorsystems für das Trockentraining wird es möglich sein, die Motivation und damit den Trainingsumfang für diesen Schießtrainingsbereich zu erhöhen, das durchgeführte Trockentraining weiter zu objektivieren und damit weitere konkrete trainingsmethodische Empfehlungen für den motorischen Lernprozess im Biathlonschießen abzuleiten.

3 Entwicklungsprozess

Durch die enge Zusammenarbeit mit dem Deutschen Skiverband (DSV) und dem Institut für angewandte Trainingswissenschaft (IAT) konnten die entwickelten Prototypen fortlaufend mit dem Bundesschießtrainer, Trainingswissenschaftlern und Athleten getestet und wertvolles Feedback zu bestehenden und gewünschten Funktionen gesammelt werden.

Um die Bewegung des Gewehrlaufs objektiv zu erfassen, wurde dort eine Inertiale Messeinheit (engl. Inertial measurement unit (IMU)) befestigt, welche Beschleunigung und Drehgeschwindigkeit präzise im dreidimensionalen Raum erfassen kann. Für das vorgestellte Projekt wurde dazu ein NilsPod Sensor der Firma Portables GmbH verwendet. Diese ermöglichen eine kabellose Verbindung zum Smartphone via Bluetooth, welche auch das Echtzeitfeedback ermöglicht. Eine geeignete Sensorhalterung wurde für die verschiedenen Gewehrläufe entwickelt und mittels 3D-Druck hergestellt. Diese ist in Abb. 3 abgebildet.



Abb. 3: NilsPod Sensor befestigt am Gewehrlauf mittels 3D-gedruckter Halterung

Die Trockentrainingsapp umfasst insbesondere folgende Funktionen.

3.1 Wettkampftraining

Im Wettkampftrainingsmodus können sowohl trockene als auch scharfe Schüsse analysiert werden. Dazu kann der Athlet beliebig viele Schüsse abgeben, welche von der App automatisch erkannt und zu Fünfergruppen zusammengefasst werden, wie es auch im Wettkampf der Fall ist. Für jeden Schuss werden dabei verschiedene Schussparameter bestimmt (u. a. die Laufmündungsbewegung, Verkantungswinkel).

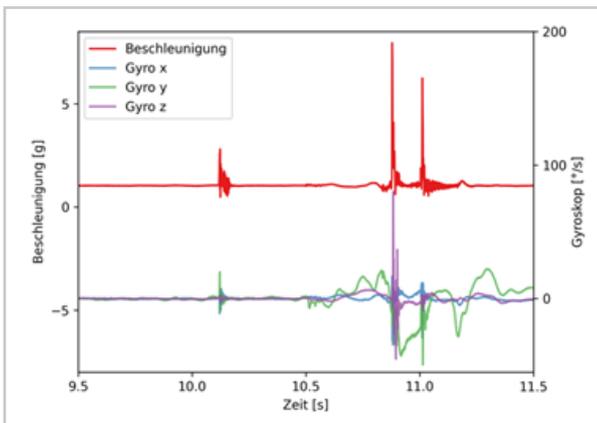


Abb. 4: Beispielhaftes Signal der Beschleunigungs- und Gyroskopdaten für einen Schuss sowie Nachladevorgang im Trockentraining. Der erste Peak ist der trockene Schuss und der zweite und dritte Peak das Nachladen.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Beschleunigungs- und Gyroskopdaten für einen Schuss sowie Nachladevorgang im Trockentraining.

Die Schusserkennung wird mittels einer Peakdetektion in Echtzeit auf den Beschleunigungsdaten ausgeführt. Dazu wird sowohl der z-Score sowie die Orientierung des Gewehres betrachtet, sodass nur im angelegten und ruhig gehaltenen Zustand Peaks detektiert werden. Die Berechnung der Laufmündungsbewegung erfolgt über die Integration der Drehraten.

3.2 Haltetraining

Beim Haltetraining geht es darum das Gewehr für eine definierte Zeit möglichst ruhig zu halten. Dazu kann der Athlet die Anzahl und Dauer der Intervalle und Pausen auswählen. Abb. 5 zeigt einen Screenshot dieses Modus.

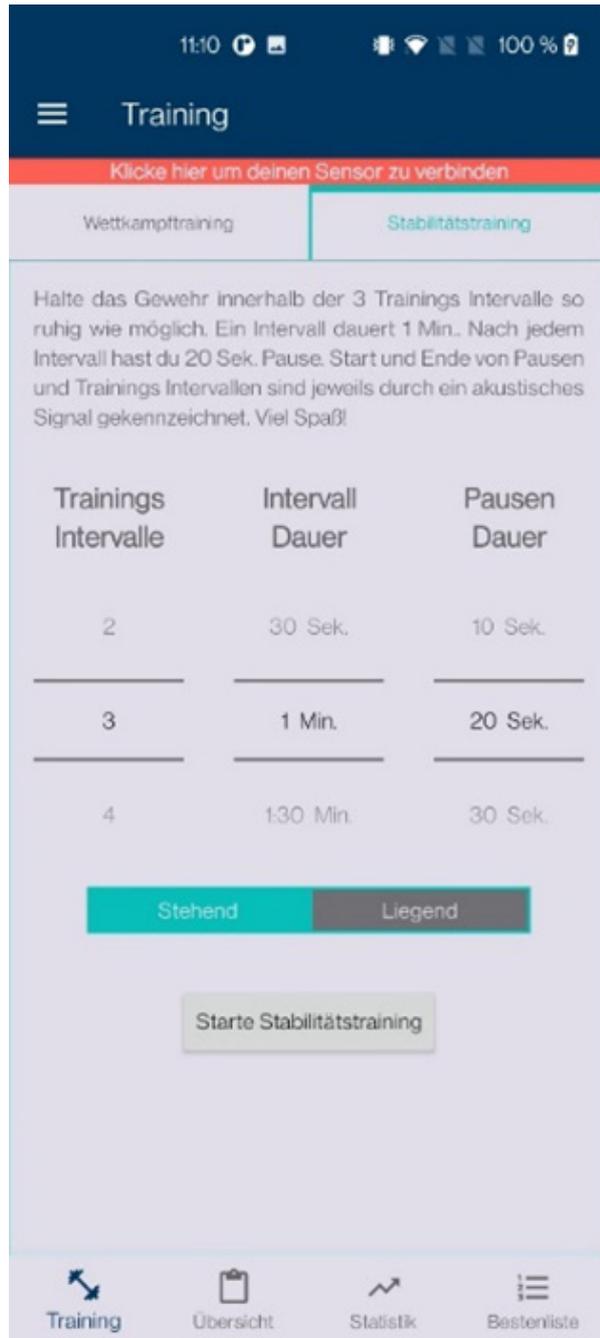


Abb. 5: Definition der Intervalle im Stabilitätstraining

Während der Halteübung erhält der Athlet ein akustisches Livefeedback. Dieses verändert die Lautstärke und/oder die Frequenz je nach Qualität des Haltetrainings.

Außerdem wird die durchschnittliche Qualität und das beste vier Sekunden Segment bestimmt.

3.3 Statistiken

Auf dem Übersichts- bzw. Statistik-Screen werden die Leistungsparameter einzelner Trainings im Detail sowie der zeitliche Verlauf der Parameter angezeigt.

3.4 Bestenliste

Durch die Anbindung der App an die Datenbank des Instituts für angewandte Trainingswissenschaft (IAT) werden, wenn gewünscht, die eigenen Trainingsdaten dort gespeichert. Dadurch ist es möglich, die eigene Trainingsleistung in Bezug auf Quantität und Qualität mit den anderen Athleten zu vergleichen. Dabei können verschiedene Filter angewandt werden, so dass beispielsweise nur die Leistungen der eigenen Trainingsgruppe in einem gewissen Zeitraum beachtet werden.

4 Diskussion

Das Ziel des vorliegenden Projektes war es, eine Smartphone Applikation zu entwickeln, die die Qualität und Quantität des Trockentrainings analysiert.

Die Software Applikation wurde erfolgreich entwickelt und mit Athleten sowie Trainern und Sportwissenschaftlern getestet. Eine detaillierte Validierungsstudie zur Genauigkeit des entwickelten Sensorsystems ist derzeit in Planung.

Um das entwickelte Sensorsystem möglichst schnell in den Trainingsalltag der Athleten einzubinden, wurde das System bei der Biathlon-Trainerklausur im April 2021 vorgestellt. Außerdem wurde die Funktionsweise beim Treffen des Kompetenzteam Wissenschaft nochmals erläutert.

Im Anschluss an das Projekt wurden fünf Prototypen an verschiedene Bundesstützpunkte verteilt. Die Athleten konnten dabei das System im Trainingsalltag testen und wenn gewünscht bestellen.

Nach einer detaillierten Validierung in der Anwendung mit Athleten und der Einbindung in den Trainingsprozess, sollen entsprechende innovative sensorgestützte Konzepte in der Zukunft zur Verbesserung des Trockentrainings und damit zu einer optimierten Schießleistung beitragen.

5 Literatur

- DSV-Trainerschule (Hrsg.). (2009). *Biathlon Rahmentrainingsplan. Grundlagentraining, Aufbautraining, Anschlussstraining*.
- Espig, N. (2019). *Saisonauswertung JuniorInnen, Vortrag im Rahmen der Trainerklausur Biathlon*, Ingolstadt.
- Espig, N. (2020). *Trainingsdatenanalyse JuniorInnen, Etappe I*. Leipzig: IAT.
- Laaksonen, M. S., Finkenzeller, T., Holmberg, H.-C., & Sattlecker, G. (2018). The influence of physiobiomechanical parameters, technical aspects of shooting, and psychophysiological factors on biathlon performance: A review. *Journal of Sport and Health Science*, 7(4), 394-404. doi:10.1016/j.jshs.2018.09.003
- Nitzsche, K. (Hrsg.). (1998). *Biathlon. Leistung - Training - Wettkampf; ein Lehrbuch für Trainer, Übungsleiter und Aktive* (1. Auflage). Limpert.
- Wick, J. (2009). *Bewertung der Weltcupergebnisse der Saison 2007/08 einschließlich der Weltmeisterschaften 2008 in Pyeongchang/KOR und vergleichende Betrachtungen zur Weltcup-Saison 2007/08 im Biathlon der Herren*. Leipzig: IAT

Bundesinstitut für Sportwissenschaft
Graurheindorfer Str. 198 · 53117 Bonn
Telefon +49 (0) 228 99 640-0
Telefax +49 (0) 228 99 640-9008
info@bisp.de
www.bisp.de

ISBN: 978-3-96523-056-9