



Bundesinstitut  
für Sportwissenschaft



Wir helfen  
dem Sport

# BISp-Jahrbuch

Forschungsförderung 2019/20

2019/20

Bundesinstitut für Sportwissenschaft

# BISp-Jahrbuch

Forschungsförderung 2019/20

## **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

### **Erscheinungsjahr**

2021

### **BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2019/20**

ISBN 978-3-96523-051-4

### **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.

Mit der Veröffentlichung der Beiträge sollen ein Überblick über die thematische Vielfalt der Forschungsförderung des BISp gegeben und weiterführende Diskussionen angeregt werden. Unsere Förderung umfasst dabei alle sportwissenschaftlichen Disziplinen. Da wir sportliche Leistungsfähigkeit ganzheitlich unterstützen, gehören Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die sich mit Gesundheit und Persönlichkeitsentwicklung sowie den Rahmenbedingungen eines humanen Leistungssports beschäftigen, genauso selbstverständlich zu unseren Handlungsfeldern wie auch die Nachwuchsförderung und die Entwicklung von Sportgeräten und -stätten 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 spiegelt sich auch in der Fülle der Berichte für diesen Projekttyp im vorliegenden Jahrbuch wider. 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](https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Formularcenter/Projekttypen_des_BISp.pdf?__blob=publicationFile&v=12)).

Auch im Jahrbuch 2019/20 wurde allen Projektnehmerinnen und -nehmern, die im Jahr 2019 bzw. im 1. Quartal 2020 BISp-geförderte Projekte abgeschlossen haben, 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.

Insgesamt enthält diese Ausgabe 48 Beiträge (nach Aktenzeichen sortiert) zu sportwissenschaftlichen Forschungs- und Transferprojekten, gegliedert in die Rubriken

- › Medizin und Naturwissenschaften (20 Beiträge),
- › Sozial- und Verhaltenswissenschaften (4 Beiträge),
- › Sportanlagen und Sporttechnologie (2 Beiträge),
- › Service-Forschung (22 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 Projektberäten 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](http://www.bisp.de) finden Sie die gewünschten Kontaktdaten sowie zusätzliche Informationen.

Ralph Tiesler  
Direktor  
Bundesinstitut für Sportwissenschaft





# Inhalt

Editorial .....	3
Inhalt .....	5
<b>Medizin und Naturwissenschaften .....</b>	<b>11</b>
Einfluss stringenter Taper-Phasen auf physiologische Leistungsparameter und mechanische Anpassungen der Skelettmuskulatur.....	13
<i>W. Bloch (Projektleitung), M. Schumann, H. Notbohm et al.</i>	
Wissen und Einstellungen zum Thema Doping unter Sportjournalistinnen und Sportjournalisten in Deutschland – Replikationsstudie .....	23
<i>Nils Olson, Thorsten Schulz, Fabian Kautz &amp; Michael Schaffrath (Projektleitung)</i>	
Peakingstrategien im Spitzensport .....	33
<i>Andreas Hohmann (Projektleitung) &amp; Micha Pietzonka</i>	
Erhöhte Kraft und Erholung nach geschwindigkeitsbasiertem Krafttraining im Rudern: Eine randomisiert kontrollierte Studie .....	37
<i>Steffen Held &amp; Lars Donath (Projektleitung)</i>	
Steigerung der Laufökonomie durch trainings-induzierte Umverteilung des muskulären Outputs in den unteren Extremitäten .....	43
<i>Falk Mersmann, Sebastian Bohm, Alessandro Santuz &amp; Adamantios Arampatzis (Projektleitung)</i>	
Automatische zeitkontinuierliche Bestimmung markanter Körperpunkte auf Sportlern sowie daraus abgeleiteter Ereignisse in Videos am Beispiel der Start/Wende im Schwimmen und dem Weit-/Dreisprung in der Leichtathletik.....	49
<i>Moritz Einfalt, Ronald Berndt, Stefan Fuhrmann, Luis Mendoza &amp; Rainer Lienhart (Projektleitung)</i>	
Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Leistungsdiagnostik im Sportklettern .....	55
<i>Claudia Augste (Projektleitung), Marvin Winkler &amp; Stefan Künzell</i>	
Analyse und Training der Antizipation und effizienter Blickstrategien im Badminton.....	61
<i>Wolf Gawin (Projektleitung)</i>	
Etablierung einer 3D-Bewegungsanalyse der Absprungbewegung an der Sprungschanze.....	71
<i>Jakob Ketterer, Albert Gollhofer (Projektleitung), Dominic Gehring, Daniel Brinkmann &amp; Benedikt Lauber</i>	
Evaluation von Komponenten des neuen Mobilen Messsystems 2020 im Rennrudern Teil II: Ruderwinkel und Innenhebelkraft .....	77
<i>Klaus Mattes (Projektleitung), Nina Schaffert, Martin Reischmann &amp; Björn Losekamm</i>	

Komplexe biomechanische Analyse der Sprungtechnik im Beachvolleyball – Anforderungsprofil und trainingsmethodische Empfehlungen .....	81
<i>C. Frese, D. Bubeck, K. Milecik, S. Schlechtweg &amp; W. Alt, (Projektleitung)</i>	
Optimierung der Interaktion von Ellenbogen- und Schultergelenk im Speerwurf der Männer .....	89
<i>Hans-Peter Köhler &amp; Maren Witt (Projektleitung)</i>	
Biomechanische Diagnostik und akustisches Feedback der Bootsbe- wegung (Gieren und Stampfen) im Nachwuchstraining (U23 und U19-Junioren- nationalmannschaft 2018) .....	93
<i>Klaus Mattes (Projektleitung), Nina Schaffert, Stefanie Wolff &amp; Björn Losekamm</i>	
Weltstandardbasiertes, individualisiertes Training im Blindenfußball .....	99
<i>Renate M. Leithäuser, Martin Mania, Max Niemeyer, Sebastian Schleich &amp; Ralph Beneke (Projektleitung)</i>	
Vergleich von Belastungsparametern im Parabiathlon/-Skilanglauf zwischen dem Training auf dem Skirollerlaufband und dem Training mit Skirollern auf Asphalt und mit Ski auf Schnee. ....	103
<i>Veit Wank (Projektleitung), Corinna Coenning, Hendrik Heger, Walter Rapp &amp; Ralf Rombach</i>	
Kinematische Analyse der Schwung-Zug-Technik mit Akzentuierung der Schwungbeinbewegung in verschiedenen Leistungsklassen und in Sprintserien bei LangsprinterInnen .....	109
<i>Klaus Mattes (Projektleitung), Martin Reischmann, Stefanie Wolff &amp; Björn Losekamm</i>	
Konditionelles Anforderungsprofil Blindenfußball .....	115
<i>Lucas Röleke, Renate M. Leithäuser, Martin Mania, Daniel Jacko &amp; Ralph Beneke (Projektleitung)</i>	
Übertragbarkeit digitaler Technologien in die Monoski-Schalenfertigung zur individualisierten Schallengestaltung .....	119
<i>Maren Goll, Volker Junior, Emil Wörgötter, Maike Hujara &amp; Peter Spitzenpfeil (Projektleitung)</i>	
Biomechanische Diagnostik mit dem neuen Mobilen Messsystem 2020 und Sonifikation von Parametern der dreidimensionalen Bootsbe- wegung im Nachwuchstraining (U23 und U19-Juniorennationalmannschaft 2019).....	125
<i>Klaus Mattes (Projektleitung), Martin Reischmann, Stefanie Wolff, Nina Schaffert &amp; Björn Losekamm</i>	
Krafttraining im Nachwuchsleistungssport (KINGS-Studie).....	131
<i>Urs Granacher (Projektleitung), Adamantios Arampatzis, Michael Kellmann, Bernd Wolfarth, Georg Duda, Holger Gabriel &amp; Christian Puta</i>	

<b>Sozial- und Verhaltenswissenschaften .....</b>	<b>143</b>
Entwicklung, Implementierung und Evaluation eines Qualitätsmanagementsystems sportpsychologisch unterstützter Talententwicklung mit dem Deutschen Segler-Verband.....	145
<i>Ole Benthien, Nadine Thomas &amp; Ralf Brand (Projektleitung)</i>	
Analyse von Stress- und Angstreaktionen: Entwicklung eines Interventionsprogramms zur Optimierung der Schiedsrichterleistungen im Volleyball.....	151
<i>Stefanie Klatt (Projektleitung), Lisa-Marie Rückel, Sebastian Brückner, Benjamin Noël, André Jungen &amp; Bernd Strauß (Projektleitung)</i>	
Rahmenkonzeption für die sportpsychologische Ausbildung von Schützinnen bzw. Schützen und deren Trainerinnen und Trainer im Deutschen Schützenbund.....	155
<i>Michael Doppelmayr (Projektleitung) &amp; Karin Steurethaler</i>	
Sportpsychologische Betreuung zur Optimierung der Trainings- und Wettkampfqualität der Abteilung Tischtennis des Deutschen Behindertensportverbandes e. V. ....	159
<i>Thorsten Leber &amp; Oliver Höner (Projektleitung)</i>	
<b>Sportanlagen und Sporttechnologie .....</b>	<b>163</b>
Entwicklung eines mobilen, rückwirkungsfreien Monitoringsystems zur dehnungsbasierten Erfassung von Belastungen am Skistock – SmaPole.....	165
<i>Philip Johannes Steinbild, Uwe Hentschel, Andree Schwaar, Martin Dannemann, Niels Modler (Projektleitung), Axel Schürer, André Wilhelm</i>	
TRACKSHOT – Dreidimensionale Erfassung des Bewegungsablaufs von Flinte und Scheibe beim Wurfscheibenschießen.....	171
<i>Ulrich Schwanecke (Projektleitung), Marc Lieser &amp; Henning Tjaden</i>	
<b>Service-Forschungsprojekte.....</b>	<b>175</b>
Analyse und Optimierung des Erholungsmanagements von Spitzen-Karateathletinnen und -athleten im Rahmen der Olympiaqualifikation.....	177
<i>Fabian Loch, Annika Hof zum Berge, Sarah Kölling (Projektleitung) &amp; Michael Kellmann (Projektleitung)</i>	
Curldat – Erarbeitung einer wissenschaftlich fundierten Datenbasis als Grundlage einer effizienten und personalisierten Trainingsgestaltung im Curling.....	183
<i>Ralf Salomon (Projektleitung) &amp; Ralf Joost</i>	
Systemische Kompetenz von Trainerinnen und Trainern im Deutschen Hockey-Bund ...	187
<i>Filip Mess, Ulrich Forstner &amp; Wolfgang Klöckner (Projektleitung)</i>	
Torwurfanalyse im Wasserball .....	191
<i>Andreas Hohmann (Projektleitung), Stefan Hochstein &amp; Dirk Hohenstein</i>	
Okklusionstraining im Rudern: Effekte von Okklusionstraining im Rudern.....	199
<i>Steffen Held &amp; Lars Donath (Projektleitung)</i>	

Untersuchung des hydrodynamischen Lifts im Para-Rudern .....	205
<i>Steffen Held &amp; Lars Donath (Projektleitung)</i>	
Sport mit Perspektive! .....	209
<i>Nadine Thomas, Ole Benthien &amp; Ralf Brand (Projektleitung)</i>	
Analyse der kinematischen Kette beim Tennis-Aufschlag im Rahmen einer Trainings- Intervention im Jugend-Leistungs-Tennis mittels Silhouetten-Tracking .....	213
<i>Florian Paternoster, Sarah Reisinger &amp; Ansgar Schwirtz (Projektleitung)</i>	
Periodisierung des Krafttrainings im Nachwuchsleistungssport Schwimmen .....	219
<i>Christoph Clephas (Projektleitung), Jan-Peter Brückner, Simon Bäcker, Jan Klocke, Stefan Fuhrmann, &amp; Moritz Schumann</i>	
Verletzungsprophylaxe im Frauennachwuchsleistungssport des Sportspiels Handball .....	223
<i>Marcus Schmidt, Kevin Nolte &amp; Thomas Jaitner (Projektleitung)</i>	
Quantitative Analyse der Schwimmtechnik .....	229
<i>Armin Kibele (Projektleitung), Rainer Lienhart (Projektleitung), Sebastian Fischer, Moritz Einfalt, Lisa Claußen &amp; Dan Zecha</i>	
Videotrack2D/3D .....	237
<i>Ulrich Schwanecke (Projektleitung), Fabian Stahl &amp; Maxim Dolgich</i>	
Entwicklung und Evaluation eines „Wireless Sensor Moduls“ für die Pistolendisziplinen. Teilprojekt II: Waffenbox und Softwareapplikation. ....	241
<i>Hannah Steingrebe &amp; Thorsten Stein (Projektleitung)</i>	
Sportartbezogenes Blicktraining zur Verbesserung der Schlagleistung im Softball .....	247
<i>Stefanie Klatt (geb. Hüttermann) (Projektleitung), Benjamin Noël &amp; Wolfgang Walther</i>	
Analyse individueller Entwicklungspotentiale in der sportlichen Technik bei deutschen Parakanuten .....	253
<i>C. Jahn, C. Janke &amp; M. Witt (Projektleitung)</i> <i>Unter Mitarbeit von E. Böker, A. Brendel (DKV), M. Englert (IAT), D. Herz, A. Lischke, T. Warnke, (IAT) &amp; A. Weiße</i>	
Kognitive Ermüdung im olympischen Sportschießen .....	257
<i>Anna Dziuba, Robin Steinkühler, Stefan Müller, Chris Englert (Projektleitung)</i>	
Verbesserte Schätzung der Abflug- und Flugparameter von Skispringern – Überarbeitung des aktuellen Prototyps .....	261
<i>Katja Ludwig, Rainer Lienhart (Projektleitung), Sören Müller, Sascha Kreibich &amp; Mirjam Markert</i>	
Goalball Paralympics Tokyo: Individualisiertes Training, Wettkampfvor- und -nachbereitung .....	267
<i>Renate M. Leithäuser, Max Niemeyer, Tobias Vestweber, Stefan Weil, Johannes Günther &amp; Ralph Beneke (Projektleitung)</i>	

Entwicklung und Evaluation eines Systems zur Bestimmung des individuellen Technik- und Ermüdungsprofils von Baseball Pitchern zur Verletzungsprävention .....	271
<i>Steffen Willwacher (Projektleitung), Patrick Mai &amp; Uwe Kersting</i>	
Entwicklung eines regelkonformen Skisprunganzugs mit verbesserten Flugeigenschaften. Teilprojekt 1: Erarbeitung eines vertieften Materialverständnisses .....	277
<i>Volkmar von Arnim (Projektleitung), Thomas Stegmaier &amp; Matthias Schweins</i>	
Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Prävention von Sportverletzungen in der Disziplingruppe Sprint des DLV während Trainingslagern in Vorbereitung auf die Olympischen Spiele in Tokio 2020 .....	281
<i>Uwe Tegtbur (Projektleitung), Lena Grams, Ismael Fernández Cuevas &amp; Rainer Knöller</i>	
Erarbeitung individueller taktischer Entscheidungsregeln bei risikoreichen Schlägen im Golf .....	285
<i>Stefanie Klatt (Projektleitung) &amp; Florian Seifriz</i>	



# Medizin und Naturwissenschaften





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

(AZ 070108/16-18)

W. Bloch (Projektleitung), M. Schumann, H. Notbohm et al.

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Abteilung für Molekulare und Zelluläre Sportmedizin

## 1 Einleitung

Als Tapering versteht man Trainingsphasen, die durch eine Reduzierung des Trainingsumfangs in den Tagen vor einem Wettkampf gekennzeichnet sind. Ziel ist es, die durch intensives Training kumulierte Ermüdung zu reduzieren und somit physiologische Anpassungen und schlussendlich die Wettkampfleistung zu maximieren (Mujika & Padilla, 2003). Studien zeigen im Anschluss an eine Taperphase eine verbesserte Leistungsfähigkeit, welche insbesondere durch einen Anstieg der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) oder auch einer verbesserten maximalen Leistung gekennzeichnet ist (Dressendorfer et al., 2002; Jeukendrup et al., 1992; Neary et al., 2003; Zarkadas et al., 1996).

Prinzipiell kann der Trainingsumfang in Taperphasen auf unterschiedliche Weise reduziert werden. Grundsätzlich gelten hohe Trainingsintensitäten als essentiell für positive Leistungsanpassungen, und diese sollten auch über die Taperphase beibehalten werden (Mujika, 2010). Des Weiteren hat sich anhand einer früheren Meta-Analyse von Bosquet et al. eine 41-60 % Reduzierung des Trainingsvolumen bei gleich bleibender Intensität über einen Zeitraum von 8-14 Tagen für Radfahrer als optimal erwiesen (Bosquet et al., 2007). Allerdings besteht das Risiko, durch eine exzessive Reduktion des Trainingsvolumens positive physiologische Leistungsanpassungen vorzeitig einzubüßen und dementsprechend ein De-Training zu induzieren (Mujika & Padilla, 2000).

Die Beziehungen zwischen reduziertem Trainingsvolumen und den Verbesserungen der Leistungsfähigkeit sind mittlerweile sehr gut untersucht, über die zu Grunde liegenden physiologischen Mechanismen ist allerdings weniger bekannt. Die Leistungsanpassungen sind auf physiologischer, muskulärer, metabolischer und zellulärer Ebene sehr vielfältig (Mujika et al., 2004). Zum einen können strukturelle Veränderungen in der Komposition der Muskelfasern im Hinblick auf das Expressieren von Proteinen von Typ I oder II Fasern oder in der Kapillarisation der Fasern auftreten (Gehlert et al., 2012). Des Weiteren sind die zellulären Anpassungen insbesondere in mechanobiologisch sensitiven Proteinen wie in den Strukturen der Fokalen Adhäsionen (FAs) und Costamere (Cstms), sowie der Extrazellulär-Matrix (EZM) und der Basalmembran (BM) bisher noch nicht hinreichend untersucht. Diese Strukturen spielen eine wichtige Rolle für die Transformation der mechanischen Belastungsreize in biochemische Signale, die zur strukturellen und funktionalen Anpassung der Muskulatur beitragen (Kjær, 2004; Legate et al., 2006). Des Weiteren können Trainingsveränderungen und eine Taperphase auch zu Veränderungen im Immunsystem und einer entsprechenden Immundefizienz führen, die Bedeutung dieser Veränderung für das Infektionsrisiko ist jedoch bisher noch nicht geklärt (Cosgrove et al., 2012; Mujika, Chatard & Geysant, 1996; Teixeira et al., 2014).

Ziel dieser Studie war es, die Leistungsanpassungen an ein neunwöchiges Aufbautraining sowie eine anschließende zweiwöchige Taperphase zu untersuchen und diese mit Anpassungen auf Muskelfaser- und zellulärer Ebene in den beschriebenen Strukturen der FA/Cstms und EZM/BM in Verbindung zu bringen.

Durch die Verzögerung der Studie und die Nichtübertragbarkeit von Projektmitteln auf das Folgejahr konnte ein wesentlicher Teil des Budgets nicht abgerufen werden. Das Projekt wurde daher zu einem wesentlichen Teil aus Eigenmitteln des Antragstellers finanziert. Dies erlaubte bisher nur eingeschränkte Muskelanalysen in Bezug auf Typ I exprimierende Fasern an dem im Rahmen der Studie gewonnenen Muskelbiopsiegewebe und den Blutproben durchzuführen.

## 2 Methodik

### 2.1 Studiendesign

Die vorliegende Studie umfasste einen 11-wöchigen Trainingszeitraum (siehe Abb. 1). Zunächst trainierten alle Probanden über 9 Wochen nach vorgegebenen Intensitätszonen (Abb. 2, Seite 3). Im Anschluss an die Aufbautrainingsphase, wurden alle Probanden anhand ihres Trainingsvolumens und der ermittelten Leistungsfähigkeit gleichmäßig auf eine Taper- und Kontrollgruppe aufgeteilt. In den anschließenden zwei Wochen erhielt die Kontrollgruppe die Intensitätsverteilung und das Trainingsvolumen des letzten

Trainingsblocks aufrecht, während in der Tapergruppe das Trainingsvolumen um 50 % reduziert wurde. Venöse Blutentnahmen, Muskelbiopsien (Vastus Lateralis) und umfangreiche Leistungsdiagnostiken wurden jeweils zu Beginn der Testung (t0), nach 9 Wochen Training (t1) und nach zwei weiteren Trainingswochen (t2) durchgeführt. Dabei erfolgten die venöse Blutentnahme und die Muskelbiopsien an Tag 1 der Diagnostik und die Testung der Leistungsfähigkeit am darauffolgenden Tag. Die Reihenfolge der Testungen sowie der zeitliche Abstand wurden über alle Probanden konstant gehalten.

### 2.2 Probanden

Ursprünglich wurden 31 Probanden rekrutiert. Nach initialer Testung der Leistungsfähigkeit starteten zunächst 20 Probanden mit dem Training. Aufgrund weiterer Drop-outs aus gesundheitlichen und persönlichen Gründen, wurden insgesamt 15 männliche Radsportler (Alter:  $30,1 \pm 9,6$  Jahre, Körpergröße:  $183,6 \pm 6,1$  cm, Körpergewicht:  $78,3 \pm 4,5$  kg,  $VO_{2peak}$ :  $59,4 \pm 4,5$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, Trainingsvolumen:  $8,7 \pm 2,3$  h) in die Studie eingeschlossen. Das Leistungsniveau wurde auf Grund der gemessenen  $VO_{2peak}$  als „well-trained“ eingestuft (De Pauw et al., 2013). Vor Einschluss in die Studie gab jeder Proband sein schriftliches Einverständnis zur Studienteilnahme. Die Studie wurde entsprechend der Erklärung von Helsinki durchgeführt und erhielt ein positives Votum der lokalen Ethikkommission.

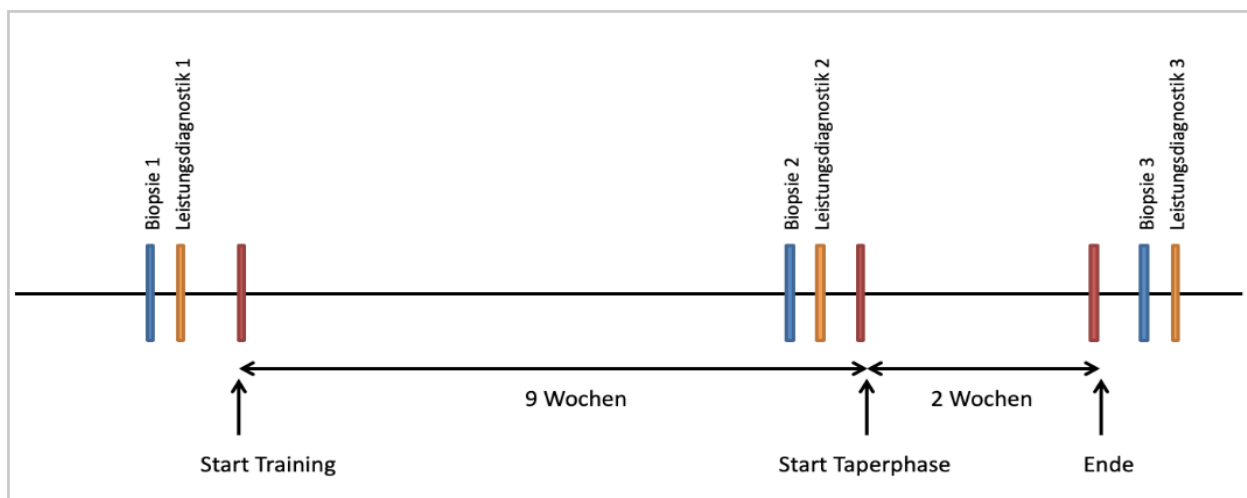


Abb. 1: Studiendesign der 11-wöchigen Trainingsintervention

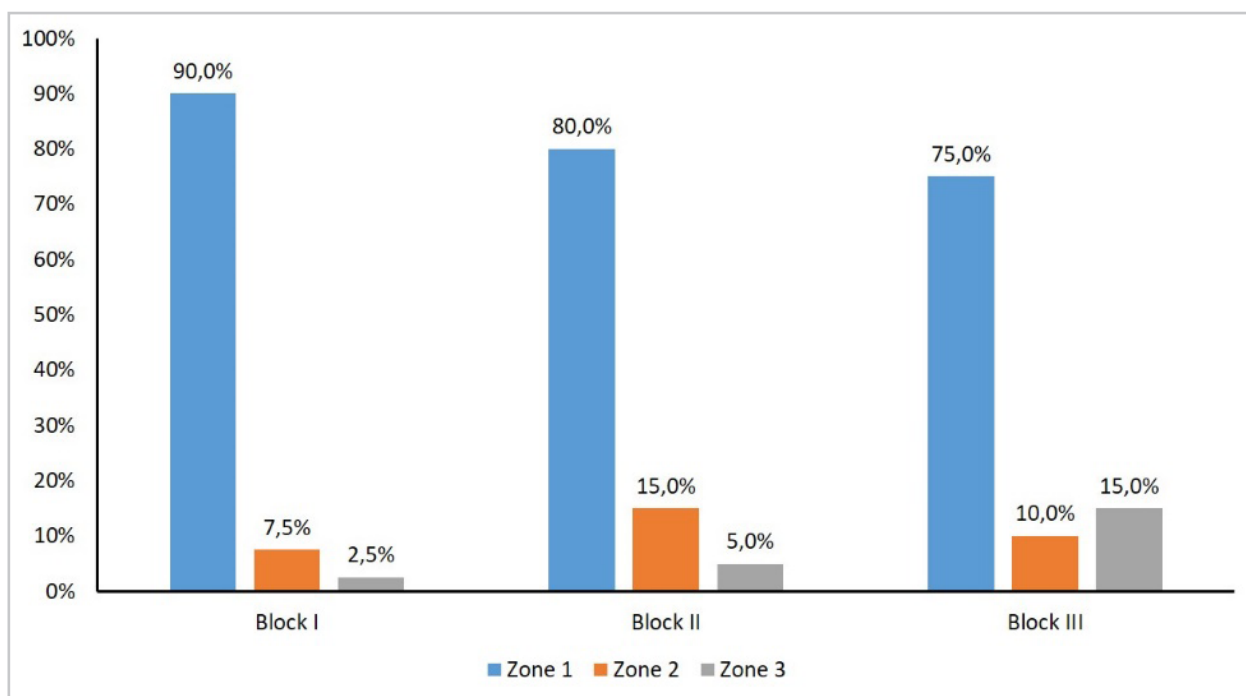


Abb. 2: Trainingsintensitätsverteilung der neunwöchigen Trainingsintervention. Woche 1 - 3: Block I, Woche 4 - 6: Block II, Woche 7 - 9: Block III. Die Trainingszonen wurden über die aus der Leistungsdiagnostik bestimmten Schwellen definiert: Zone 1 = Training unterhalb S1, Zone 2 = Training zwischen S1 und S2, Zone 3: Training oberhalb S2

## 2.3 Bestimmung der Leistungsfähigkeit

Die Probanden wurden angewiesen, 24 h vor allen Testungen auf Alkohol und sportliche Anstrengung zu verzichten. Des Weiteren wurden sie angehalten, die Nahrungsaufnahme konstant zu halten, was durch ein Ernährungsprotokoll überprüft wurde. Alle Testungen wurden auf einem SRM Ergometer (Schoberer Rad Meßtechnik SRM GmbH, Jülich, Deutschland) mit eigenen Pedalen, Schuhen und eigenem Sattel durchgeführt. Sattel- und Lenkerhöhe bzw. -weite wurden konstant gehalten. Der Ablauf der Tests erfolgte an allen drei Testtagen in der gleichen Reihenfolge: Stufentest, Sprinttest, Rampentest und eine maximale Ausbelastung (Tlim).

### 2.3.1 Testablauf

Der Stufentest startete bei 120 W, wobei der Widerstand alle 3 Minuten um 30 W gesteigert wurde. Kapillare Blutentnahme zur Bestimmung der Laktatkonzentrationen und das subjektive Belastungsempfinden (RPE) wurden nach jeder Stufe erfasst. Der Stufentest wurde nach dem Erreichen einer Laktatkonzentration von 4 mmol·l<sup>-1</sup> abgebrochen.

Nach einer aktiven Regeneration (<150 W) bis zu einer Blutlaktatkonzentration < 1,5 mmol·l<sup>-1</sup>, wurde ein maximaler 15 s Sprinttest im isokinetischen Modus mittels vorgegebener Kadenz von 120 rpm durchgeführt. Zur Bestimmung der maximalen Laktatakkumulierungsrate, wurden darauffolgend über einen Zeitraum von 10 Minuten jede Minute weitere kapillare Blutproben entnommen. Ein darauffolgender Rampentest startete bei 120 W und wurde jede Minute bis zur maximalen Ausbelastung um 20 W gesteigert. Als Ausbelastungskriterien galten dabei das Erreichen eines RQ >1,1 und eines RPE = 20.

Nach nochmaliger aktiver Regeneration bis zu einer Laktatkonzentration <1,5 mmol·l<sup>-1</sup>, wurde schließlich ein finaler Tlim durchgeführt. Bei diesem galt es, die Belastung bei einer vorgegebenen Intensität von 75 % der Peak Power des Rampentests (PPOR) bis zur Erschöpfung aufrecht zu halten. Um mögliche Lerneffekte zu minimieren, wurde dieser Test verblindet. Entsprechend erhielten die Probanden weder Informationen zu der abgelaufenen Zeit noch der Leistung, bei der sie den Test absolviert haben.

Sowohl der Stufen-, als auch der Rampentest wurden mittels Spiroergometriemessung (Metalyzer® 3B; Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland) begleitet. Spirometrische Daten wurden pro Sekunde aufgezeichnet. Das Spirometer wurde wöchentlich mit Referenzgas (5 % CO<sub>2</sub> und 15 % O<sub>2</sub>) und vor jedem Test mit Umgebungsluft und einer 3 Liter Pumpe nach Spezifikationen des Herstellers kalibriert. Herzfrequenz wurde sekundlich bei dem Stufentest, dem Rampentest und dem Tlim aufgezeichnet (Polar H7 Sensor; Polar Electro, Kempele, Finnland).

### 2.3.2 Bestimmung der Leistungsparameter

Die VO<sub>2peak</sub> wurde als die höchste über 30 Sekunden gemittelte Sauerstoffaufnahme definiert. PPO<sub>R</sub> wurde als höchste über 60 Sekunden gemittelte Leistung bestimmt. PPO<sub>R</sub> und VO<sub>2peak</sub> wurden bezogen auf das Körpergewicht relativiert. Ventilatorische Schwellen (VT) wurden visuell durch zwei unabhängige Tester bestimmt und gemittelt (Scharhag-Rosenberger & Schommer, 2013). Die erste ventilatorische Schwelle (VT<sub>1</sub>) wurde als erster nicht linearer Anstieg im VE/VO<sub>2</sub> Diagramm definiert, während die zweite ventilatorische Schwelle (VT<sub>2</sub>) als erster nicht linearer Anstieg im VE/VCO<sub>2</sub> Diagramm bestimmt wurde (Meyer et al., 2005; Scharhag-Rosenberger & Schommer, 2013). Die erste Laktatschwelle (LT<sub>1</sub>) wurde als erster Anstieg der Blutlaktatkurve definiert und als der Punkt bestimmt, bei dem der Anstieg der Blutlaktatkurve 0.02 entspricht (Zwingmann et al., 2019). Die zweite Laktatschwelle (LT<sub>2</sub>) wurde als Leistung bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol·L<sup>-1</sup> definiert. Zur Bestimmung der metabolischen Schwelle (S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub>), wurden die Daten der LT<sub>1</sub> und VT<sub>1</sub> bzw. LT<sub>2</sub> und VT<sub>2</sub> gemittelt. Das Peak Power Output des Sprinttests (PPO<sub>s</sub>) wurde als höchstgemessene Leistung definiert, während das Mean Power Output (MPO<sub>s</sub>) als gemittelte Leistung vom Start des Tests bis zum ersten Abfall der Kadenz bestimmt wurde. Zusätzlich wurde die maximale Laktatakkumulationsrate (Vl<sub>max</sub>) über die Schätzung nach Mader (1994) als Differenz des Nachbelastungslaktats und des Ruhelaktats, geteilt durch die Differenz der Belastungsdauer und der alaktaziden Zeit bestimmt (Mader, 1994).

### 2.3.3 Kapillare Blutentnahme und Analysen

Kapillare Blutproben (20µl) wurden am Ohrläppchen entnommen und in Reaktionsgefäße mit hämolysierender Lösung gegeben (EKF Diagnostic Sales, Magdeburg, Germany). Blutlaktatkonzentrationen wurden mit einem Biosen C-line Gerät gemessen (EKF Diagnostic Sales, Magdeburg, Deutschland).

## 2.4 Bestimmung zellulärer Parameter

### 2.4.1 Blutentnahme und Aufbereitung

Zu jedem Testzeitpunkt wurden 20 ml Vollblut in EDTA beschichtete Vacutainer (BD Vacutainer, Beckton, Dickinson, Heidelberg, Deutschland) entnommen. Aus dem Blut wurden periphere Blutmonozyten (PBMC) isoliert und bei -150°C bis zur weiteren Analyse eingefroren.

### 2.4.2 Muskelbiopsie und Probenaufbereitung

Zu jedem Testzeitpunkt wurde eine Muskelprobe aus dem V. lateralis entnommen. Hierfür wurde die Inzisionsstelle betäubt und eine Hohlnadel in den Muskel eingeführt. Mit Hilfe eines Vakuums konnte eine Muskelprobe entnommen werden (ca. 500 Fasern). Das Gewebe wurde für die weitere Analyse in stickstoffgekühltem Isopentan gekühlt und bei -80° C gelagert (für immunhistochemische Färbungen), direkt in flüssigem Stickstoff eingefroren und bei -80° C gelagert (für Western Blot und qPCR) und in 4 % PFA gegeben, am nächsten Tag mit gewaschen und bei 4° C gelagert (für Elektronenmikroskopie).

### 2.4.3 Immunhistochemische Färbungen

Für immunhistochemische Färbungen wurden 7µm Schnitte des Muskelgewebes mit Hilfe eines LEICA Cryostaten (LEICA CM 1900®, Nussloch, Deutschland) geschnitten und auf Objektträger aufgezogen. Typ I exprimierende Fasern wurden mit Anti-A4951 (1:200, Developmental Studies Hybridoma Bank, Iowa, USA) und Anti-mouse (1:400, Dako) und Alkalischer Phosphatase (1:400, Dako, Hamburg, Deutschland) angefärbt. Zusätzlich wurden die Kapillaren mit Anti-Cav-1 (1:800, Cell Signalling, Cambridge, UK), Anti-Rabbit (1:400, Dako, Hamburg, Deutschland) und HRP (1:400, Sigma Aldrich, St.Louis, USA) angefärbt. Anhand dieser Färbungen wurde anschließend der Durchmesser der Fasern sowie der Anteil an Typ I exprimierenden

Fasern und die Kapillarisation dieser Fasern bestimmt.

## 2.5 Statistische Analyse

Alle Ergebnisse sind als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung dargestellt. Die Daten wurden auf Grund der kleinen Stichprobengröße und fehlender Normalverteilung mit nicht parametrischen Tests analysiert. Dabei wurde für Innergruppen Vergleiche der Wilcoxon Signed Rank Test mit Bonferroni Korrektur für p-Werte gewählt. Vergleiche zwischen Gruppen wurden mit dem Mann-Whitney-U Test analysiert. Zur Minimierung möglicher Baselineunterschiede wurden die absoluten Werte des Zeitpunktes t0 von den entsprechenden Werten bei t1 und t2 abgezogen. Das statistische Signifikanzniveau wurde für alle Tests als  $p < 0,05$  definiert. Alle Daten wurden mit IBM SPSS Predictive Analytics (version 26.0, IBM Inc., Chicago, USA) analysiert.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Trainingszustand der Athleten

Der Leistungsstand der Athleten in der Taper- und Kontrollgruppe ist in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Leistungsstand der Athleten in der Taper- und Kontrollgruppe bei Baseline.

	Taper	Kontrolle
Alter (Jahre)	28,8 $\pm$ 8,9	33,7 $\pm$ 10,4
Größe (cm)	185,3 $\pm$ 6,0	182,1 $\pm$ 7,2
Gewicht (kg)	78,9 $\pm$ 5,3	77,1 $\pm$ 4,0
Körperfettanteil (%)	14,3 $\pm$ 5,1	14,8 $\pm$ 2,7
VO <sub>2</sub> peak (ml $\cdot$ min <sup>-1</sup> $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	59,3 $\pm$ 4,7	59,8 $\pm$ 4,4
PPO Rampentest (W)	398 $\pm$ 36	394 $\pm$ 28

### 3.2 Trainingsdaten

Das wöchentliche Trainingsvolumen sowie die Trainingsintensitätsverteilung pro Trainingsblock sind in Tab. 2 und 3 dargestellt.

Tab. 2: Wöchentliches Trainingsvolumen pro Trainingsblock

	Taper (h)	Kontrolle (h)
Trainingsblock I	8,1 $\pm$ 2,7	9,4 $\pm$ 1,7
Trainingsblock II	9,3 $\pm$ 3,8	11,8 $\pm$ 4,3
Trainingsblock III	10,4 $\pm$ 3,4	11,1 $\pm$ 2,4
Trainingsblock IV	4,8 $\pm$ 1,3	10,9 $\pm$ 3,6

Tab. 3: Trainingsintensitätsverteilung pro Trainingsblock

		Soll (%)	Taper (%)	Kontrolle (%)
Trainingsblock I	Zone 1	90	83,6 $\pm$ 9,5	84,4 $\pm$ 5,3
	Zone 2	7,5	12,8 $\pm$ 6,1	11,5 $\pm$ 3,9
	Zone 3	2,5	3,7 $\pm$ 3,8	4,1 $\pm$ 1,9
Trainingsblock II	Zone 1	80	80,1 $\pm$ 4,5	77,4 $\pm$ 5,4
	Zone 2	15	14,9 $\pm$ 2,7	16,7 $\pm$ 3,6
	Zone 3	5	5,1 $\pm$ 3,3	5,7 $\pm$ 2,0
Trainingsblock III	Zone 1	75	76,9 $\pm$ 4,4	73,9 $\pm$ 3,6
	Zone 2	10	13,0 $\pm$ 4,1	13,7 $\pm$ 2,3
	Zone 3	15	10,2 $\pm$ 2,5	12,4 $\pm$ 2,8
Trainingsblock IV	Zone 1	75	73,5 $\pm$ 6,5	75,4 $\pm$ 2,8
	Zone 2	10	14,4 $\pm$ 4,8	11,7 $\pm$ 3,4
	Zone 3	15	12,1 $\pm$ 5,3	12,9 $\pm$ 1,5

### 3.3 Maximale aerobe und anaerobe Leistung und Laktatakkumulationsrate

Es konnten keine statistischen Effekte für die Veränderung der relativen VO<sub>2</sub>peak oder Gruppenunterschiede beobachtet werden ( $p > 0,05$ ). In einer gepoolten Analyse zeigte sich eine statistische Erhöhung der relativen PPO<sub>R</sub> von t0 zu t1 (+2,5  $\pm$  4,5 %,  $p = 0,012$ ,  $r = 0,48$ ), sowie von t0 zu t2 (+2,6  $\pm$  3,7 %,  $p = 0,03$ ,  $r = 0,46$ ) (siehe Abb. 3). Weiterhin konnten keine statistischen Effekte und keine Gruppenunterschiede für die Veränderung der PPO<sub>S</sub>, der MPO<sub>S</sub>, der VLamax und des Tlims beobachtet werden ( $p > 0,05$ ).



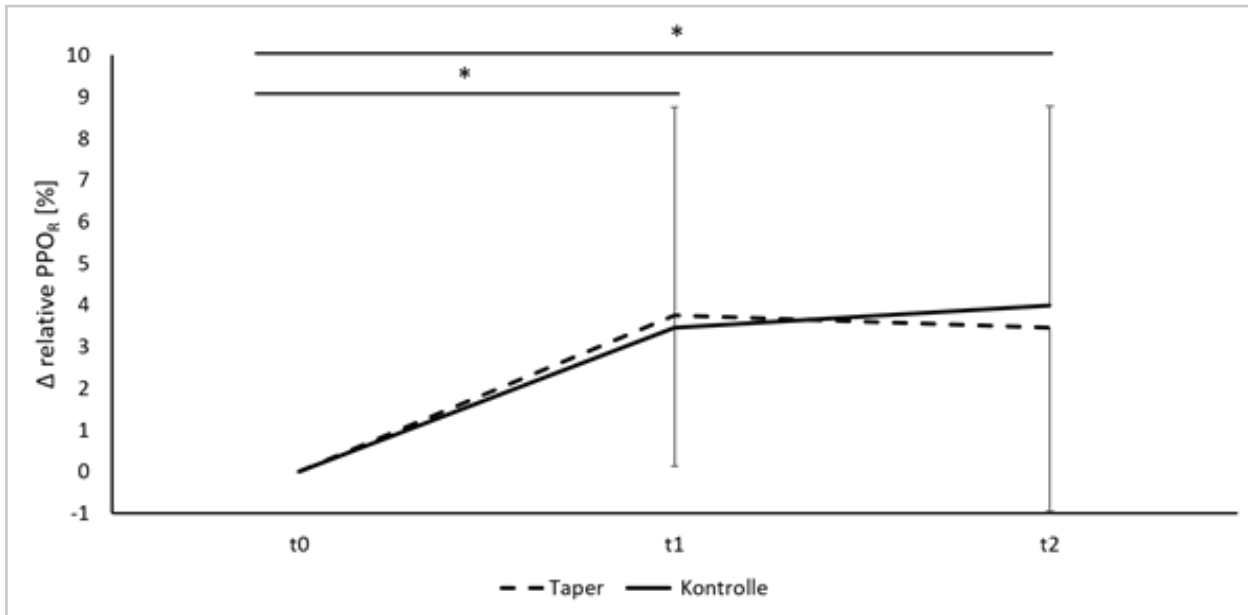


Abb. 3: Veränderung der relativen PPO<sub>R</sub> über den Interventionszeitraum in der Taper und Kontrollgruppe. \* = statistisch signifikante Veränderung für eine gepoolte Analyse

### 3.4 Schwellenleistung

In der Kontrollgruppe konnte eine statistische Verbesserung der Leistung an S<sub>2</sub> von t0 zu t2 (+5,9 ± 4,2 %, p = 0,048, r = 0,43) nachgewiesen werden. Ebenso zeigte die Kontrollgruppe eine statistische Verbesserung der Leistung an LT<sub>2</sub> von t0 zu t2 (+5,9 ± 2,7 %, p = 0,048, r = 0,43) (siehe Abb. 4). Die Leistung an der S<sub>2</sub> (p = 0,021, r = 0,41) und der LT<sub>2</sub> (p = 0,014, r = 0,44) war in der Kontrollgruppe statistisch höher als in der Tapergruppe. S<sub>1</sub>, LT<sub>1</sub>, VT<sub>1</sub> und VT<sub>2</sub> blieben in beiden Gruppen statistisch unverändert (p > 0,05).

### 3.5 Strukturelle Eigenschaften der Muskelfasern

Die Typ I exprimierenden Fasern, der Faserdurchmesser und die Kapillarisation blieben über den gesamten Studienzeitraum in beiden Gruppen unverändert (p > 0,05) (Abb. 5).

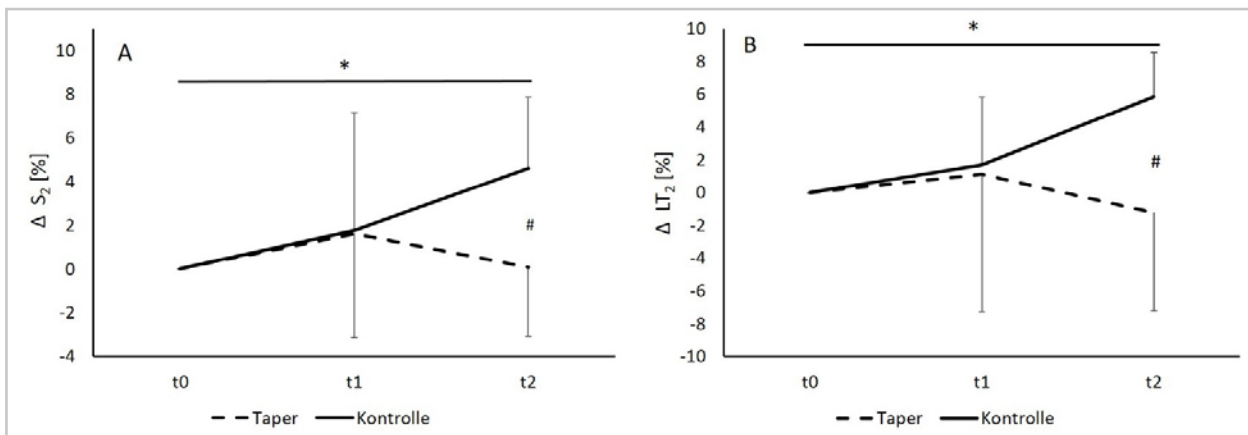


Abb. 4: Prozentuale Veränderung der Leistung an S<sub>2</sub> (A) und LT<sub>2</sub> (B) über den Interventionszeitraum. \* = statistische Veränderung in der Kontrollgruppe, # = statistische zwischen Gruppenunterschiede

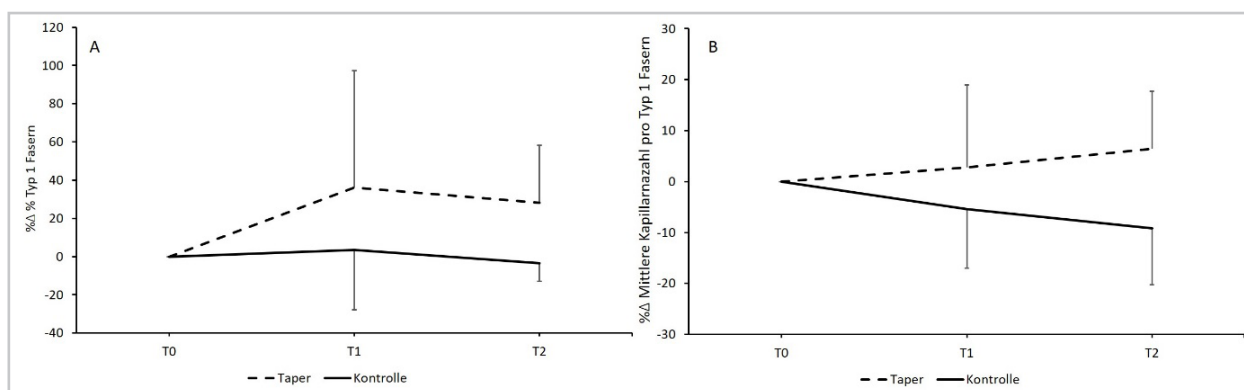


Abb. 5: Prozentuale Veränderung des Anteils der Typ 1 exprimierenden Fasern (A) und mittlere Anzahl an Kapillaren pro Typ 1 Fasern (B) über den Interventionszeitraum

## 4 Interpretation der Ergebnisse

Das Ziel dieser Studie war es, die Leistungsanpassungen an ein neunwöchiges Aufbautraining sowie eine anschließende zweiwöchige Taperphase zu untersuchen und diese mit Anpassungen auf Muskelfaser- und zellulärer Ebene in Verbindung zu bringen. Eine erste Auswertung der Leistungsdaten zeigte eine geringe Verbesserung der relativen  $PPO_R$  nach der neunwöchigen Aufbauphase. In der anschließenden Taperphase konnten keine Leistungsverbesserungen nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu, verbesserte sich die Leistung an der  $S_2$  und  $LT_2$  der Kontrollgruppe über die anschließenden weiteren zwei Wochen Training, was sich in einem statistisch signifikanten Zwischengruppenvergleich widerspiegelte.

In bisherigen Studien zur Untersuchung von Taperphasen wurden hauptsächlich Veränderungen in der maximalen Sauerstoffaufnahme, der maximalen aeroben Leistung oder der Wettkampfleistung betrachtet. Die hier durchgeführte Studie bietet eine differenzierte Untersuchung unterschiedlicher Leistungsparameter, sowohl in der maximalen aeroben und anaeroben Leistung, sowie auch in der Schwellenleistung und in einer Wettkampfsimulation. Insbesondere die Schwellenleistung ist ein wichtiger Parameter für Ausdauerathleten und -athletinnen, da sie nah an der erbrachten Leistung im Wettkampf liegt und sie auch eine gute Vorhersagekraft für die Wettkampfleistung zeigt (Amann, Subudhi & Foster, 2006; Bentley et al., 2001; Faria, Parker & Faria, 2005; Faude,

Kindermann & Meyer, 2009). Im Einklang mit bereits veröffentlichten Studien konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass hochintensive Trainingsphasen zu einer positiven Anpassung in der Schwellenleistung führen (Driller et al., 2009; Esfarjani & Laursen, 2007; Laursen & Jenkins, 2002), diese allerdings über die zweiwöchige Taperphase nicht aufrecht erhalten werden konnten. Diese Ergebnisse sind von praktisch hoher Relevanz, da sie auch insbesondere das richtige Timing von Taperphasen in den Vordergrund stellt. Es wäre daher von enormer Relevanz, auch die zugrundeliegenden muskulären Veränderungen in Anpassung an unterschiedliche Trainingsphasen zu untersuchen.

Die bereits durchgeführten Untersuchungen zeigen keine statistischen Effekte auf die Veränderung der Typ I exprimierenden Fasern, des Durchmessers und der Kapillarisation. Allerdings waren diese Untersuchungen nur ein kleiner vorläufiger Teil des ursprünglich geplanten Studiendesigns. Des Weiteren zeigen die Leistungsdaten nicht die erwartete positive Leistungsverbesserung einer Taperphase, sondern eine Verbesserung der Schwellenleistung bei Weiterführung des intensiven Trainings. Die in dieser Studie entnommenen Muskelbiopsien ermöglichen eine weitere Untersuchung der zellulären und muskulären Anpassungen in Bezug auf die ursprünglich geplanten Strukturen der Cstms, FAs und EZM/BM, welche allgemeiner für Trainingsanpassungen verantwortlich sind. Somit wäre eine Aufklärung über die Zusammenhänge von Leistungsanpassungen und dem dazugehörigen Belastungsmanagement und Adaptationsvermögen der humanen



Skelettmuskulatur auf mechanische Trainingsreize und die Übersetzung in biochemische Signale möglich. Die durch dieses Forschungsvorhaben generierten Ergebnisse stellen somit einen entscheidenden Schritt für die Verbesserung des Verständnisses des skelettmuskulären Anpassungsmanagements dar, um in der Praxis bestehende Trainingsmodelle im Leistungssport weiter zu optimieren.

In einem weiteren Schritt könnten Immunzellen aus dem Blut untersucht werden. Vorherige Studien haben bereits gezeigt, dass chronische Trainingsphasen zu einer Veränderung in den Populationen von Lymphozyten führen können (Cosgrove et al., 2012; Rama et al., 2013; Weinhold et al., 2016). In einer eigenen Analyse mit Nachwuchsleistungsschwimmern, die über einen 16-wöchigen Trainingszeitraum untersucht wurden, konnten wir kürzlich zeigen, dass Training bei unterschiedlichen Intensitäten und Volumen einen Einfluss auf die Zellzahl der Lymphozyten, insbesondere der natürlichen Killerzellen haben kann (Manuskript eingereicht). Somit würde eine Analyse des Blutes von den Probanden dieser Studie weitere Aufschlüsse über die Regulation der Lymphozytenverteilung in Abhängigkeit von Training und insbesondere zwei unterschiedlichen Trainingsvolumina über einen definierten Zeitraum ermöglichen.

## 5 Literatur

- Amann, M., Subudhi, A. W., & Foster, C. (2006). Predictive validity of ventilatory and lactate thresholds for cycling time trial performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(1), 27-34. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00424.x>
- Bentley, D. J., Mcnaughton, L. R., Thompson, D., Vleck, V. E., & Batterham, A. M. (2001). Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(12), 2077-2081.
- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., & Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1358-1365. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31806010e0>
- Cosgrove, C., Galloway, S. D. R., Neal, C., Hunter, A. M., McFarlin, B. K., Spielmann, G., & Simpson, R. J. (2012). The impact of 6-month training preparation for an Ironman triathlon on the proportions of naive, memory and senescent T cells in resting blood. *European Journal of Applied Physiology*, 112(8), 2989-2998. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2273-9>
- De Pauw, K., Roelands, B., Cheung, S. S., De Geus, B., Rietjens, G., & Meeusen, R. (2013). Guidelines to classify subject groups in sport-science research. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 111-122. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.8.2.111>
- Dressendorfer, R. H., Petersen, S. R., Moss Lovshin, S. E., Hannon, J. L., Lee, S. F., & Bell, G. J. (2002). Performance enhancement with maintenance of resting immune status after intensified cycle training. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 12(5), 301-307. <https://doi.org/10.1097/00042752-200209000-00008>
- Driller, M. W., Fell, J. W., Gregory, J. R., Shing, C. M., & Williams, A. D. (2009). The effects of high-intensity interval training in well-trained rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(1), 110-121. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.4.1.110>
- Esfarjani, F., & Laursen, P. B. (2007). Manipulating high-intensity interval training: Effects on over( $\dot{V}_{O_2}$ )  $\dot{V}_{O_2}$ max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(1), 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.014>
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling: Physiology and training – Part 1. *Sports Medicine*, 35(4), 285-312. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00002>
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469-490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>

- Gehlert, S., Weber, S., Weidmann, B., Gutsche, K., Platen, P., Graf, C., Kappes-Horn, K., & Bloch, W. (2012). Cycling exercise-induced myofiber transitions in skeletal muscle depend on basal fiber type distribution. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(7), 2393-2402. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2209-4>
- Jeukendrup, A. E., Hesselink, M. K. C., Snyder, A. C., Kuipers, H., & Keizer, H. A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *International Journal of Sports Medicine*, *13*(7), 534-541. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021312>
- Kjær, M. (2004). Role of Extracellular Matrix in Adaptation of Tendon and Skeletal Muscle to Mechanical Loading. *Physiological Reviews*, *84*(2), 649-698. <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2003>
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, *32*(1), 53-73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>
- Legate, K. R., Montañez, E., Kudlacek, O., & Fässler, R. (2006). ILK, PINCH and parvin: The tIPP of integrin signalling. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *7*(1), 20-31. <https://doi.org/10.1038/nrm1789>
- Mader, A. (1994). Energiestoffwechselregulation, Erweiterungen des theoretischen Konzepts und seiner Begründungen-Nachweis der praktischen Nützlichkeit der Simulation des Energiestoffwechsels. Computersimulation. Möglichkeiten Zur Theoriebildung Und Ergebnisinterpretation. *Brennpunkte der Sportwissenschaft*, *8*, 124-162.
- Meyer, T., Lucía, A., Earnest, C. P., & Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – Theory and application. *International Journal of Sports Medicine*, *26*(1), S38-S48. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830514>
- Mujika, I. (2010). Intense training: The key to optimal performance before and during the taper. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *20*(2), 24-31. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01189.x>
- Mujika, I., Chatard, J. C., & Geysant, A. (1996). Effects of training and taper on blood leucocyte populations in competitive swimmers: Relationships with cortisol and performance. *International Journal of Sports Medicine*, *17*(3), 213-217. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972834>
- Mujika, I., & Padilla, S. (2000). Detraining: Loss of Training-Induced Physiological and Performance Adaptations. Part I. *Sports Medicine*, *30*(2), 79-87. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030020-00002>
- Mujika, I., & Padilla, S. (2003). Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*(7), 1182-1187. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000074448.73931.11>
- Mujika, I., Padilla, S., Pyne, D., & Busso, T. (2004). Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Medicine*, *34*(13), 891-927. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434130-00003>
- Neary, J. P., Bhambhani, Y. N., & McKenzie, D. C. (2003). Effects of different stepwise reduction taper protocols on cycling performance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *28*(4), 576-587. <https://doi.org/10.1139/h03-044>
- Rama, L., Teixeira, A. M., Matos, A., Borges, G., Henriques, A., Gleeson, M., Pedreiro, S., Filaire, E., Alves, F., & Paiva, A. (2013). Changes in natural killer cell subpopulations over a winter training season in elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(4), 859-868. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2490-x>
- Scharhag-Rosenberger, F., & Schommer, K. (2013). Die Spiroergometrie in der Sportmedizin. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, *64*(12), 362-366. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2013.105>

- Teixeira, A. M., Rama, L., Carvalho, H. M., Borges, G., Carvalheiro, T., Gleeson, M., Alves, F., Trindade, H., & Paiva, A. (2014). Changes in naïve and memory T-cells in elite swimmers during a winter training season. *Brain, Behavior, and Immunity*, 39 (October 2017), 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2014.01.002>
- Weinhold, M., Shimabukuro-Vornhagen, A., Franke, A., Theurich, S., Wahl, P., Hallek, M., Schmidt, A., Schinköthe, T., Mester, J., Von Bergwelt-Baildon, M., & Bloch, W. (2016). Physical exercise modulates the homeostasis of human regulatory T cells. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 137(5), 1607-1610.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2015.10.035>
- Zarkadas, P. C., Carter, J. B., & Banister, E. W. (1996). Modelling the effect of taper on performance, maximal oxygen uptake, and the anaerobic threshold in endurance triathletes. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 393, 179-186. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1933-1\\_35](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1933-1_35)
- 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>

# Wissen und Einstellungen zum Thema Doping unter Sportjournalistinnen und Sportjournalisten in Deutschland – Replikationsstudie

(AZ 070301/18-19)

Nils Olson<sup>1</sup>, Thorsten Schulz<sup>2</sup>, Fabian Kautz<sup>1</sup> & Michael Schaffrath<sup>1</sup> (Projektleitung)

<sup>1</sup>Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften, Arbeitsbereich für Medien und Kommunikation

<sup>2</sup>Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften, Institut für Präventive Pädiatrie

## 1 Einleitung und Problemstellung

Doping ist nach wie vor eines der großen Übel des (Spitzen-)Sports. Im Zeitverlauf hat sich der Schwerpunkt des Dopingdiskurses von den gesundheitlichen Aspekten hin zu moralischen Gesichtspunkten verlagert (Dimeo, 2008). Die Soziologen Bette und Schimank, die dem Doping eine deterministische und systeminhärente Komponente zuweisen, deuten die Dopingproblematik häufig als ein nur schwer lösbares Problem, da es sich aus dem Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure und den Verflechtungen der Binnenstrukturen des Sports ableitet. Ursachen für die Dynamiken von Dopingvergehen müssen nach Bette und Schimank demnach „auf der überpersonellen Ebene komplexer gesellschaftlicher Konstellationen angesiedelt“ werden (Bette, 2008, S. 8; Bette & Schimank, S. 19, 2006.). Eingeschlossen in den Akteurskreis dieses „Konstellationseffekts“ sind nicht nur Athleten, Trainer, Manager und Ärzte, sondern auch Akteure aus den Bereichen der Wirtschaft, der Politik und das sportinteressierte Publikum. Schließlich spielen auch die Medien eine bedeutende Rolle, denen man im Rahmen der Informations- und Multiplikatorfunktion eine Mitverantwortung in der Dopingproblematik zuschreiben muss.

Eine generelle Kritik im Umgang mit Doping im Journalismus besteht darin, dass die Problematiken und Verflechtungen zwischen unterschiedlichen Akteursgruppen nicht oder nicht adäquat beleuchtet werden. Tatsächlich bewei-

sen Inhaltsanalysen, dass vermehrt Einzelpersonen – in den meisten Fällen der Athlet selber oder das direkte Athletenumfeld – Mittelpunkt der Berichterstattung zum Thema Doping sind (Denham, 2008; Starke & Flemming, 2017). Damit wird der Fokus automatisch abgelenkt von den Hintergründen und den überpersonellen Ursachen des Dopings.

Neben dem Stilmittel der Personalisierung wird dem Dopingdiskurs eine oftmals damit verbundene Skandalorientierung zugeschrieben (Bette, 2007). Vor dem Hintergrund der Reichweite und des Quotendrucks sind derartige mediale Darstellungen nachvollziehbar. Dabei wird deviantes Verhalten einzelner Akteure häufig durch moralische Wertungen hervorgehoben und öffentlich angeprangert. Die moralische Komponente zeigt sich dabei schon im sprachlichen Framing der Dopingdiskurse (Meier, Rose & Hölzen, 2017). Eine deutlich wertende Sprache zeigt bei Dopingberichten auf Grund der vorgeprägten gesellschaftlichen Einordnung einen Mangel an Objektivität und Ausgeglichenheit.

Bei der ursächlichen Schuldfrage wird in der Medienberichterstattung in der Regel auf Einzelakteure – meist den Athleten selber – verwiesen und nicht etwa auf schwer darstellbare Systemkomplexe. Starke und Flemming (2017) haben in ihrer Inhaltsanalyse zeigen können, dass die Schuld in konkreten Fällen tatsächlich auf Individuen bezogen wird. Dass Sportjournalisten ihre eigene Rolle bzw. die Rolle der Medien allgemein an der Dopingproblematik gar nicht wahrnehmen bzw. nicht annehmen, zeigt die Tatsache, dass sich in dem 16-jährigen Untersu-



chungszeitraum in nur zwei Prozent der Mitverantwortung thematisierenden Dopingberichte ein expliziter Zusammenhang mit den Medien auffinden lässt (Starke & Flemming, 2017). Die Massenmedien sehen sich also gar nicht erst als Mitverursacher des Dopingproblems, „obwohl sie in der Verwertungskette spitzensportlichen Handelns von zentraler Bedeutung sind“ (Bette, 2008, S. 10).

Insgesamt lässt sich in der Art der Berichterstattung eine Reihe von empirisch bekräftigten Kritikpunkten erkennen, die darin bestehen, dass insbesondere personalisierte Einzelfälle durch moralische Komponenten ergänzt werden. Dies hat zur Folge, dass die Sportler bei Dopingvergehen auf moralischer Ebene geächtet und als alleinig verantwortlich im Dopinggeschehen dargestellt werden. Die Komponenten eines Konstellationseffektes finden hierbei nur selten Berücksichtigung. Eine Wahrnehmung der Medien als Mitverursacher in dieser Konstellation bleibt aus.

Die Zurückhaltung bei der medialen Bearbeitung über das Sujet Doping ließ sich durch eine vorangegangene Untersuchung aus dem Jahre 2012/2013 erhärten. Die Frage, wie viele Sportjournalisten überhaupt Beiträge zum Thema Doping veröffentlichen, zeigte, dass knapp zwei Drittel der Befragten in den vorangegangenen zwölf Monaten keinen einzigen Beitrag publiziert hatten. Lediglich 4,1 % gehörten in die Gruppe der sogenannten „Viel-Publizierer“, die eine Publikationsfrequenz von mind. elf Beiträgen im Jahr erfüllten (Schaffrath, Schulz, Kautz, 2018).

Gründe für eine langjährige mediale Selektivität oder gar journalistische Ignoranz sind vielzählig: Hierzu zählen zum einen die *Ressourcenknappheit*, sowohl auf personeller und finanzieller als auch auf zeitlicher Ebene. Zum anderen sorgt die *Publikumsorientierung der Medien* dafür, dass Berichterstattung über Doping als Bedrohung medialer Vermarktungsinteressen empfunden werden kann. Ferner hat die Sportkommunikatorforschung der letzten Jahre ein verändertes *Rollenselbstverständnis* der Sportjournalisten aufzeigen können. So sehen sich Sportjournalisten immer stärker als „Unterhalter“ und weniger als „Kritiker“ oder „Kontrolleure“ des Spitzensports (Schaffrath, 2010). Außerdem kann fest-

gehalten werden, dass *Abhängigkeiten zwischen Journalisten und den Zielakteuren* so „in keinem anderen Journalismusbereich“ anzutreffen sind (Leyendecker, 2006, S. 231).

Die Vorgängerstudie hat zudem *subjektiv empfundene Kompetenzdefizite* sowie weit verbreitete *objektivierbare Wissensdefizite* zum Themengebiet Doping aufgezeigt. So hielten sich fast zwei Drittel der Journalisten für „nicht kompetent“ und über drei Viertel für „nicht ausreichend ausgebildet“ (Schaffrath, Kautz & Schulz, 2016). Lediglich 14 % der Journalisten konnte ein hohes Wissen bei der Beantwortung dopingrelevanter Sachfragen attestiert werden (ebd.).

Mit der Aufdeckung des „russischen Staatsdopings“ im Dezember 2014 wurde Doping vom Randthema zum Dauerberichtsfall. Insgesamt wurden im Falle des russischen Dopingskandals „eklatante Betrügereien in einem bisher ungeahnten Ausmaß aufgedeckt“ (Seppelt & Butler, 2019), die eine hohe Medienpräsenz hervorriefen. Das Thema Doping hat seit dem Beginn der Debatte im Jahr 2014 einen höheren Stellenwert in den Medien erhalten – sowohl im Sportteil als auch im politischen Kontext. Sanktionsmaßnahmen gegen russische Verbände wurden dabei höchst kontrovers diskutiert. Im Gegensatz zu Dopingberichten, die primär den einzelnen Doping-Delinquenten in den Mittelpunkt rückten, wurde im Falle der Russland-Berichte die systemische Komponente fokussiert.

Fraglich ist daher, ob sich die publizistische Abstinenz aktuell immer noch so darstellt wie empirische Studien bisher dokumentieren, oder, ob dem Thema Doping mittlerweile – geprägt durch den erhöhten medialen Stellenwert der letzten Jahre – eine größere redaktionelle Aufmerksamkeit gewidmet wird.

Die vorliegende Studie bietet erstmalig die Möglichkeit, empirische Veränderungen zum Wissensstand von Sportjournalisten und Modifizierungen bei Meinungen und Motiven bzgl. des Themas Doping und der Dopingberichterstattung zu untersuchen. Darüber hinaus wurden neue Ansätze und Fragestellungen berücksichtigt. So etwa zum Thema „Staatsdoping“ und dem „Anti-Doping-Gesetz“. Zusätzlich wurde erstmalig die Wahrnehmung von Sportjournalisten zum Thema der „eigenen Mitverursachung des Dopingproblems“ erfragt.

## 2 Methoden

Das vorliegende Projekt lässt sich in drei Teiluntersuchungen untergliedern. Zum einen fand eine quantitative Querschnittsuntersuchung aller ordentlich registrierten Sportjournalisten im Verband Deutscher Sportjournalisten (VDS) sowie zehn Mitgliedern des ehemaligen *Sportnetzwerkes* statt. Diese Untersuchung hatte das Ziel, Motive, Meinungen und den Wissensstand von Sportjournalisten zum Thema Doping und der Dopingberichterstattung zu erfassen. Zum anderen wurde eine Querschnittsuntersuchung mit Studierenden aus dem Bachelorstudiengang Sportwissenschaften der Technischen Universität München durchgeführt, die hinsichtlich der Meinungs- und Wissensfragen zu Referenzzwecken herangezogen worden war. Darüber hinaus wurde eine qualitative Befragung unter fünf Sportjournalisten, die eine Expertise im Bereich des Dopingjournalismus entwickelt und darin ihr Hauptarbeitsgebiet haben, durchgeführt.

### 2.1 Quantitative Datenerhebung der Sportjournalisten

Die quantitative Datenerhebung der Sportjournalisten erfolgte als Online-Umfrage und wurde vom 17. Oktober 2018 bis zum 4. Februar 2019 durchgeführt. 3.415 VDS-Mitglieder wurden um ihre Teilnahme gebeten. Der VDS ist ein deutschlandweiter Berufsverband für hauptberuflich tätige Sportjournalisten. Neben den Mitgliedern des VDS wurden zehn Mitglieder des ehemaligen *Sportnetzwerkes* angeschrieben und zur Beantwortung der Befragung eingeladen.

Der Fragebogen wurde mittels der Online-Software *EFS Survey* des Unternehmens *Quest Back* programmiert. Die teilnehmenden Sportjournalisten konnten den Fragebogen über einen personalisierten Code aufrufen und einmalig ausfüllen.

Der Fragebogen umfasste je nach Filterführung 37 Fragen, davon zwei offene und sechs mit der offenen Kategorie „Sonstige“. Insgesamt sollten 155 Items beantwortet werden. Auf Grund des Replikationscharakters wurden etwa 70 % der Fragen aus dem Vorgängerprojekt wörtlich übernommen. Auf diese Art und Weise konnte eine Vergleichbarkeit aus dem Jahr 2012/2013 sowie die Nachvollziehbarkeit von Verände-

rungen zwischen den Befragungszeiträumen sichergestellt werden. Die restlichen Fragen wurden aufgrund aktueller forschungsleitender Fragen entwickelt (vgl. Tab. 1, Seite 4).

Um die verschiedenen Ansichten der Sportjournalisten zu erheben, wurden meist Aussagen gewählt, die die Befragten anhand von Likert-Skalen einschätzen sollten. Um die Abbrecherquote gering zu halten, erhielten die Teilnehmer bei den heiklen Fragen zudem die Möglichkeit, „Weiß nicht“ oder „Keine Angabe“ anzuklicken. So wurde ermöglicht, dass sich keiner der Journalisten zwangsweise zu einem Themengebiet positionieren musste, das ihm unangenehm war. Zusätzlich konnten Fragen auch ohne das Anklicken eines Items oder einer Kategorie „Weiter“-geklickt werden. Berücksichtigung bei der Auswertung der Wissensfragen fanden nur Journalisten, die auch alle Wissensitems bearbeitet hatten.

### 2.2 Quantitative Befragung der Studierenden der Sportwissenschaften

Neben der Befragung der Sportjournalisten fand am 14. und 21. Januar 2019 eine zusätzliche Befragung von Studierenden des Studienganges Sportwissenschaften der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften der Technischen Universität München statt. Dabei wurden den Studierenden des ersten sowie des fünften Fachsemesters ausgewählte Fragen aus dem Fragebogen der Sportjournalisten gestellt. Der Fragebogen der Studenten bestand aus 25 Fragen, wovon sich drei auf das Studium bezogen. Die restlichen 22 Fragen waren kongruent zu denen der Sportjournalistenbefragung. Neben zwei demografischen Fragen, nach Alter und Geschlecht, zielten die übrigen Fragen darauf ab, den Wissensstand und die Meinungen der Sportstudierenden zu erheben, um diese mit den Antworten der Sportjournalisten vergleichen zu können.

### 2.3 Statistische Auswertung der quantitativen Befragung

Die geschlossenen Angaben wurden als numerische Darstellung exportiert. Die Auswertung erfolgte mit *SPSS Statistics 25* von IBM, Chicago, Illinois. Die offenen Angaben wurden in

Microsoft Excel 2010 geladen und dort teilweise klassifiziert.

Neben einer deskriptiven Auswertung wurden Gruppenunterschiede in Abhängigkeit unterschiedlicher Voraussetzungen, wie dem Skalenniveau, der Homogenität, Gruppenanzahl und Verteilungsschemata mittels parametrischer und nicht-parametrischer Tests durchgeführt.

Um Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Parametern darzustellen, wurden (Rang-) Korrelationsanalysen durchgeführt.

## 2.4 Qualitative Befragung der „Dopingjournalisten“

Um das Thema der Dopingberichterstattung explorativ von verschiedenen Seiten zu beleuchten, wurden qualitative Befragungen mit fünf sportjournalistischen Dopingexperten als Face-to-Face-Interview unter Anwendung eines Leitfadens durchgeführt.

Der Leitfaden umfasste die folgenden Themenschwerpunkte:

- › Mitverantwortung/Schuldfrage der Dopingproblematik
- › Wissen von Sportjournalisten
- › Generalverdacht und Unschuldsvermutung im Sport
- › Veränderungen in der Dopingberichterstattung seit der Aufklärung des „russischen Staatsdopings“
- › Anti-Doping-Gesetz
- › Redaktionelle Situation für Dopingreporter
- › Risiken der Dopingberichterstattung für Journalisten
- › Aspekte, Probleme und Lösungen im Anti-Doping-Kampf.

Tab. 1: Vergleich der drei quantitativen Untersuchungen

Vergleichskategorie/Inhalt	Sportjournalisten-Umfrage 2018/2019	Vorgängerstudie 2012/2013	Studierenden-Umfrage
Rücklauf	906	850	250
Anzahl der Fragen	37	38	25
Wissen und Kompetenzen	✓	✓	✓
Meinungen zur Dopingberichterstattung	✓	✓	✓
Lösungsvorschläge	✓	✓	✓
Indizienbasierte Berichterstattung	✓	✓	✓
Beurteilung der NADA	✓	✓	✓
Bedeutung von Fortbildungen zum Thema Doping	✓	✓	✓
Anti-Doping-Kampf	✓	✓	✓
Quellen bei der Berichterstattung	✓	✓	✓
Redaktionelle Rahmenbedingungen	✓	✓	✓
Meinungen zum Anti-Doping-Gesetz	✓	✗	✓
Veränderungen durch das „russische Staatsdoping“	✓	✗	✓
Rollenselbstverständnis	✓	✗	✓
Mitverantwortung verschiedener Akteure	✓	✗	✓
Beschäftigung mit Freizeit- und Breitensport	✓	✗	✗
Berichterstattungsfrequenz	✓	✓	✗
Nähe zu Spitzensportlern	✓	✓	✗
Motive hinter der Dopingberichterstattung	✓	✓	✗
Wünschenswerte Inhalte bei Fortbildungen	✓	✓	✗

Die Fragen wurden dabei so formuliert, dass eine Beeinflussung der Befragten weitestgehend ausgeschlossen wurde. Alle Interviews wurden durch denselben wissenschaftlichen Mitarbeiter der Fakultät durchgeführt. Als Gesprächspartner wurden gezielt Sportjournalisten ausgewählt, deren berufliche Expertise im Bereich der investigativen Dopingberichterstattung liegt. Des Weiteren wurden als Gesprächspartner Dopingexperten unterschiedlicher Mediengattungen gewählt und dabei nur solche, deren Hauptarbeitsgebiet die Dopingberichterstattung darstellt. Die Interviews wurden im Zeitraum vom 6. November 2018 bis 14. Februar 2019 durchgeführt.

Die Leitfadengespräche wurden nur zwischen den beiden Gesprächspartnern unter vier Augen durchgeführt. Den Dopingexperten wurde eine Anonymisierung ihrer Antworten zugesichert.

## 2.5 Auswertung der Leitfadengespräche

Die Interviews wurden zunächst wörtlich verschriftlicht. Die fertigen Transkripte wurden dann einem Auswertungsverfahren, welches eine Kombination aus dem „Extraktionsverfahren“ von Gläser und Laudel (2010) und Schaffraths Methode der Paraphrasierung und anschließender induktiver Kategorienbildung (2006) darstellt, unterzogen. Später wurden die Bestandteile jedes Interviews den jeweiligen Kategorien zugeordnet. Anschließend wurden separate Textdokumente für jede Unterkate-

gorie angelegt. In jedem dieser Textdokumente wurden dann alle diesbezüglich relevanten Interviewauszüge gesammelt, sodass alle Interviewauszüge aller Interviewpartner zu einer Kategorie zusammen aufgelistet wurden.

## 3 Teilergebnisse – Wissen

Aufgrund der unterschiedlichen Erhebungen und der Vielzahl der jeweils dabei abgefragten Dimensionen (Tabelle 1 zeigt alle 18 behandelten Dimensionen) wird im Folgenden vorrangig auf die Dimension „Wissen und Kompetenzen“ eingegangen.

### 3.1 Ergebnisse der quantitativen Befragungen

Die Stichprobe der Sportjournalisten umfasst insgesamt 906 Personen. 659 davon haben den Fragebogen bis zum Ende ausgefüllt. Da einige der Befragten den Fragebogen nur teilweise ausgefüllt haben, variiert die Anzahl der Teilnehmer zwischen den einzelnen Fragen und Items zum Teil stark. Die durchschnittliche Ausfülldauer betrug 21 Minuten.

Zudem nahmen 250 Sportstudierende an der Zusatz-Befragung teil. Deren mittlere Bearbeitungsdauer lag dabei bei knapp 15 Minuten.

Abb. 1 zeigt, dass nahezu keine Veränderung in der Publikationsfrequenz stattgefunden hat. Die Anzahl der „Viel-Publizierer“ ist äußerst gering, und hat in den vergangenen sechs Jahren noch einen leichten Rückgang zu verzeichnen.

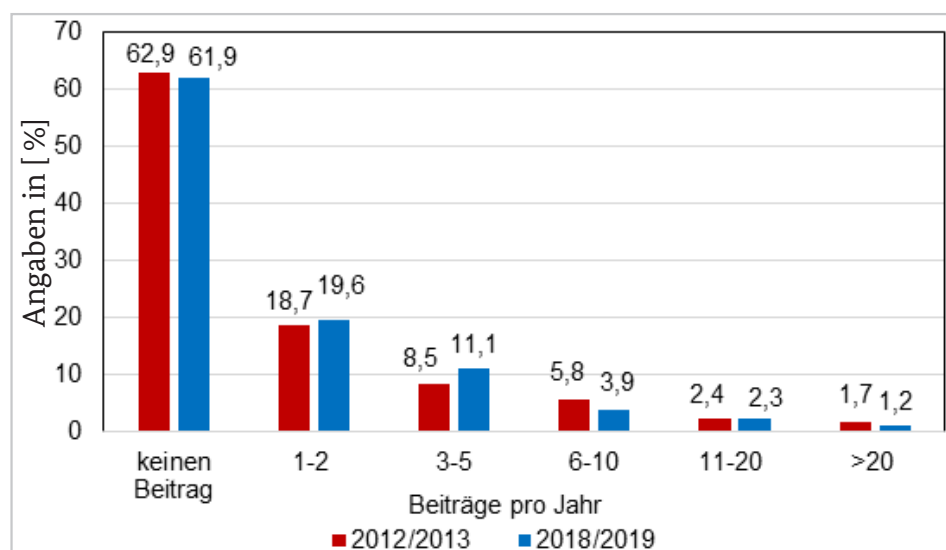


Abb. 1: Häufigkeiten der angegebenen Publikationsfrequenz;  $n(2012/2013) = 706$ ;  $n(2018/2019) = 826$



Anhand der Anzahl der publizierten Beiträge wurde eine Kategorisierung vorgenommen (vgl. Tab. 2), um Unterschiede zwischen den Gruppen in allen untersuchten Dimensionen darzustellen. Beim Vergleich der richtigen Antworten aus den 13 Wissensitems zeigt sich kein Unterschied zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten (vgl. Abb. 2). In der Replikationsstudie wird anhand der Referenzwerte der Studierenden ersichtlich, dass die Sportjournalisten mehr richtige Antworten geben konnten als die Studierenden des ersten Semesters, aber genauso viele wie die Studierenden des fünften Semesters.

Die Gruppenzugehörigkeit hat einen Einfluss auf den Wissensstand ( $F(2, 656) = 39,665$ ;  $p = 0,000$ ; partielles  $\eta^2 = 0,108$ ;  $n = 659$ ). 10,8 % der Streuung um den Gesamtmittelwert kann durch die Publikationsfrequenz erklärt werden. Die Effektstärke nach Cohen (1988) liegt bei  $f = 0,35$  (= mittlerer Effekt).

Alle Gruppen unterscheiden sich signifikant voneinander (vgl. Abb. 3, Seite 7).

Wissen und der Grad der Berichterstattungsfrequenz bedingen sich gegenseitig: es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Publikationsfrequenz und der Anzahl richtiger Wissensitems ( $rS = 0,268$ ;  $p = 0,01$ ).

Die Gruppe der Journalisten, die nicht zum Themengebiet Doping berichten, wurden zusätzlich befragt, welche Gründe es hierfür gebe. Auf einer fünfstufigen Likert-Skala wurde die Zustimmung bezüglich sechs Items bewertet. Dabei zeigte sich, dass sich die Mehrheit der Befragten als nicht „ausreichend ausgebildet“ und nicht „kompetent genug“ fühlt. Auch empfinden viele Journalisten die Bearbeitung des Themas als zu kosten- und zeitintensiv. Ein Risiko bezüglich juristischer Konsequenzen erschien dagegen weniger bedeutungsvoll (vgl. Tab. 3, Seite 7).

Tab. 2: Kategorisierung nach angegebener Publikationsfrequenz

Publikationsfrequenz	
Keine Berichterstattung (0 Beiträge)	61,9 %
Geringe Publikationsfrequenz (1-10 Beiträge)	34,6 %
Hohe Publikationsfrequenz (mehr als 10 Beiträge)	3,5 %

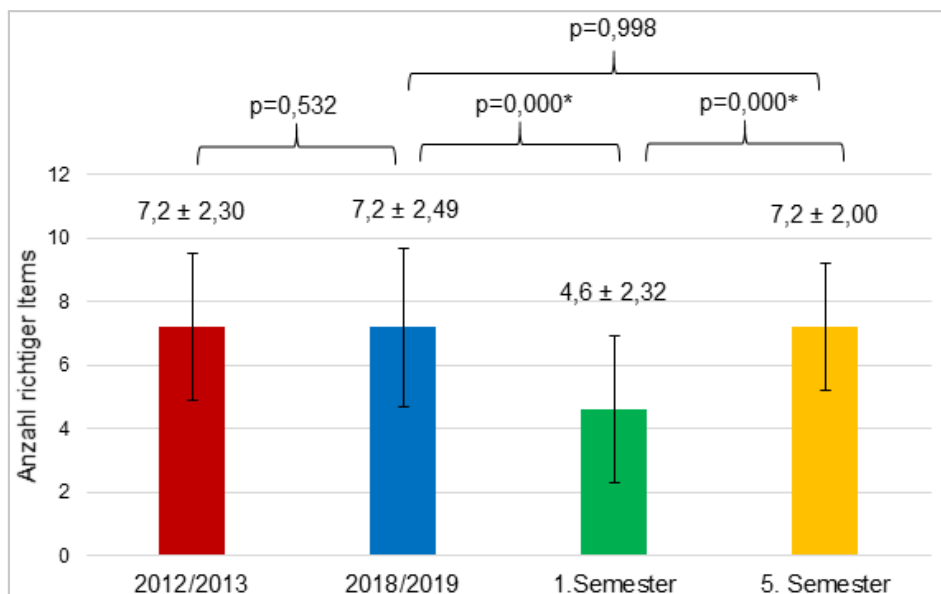


Abb. 2: Vergleich der Mittelwerte ± Standardabweichung der korrekt beantworteten Wissensitems;  $N(2012/2013) = 639$ ;  $N(2018/2019) = 666$ ;  $N(1.Semester) = 153$ ;  $N(5.Semester) = 71$

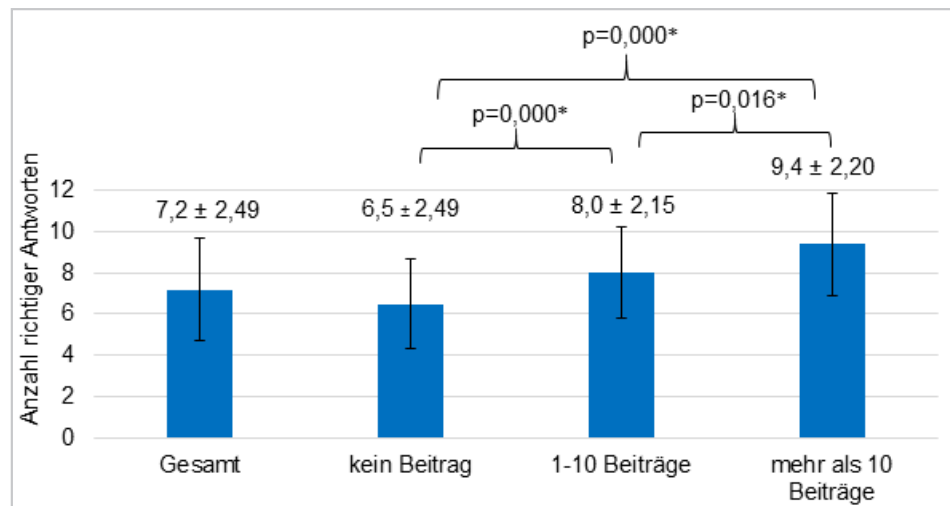


Abb. 3: Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung der richtig beantworteten Items nach Publikationsfrequenz;  $N(\text{Gesamt}) = 666$ ;  $N(\text{kein Beitrag}) = 393$ ;  $N(1-10 \text{ Beiträge}) = 241$ ;  $N(\text{mehr als } 10 \text{ Beiträge}) = 25$

Tab. 3: Gründe gegen die Dopingberichterstattung; wobei 1 = trifft überhaupt nicht zu; 5 = trifft voll und ganz zu

Item	MW	SD	N
Das Thema „Doping“ interessiert mich kaum	2,3	1,36	350
Ich fühle mich für diese Thematik nicht ausreichend ausgebildet	3,4	1,41	364
Ich fühle mich nicht kompetent	3,4	1,39	369
Das Risiko möglicher juristischer Konsequenzen ist mir zu groß	2,1	1,35	304
Dopingrecherche ist zu zeitintensiv	3,1	1,51	311
Dopingrecherche ist zu kostenintensiv	2,6	1,48	287

### 3.2 Ergebnisse der qualitativen Befragung

Die Leitfadengespräche variierten in ihrer Länge zwischen 35 Minuten und 80 Minuten und umfassten insgesamt ein Tonmaterial von 4 Stunden 36 Minuten. Es konnten hierbei sechs Hauptkategorien herausgebildet werden:

- › Wissen und Kompetenz
- › Redaktionelle Rahmenbedingungen
- › Anti-Doping-Kampf
- › Anti-Doping-Gesetz
- › Konstellationen der Dopingproblematik
- › Dopingberichterstattung.

Zum Themengebiet „Wissen und Kompetenz“ lässt sich summieren, dass die befragten Dopingexperten vielen der eigenen Kollegen durchaus defizitäre Kompetenzen zuschreiben. Dabei wird oftmals angeführt, dass Sportjournalisten ihren Berufswunsch aus der Motivlage des Sportfans ergriffen haben. Dadurch fehlen allerdings wichtige handwerkliche Fähigkeiten und zum Teil auch das nötige Fachwissen. Ein Interviewpartner meinte dazu:

*„Dann bin ich Berufsjubler und einer, der es über die Absperrung geschafft hat und dann kann ich halt nur das. Und das ist im Journalismus, im Sportjournalismus, leider nach wie vor ein großes Problem, dass es große Bildungs- und Ausbildungsdefizite gibt. Das ist durch dieses Quereinsteigertum, das ist natürlich einfach*

*Wahnsinn. Das müsste in einer separaten Expertenschiene laufen oder die müssten einfach wirklich mal durch die Schulung gehen.“*

Auf die Frage nach Voraussetzungen für Journalismus im Bereich Doping wurde ebenfalls die Bedeutung von Fachwissen betont, welches neben den handwerklichen Fähigkeiten wichtig sei für die journalistische Bearbeitung von schwerpunktbezogenen Themen:

*„Fachwissen. Ja, ganz sicher. Fachwissen oder in der Lage, Fachwissen schnell zu bekommen, wenn es mal sein muss, wenn man es nicht hat. [...] Und natürlich, was für jeden Journalisten gilt, in dem Gewerbe, in dem er unterwegs ist oder in dem Gewerk viel mehr – also Fernsehen, Radio oder Schreiben – natürlich auch Professionalität und Handwerk, klar. Und alle diese Dinge zusammenzukriegen. In wenigen Personen vereinigen sich diese Dinge nur. Es gibt ganz wenige, die all diese Fähigkeiten gleichzeitig mitbringen, glaube ich.“*

*„[...] wenn man sich spezialisiert, dann, das ist in anderen Bereichen auch so. Wirtschaftskriminalität oder sonst irgendwas, das ist etwas, wo man jahrelang dranbleiben muss an den Dingen, man muss wissen, wovon man redet, man muss tatsächlich auch lernen wollen. Also, Journalismus ist ja eigentlich, wenn man es ernsthaft betreibt, jeden Tag etwas lernen. Ist nicht so verbreitet im Journalismus.“*

Die Tiefeninterviews bieten also auch einen ersten Erklärungsansatz. Der zu betreibende Aufwand, den der zuletzt zitierte Journalist hier fordert, wird für viele seiner Berufskollegen, aber auch für einzelne Redaktionen, aufgrund wirtschaftlicher Limitierungen so nicht realisierbar sein.

## 4 Diskussion

Die Erhebung stellt eine der wenigen repräsentativen Befragungen von Sportjournalisten dar.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass Sportjournalisten eine eher geringe Publikationsfrequenz im Themenbereich Doping dokumentieren und damit Kritiken bestätigen, Sportjournalismus würde sich diesem Thema oftmals nicht genügend und differenziert widmen. Im Vergleich der Erhebungszeitpunkte sind die Publikationsfrequenzen der befragten Journalisten sogar noch einmal zurückgegangen. Bette und Schimank teilen Sportjournalisten in Bezug auf Doping in zwei Gruppen ein: Jene, die Dopingberichterstattung nicht sehen oder nicht sehen wollen, sei es aus persönlichen oder finanziellen Gründen und jenen, die investigativen Journalismus betreiben und sich umfangreich für die Dopingberichterstattung einsetzen (Bette & Schimank, 2006). Das Thema Doping wird tatsächlich nur von wenigen journalistischen Experten intensiv bearbeitet. Ob dies wirklich eine Unterrepräsentierung des Themas innerhalb des Sportteils darstellt, ist so noch nicht gezeigt worden.

Die Abfrage von Wissen im Rahmen von Online-Befragungen ist methodisch schwierig, dennoch wurde der Versuch unternommen, die Wissensbestände objektivierbar zu erfassen. Die Wissensbestände bei diesem komplexen und komplizierten Themengebiet sind bei vielen der befragten Journalisten eher gering. Obwohl das Thema Doping seit der Aufklärung des „russischen Staatsdopings“ 2014 und der Einführung des Anti-Doping-Gesetzes 2015 persistent in den Medien verankert war, hat sich der Wissensbestand nicht erhöht und muss sogar in einigen Bereichen als defizitär bezeichnet werden. Diesbezüglich wird von den „Experten“ in den Leitfadengesprächen auf den sprichwörtlichen „Fan, der es über die Absperrung geschafft hat“ verwiesen. Wenig überraschend ist hingegen, dass durch eine erhöhte Publikationsfrequenz und die damit steigende Beschäftigungsintensität ein Wissensvorsprung erreicht werden kann.

Das Problem Doping bleibt demnach auch eines im Sportjournalismus mit seinen Akteuren. Oftmals wird das Problem aber (sportjournalistisch) nur als Phänomen beschrieben. Synonym wird Phänomen auch als Ereignis oder Ausnahme bezeichnet. Und mit weniger als einem Prozent positiver Testergebnisse in Deutschland stellt sich Doping auch offiziell als solches dar, als Ausnahme, Einzelfall oder gar als Anomalie des Spitzensports. Gesellschaftlich betrachtet ist es kein Phänomen, sondern mit wissenschaftlich 14 % bis 39 % nachgewiesenen dopenden Athleten eben keine Besonderheit, sondern ein außerordentliches Problem (vgl. De Hon, Kuipers & van Bottenburg, 2014). Zu wenig ist demnach über die systemische Grundlage des Problems bekannt. Helfen werden langfristig nur Aus- und Fortbildung aller Akteure des „Kontstellations-effekts“ Doping.

## 5 Literatur

- Bette, K. H. (2007). „Die Massenmedien haben sich noch nicht als Mitverursacher des Dopingproblems entdeckt“. Ein Interview mit dem Sportsoziologen Karl-Heinrich Bette. In R. Meutgens (Hrsg.), *Doping im Radsport* (2. Aufl.) (S. 191-195). Delius Klasing Verlag.
- Bette, K. H. (2008). Doping im Leistungssport – zwischen individueller Schuld und kollektiver Verantwortung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (1), 5-11.
- Bette, K.-H. & Schimank, U. (2006): *Die Dopingfalle. Soziologische Betrachtungen*. transcript.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- De Hon, O., Kuipers, H. & van Bottenburg, M. (2014). Prevalence of doping use in elite sports: a review of numbers and methods. *Sports medicine*, 45 (1): 57-69.
- Denham, B. E. (2008). Calling out the heavy hitters: What the use of performance-enhancing drugs in professional baseball reveals about the politics and mass communication of sport. *International journal of sport communication*, 1 (1), 3-16.
- Dimeo, P. (2008). *A history of drug use in sport: 1876-1976: Beyond good and evil*. Routledge.
- Gläser, J., & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. Springer-Verlag.
- Leyendecker, H. (2006). Klebrige Nähe. Anmerkungen zur Korruption im modernen deutschen Sportjournalismus. In J. Weinreich, (Hrsg.), *Korruption im Sport*, (S. 228-240). Forum Verlag.
- Meier, H. E., Rose, A. & Hölzen, M. (2017). Spirals of Signification? A Corpus Linguistic Analysis of the German Doping Discourse. *Communication & sport*, 5 (3), 352-373.
- Schaffrath, M. (2006). *Spitzensport und Sportjournalismus: empirische Studie zum grundlegenden Verständnis der Beziehungen zwischen zwei Subsystemen und Akteurguppen*. Mediensport-Verlag.
- Schaffrath, M. (2010): Vermittler, Vermarkter und Verkäufer. Empirische Studie zum beruflichen Selbstverständnis von TV-Sportjournalisten. *Medien & Kommunikationswissenschaft*, 58 (2), 247-267.
- Schaffrath, M., Kautz, F. & Schulz, T. (2016). Kompetenzprobleme wegen Komplexität. Wissensdefizite von Sportjournalisten beim Thema Doping. *Medien & Kommunikationswissenschaft*, 64 (2), 219-243.
- Schaffrath, M., Schulz, T. & Kautz, F. (2018). *Wissen und Einstellungen von Sportjournalisten in Deutschland zu den Themen Doping und Dopingberichterstattung*. LIT Verlag.
- Seppelt, H., & Butler, N. (2019). *Das Fiasko im Fall Russland offenbart das Scheitern des Anti-Doping-Systems*. ARD Sportschau. Zugriff am 03.03.2019 unter <https://www.sportschau.de/hintergrund/Fiasko-im-Fall-Russland-100.html>
- Starke, C. & Flemming, F. (2017). Who is Responsible for Doping in Sports? The Attribution of Responsibility in the German Print Media. *Communication & sport*, 5 (2), 245-262.
- Weischenberg, S. (1994). „Annäherungen an die „Außenseiter“. Theoretische Einsichten und vergleichende empirische Befunde zu Wandlungsprozessen im Sportjournalismus. *Publizistik*, 4 (39), 428-452.



# Peakingstrategien im Spitzensport

(AZ 070507/19)

Andreas Hohmann (Projektleitung) & Micha Pietzonka

Universität Bayreuth, Institut für Sportwissenschaft

## 1 Problem

Ein wichtiges Ziel des bundesdeutschen Leistungssports muss sein, den ab den Olympischen Spielen von Atlanta 1996 bis Rio de Janeiro 2016 eingetretenen Abwärtstrend des deutschen Spitzensports nachhaltig umzukehren. Nachdem es in Sydney 2000 noch 56 und in Athen 2004 49 Medaillen waren, fiel der DOSB in Peking 2008 auf 41 Medaillen zurück. In London erreichte der DOSB noch 44 und in Rio de Janeiro erneut nur 42. Zumindest im Wintersport hat Deutschland seine führende Position von Vancouver 2010 mit dem hervorragenden Gesamtergebnis bei den Olympischen Winterspielen in Pyeongchang 2018 wiederherstellen können. Trotz dieser jüngsten Ergebnisse existieren nach wie vor gravierende Probleme bei der Leistungsentwicklung in einst erfolgreichen und medaillenträchtigen deutschen Sportarten.

Persönliche Bestleistungen zum „richtigen“ Zeitpunkt bei internationalen Großveranstaltungen sind zwar noch keine Garantie für das Podium der Medaillengewinner, aber zumeist unabdingbare Voraussetzung für das Erreichen zumindest des Finales. Die dazu erforderliche Leistungssteigerung von der Qualifikation hin zum Top-event bereitet selbst Spitzensportlern bisweilen Probleme, wie man in den zurückliegenden Jahren gerade am Abschneiden deutscher Weltmeisterschafts- oder Olympiateilnehmer feststellen konnte. Persönliche Bestleistungen bei solchen Megaevents sind nur möglich, wenn die sportliche Form des Athleten disziplin- und termingerecht auf den alles entscheidenden Wettkampfauftritt hin „zugespitzt“ wird. Der lang-, mittel- und kurzfristig strukturierte Prozess der Formzuspitzung wird international als Peaking bezeichnet.

In unserem Verständnis setzt Peaking auf einem langjährigen Leistungsaufbau (Systematisierung) auf und umfasst die komplexe Abstimmung einer gezielten Jahresplanung (Periodisierung) mit einer gezielten Hochbelastungsphase in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung (UWV), sowie zuletzt das Tapering als effektive Verbindung von Regenerations-, mentalen Regulations- und individualisiert geplanten Trainingsmaßnahmen zur termingenaue Wettkampfoptimierung.

## 2 Methode

Das qualitative Forschungsparadigma der Expertiseforschung nimmt sich der komplexen Problembezüge der Akteure an. Die offene Herangehensweise ermöglicht in besonderem Maße eine *gegenstandsadäquate Theoriebildung*. Um die vielfältigen Facetten erfolgreicher Peakingstrategien zu klären, wurde in Anbetracht der Themenvielfalt das *halbstandardisierte Leitfadenterviews* gewählt und eine Expertenbefragung bei einer Stichprobe von N = 21 Spitzentrainern aus folgenden elf Ausdauersportarten (siehe Abb. 1) durchgeführt:

### › Ausdauersportarten mit hohen Kraftanforderungen

Bahnradspport (1 Interview), Kanurennsport (1), Rudern (2), Eisschnelllauf (1)

### › Ausdauersportarten mit hohen Technikanforderungen

Schwimmen (4), Skilanglauf (3) und Biathlon (2), Nordische Kombination (1)

### › Ausdauersportarten mit besonders hohen Ausdaueranforderungen

Dauerlauf (3), Straßenradspport (1), Triathlon (2)



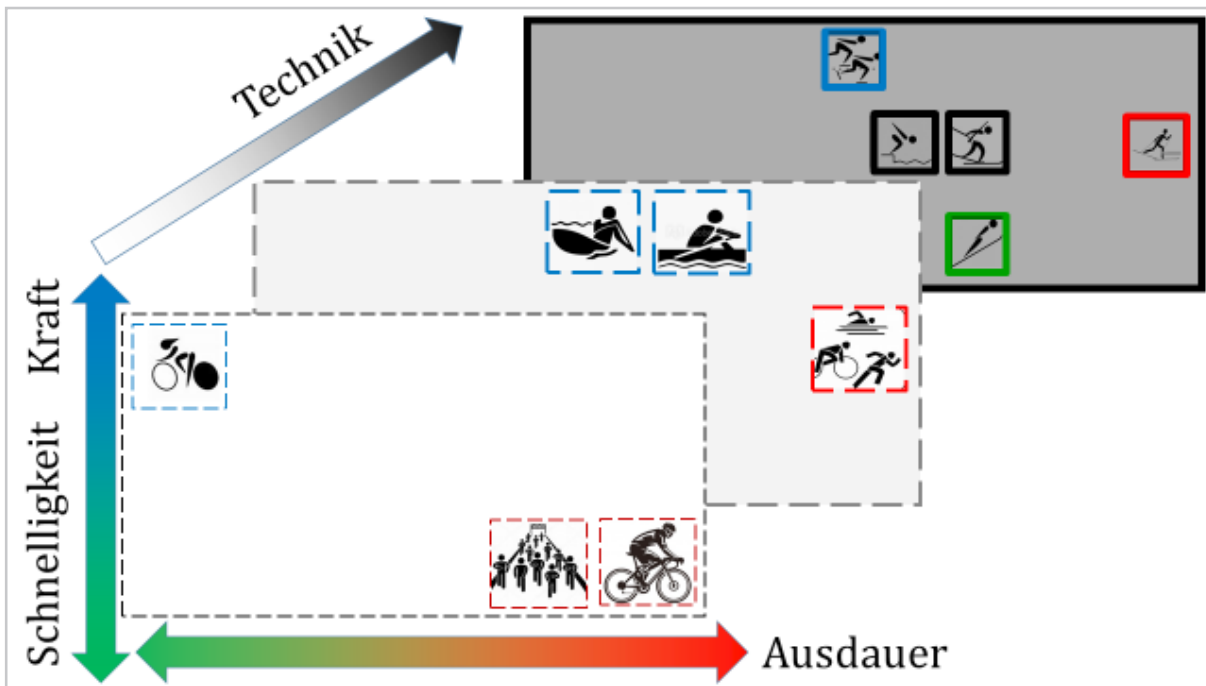


Abb. 1: Verortung der in die Peaking-Studie einbezogenen elf Ausdauersportarten in einem anforderungsorientierten Koordinatensystem

Das Forschungsinteresse lag beim Projekt Peaking darin, ein im qualitativen Sinne umfassendes Bild der erfolgreichen Trainingspraxis von Spitzentrainern des deutschen Ausdauersports aus trainingswissenschaftlicher Perspektive nachzuzeichnen. Ziel des Forschungsprojekts sind generalisierbare und wissenschaftlich überprüfbare Aussagen zu der Kernfrage:

*Welche theorie- und/oder erfahrungsbasierten Vorbereitungsstrategien im Sinne von Planungs- und Gestaltungsprinzipien, Trainingsziel- und Trainingsaufbaustrukturen, sowie Trainingsinhalten und -methoden werden von erfolgreichen Spitzentrainern in Deutschland bei der wettkampfbezogenen Formzuspitzung (Peaking) in ausgewählten Ausdauerdisziplinen ein- und umgesetzt?*

Zur Auswertung qualitativer Experteninterviews liegen vereinzelte Ansätze vor. Je nach Erkenntnisinteresse unterscheiden sich die Auswertungsverfahren aber nach ihrer deduzierenden oder induzierenden Kategorienbildung. Da unser Anliegen im Wesentlichen in der Rekonstruktion von Trainersichtweisen begründet

lag und neben womöglich neben Bekanntem auch die Offenheit für Neues gewährleistet werden sollte, wurde für die Analyse eine hermeneutisch-rekonstruktive Vorgehensweise ausgewählt. Für eine methodisch kontrollierte Analyse wurden die mit Tonband aufgezeichneten Interviews zunächst entsprechend den Konventionen des gesprächsanalytischen Transkriptionssystems (GAT, vgl. Selting et al., 1998) verschriftet und anonymisiert. Die Analyse selbst erfolgte in Anlehnung an das Kodierparadigma der Grounded Theory (vgl. Strauss, 1998) wurden die transkribierten Interviews unter Verwendung der Analyse-Software MAX-QDA® (Version 2018.2.0; Fa. Verbi) kodiert.

Es bleibt festzuhalten, dass die Studie nicht den Anspruch auf eine im statistischen Sinn verstandene Form der Repräsentativität erhebt. Wenngleich eine nicht geringe Anzahl an Spitzentrainern befragt wurde, lässt sich anhand der Einzelfälle (max. vier Trainer in einer Sportart, meistens waren es nur ein oder zwei) zwar ein cursorischer Überblick, aber nur bedingt eine „globale“ Generalisierung für alle anderen Ausdauersportarten übernehmen. Die reflexive Berücksichtigung der subjektiven Erfahrungen und sportspezifischen Sozialisationsmechanismen der Trainer erfordert daher notwendige

gerweise eine Darstellung der Ergebnisse, die nicht nur im Detail erklärt, sondern auch die unterschiedlichen Kontexte der Trainerideen herausarbeitet. Um die Anschlussfähigkeit der Erkenntnisse für die Trainingspraxis zu optimieren, flossen in die Datenauswertung nicht nur die detaillierten Wissensbestände zu Verfahren und Methoden des Trainings ein, sondern auch „Anekdoten“ und „Geschichten“ über Erfahrungen mit Athleten aus der Praxis des Trainingssalltags

### 3 Ergebnisse

Im Ergebnis der kodierten Transkripte wurden aus den Interviews von der Forschungsgruppe 1.483 Textsegmente mit einer eindeutigen inhaltlichen *Botschaft* (meaning units) extrahiert. In zwei nachfolgenden Arbeitsschritten wurden diese Botschaften in inhaltlichen Kategorien zusammengefasst und dann zu folgenden zwölf *sportartübergreifenden Themenkomplexen* (Theoriekomponenten) verdichtet: (1) „Tischmodell“ des Peakings (siehe Abb. 2), (2) systemdynamische Betrachtungsweise, (3) Erfolgsfaktoren, (4) Problemfaktoren, (5) Trainingsaufbau, (6) Trainingsformen, (7) Wettkampf, (8) Mentale Bereitschaft, (9) Regeneration, (10) Ernährung, (11) Olympiaqualifikation, (12) Trainerrolle.

Das erfolgsorientierte Handeln der Spitzen-trainer bei der Formzuspitzung ist grundsätzlich auf die *persönliche Bestleistung* bei einem fest terminierten, internationalen Großereignis ausgerichtet. Handlungsleitendes und entscheidungsrelevantes Kriterium ist grundsätzlich die Orientierung auf den maximalen sportlichen Erfolg bei diesem Event. Bei der Steuerung des individuellen Vorbereitungsprozesses nehmen erfolgreiche Spitzentrainer eine *systemdynamische Perspektive* ein, die durch eine erfahrungsbasierte und ganzheitlich angelegte Ursache-Wirkung-Folgen-Abschätzung charakterisiert werden kann. Dem Grundsatz der systemdynamischen Trainerperspektive entspricht eine weitgehende Partizipation der Spitzenathleten an der Planung des Vorbereitungsprozesses ebenso, wie eine vertrauensvolle gemeinsame Gestaltung der abschließenden Vorstartmaßnahmen am Wettkampfort selbst. Voraussetzung dafür ist auf der Seite des Athleten eine vorangegangene, mehrseitige Persönlichkeitsentwicklung hin zum selbstständigen Spitzensportler, und auf der Seite des Trainers die volle Übernahme der Verantwortung für die bestmögliche Entfaltung des Leistungspotenzials beim Hauptwettkampf. Aus der Zielstellung der persönlichen Bestleistung bei diesem fest terminierten internationalen Großereignis leiten sich



Abb. 2. Das „Tischmodell“ des Peakings im Spitzensport



vier Leitorientierungen der Wettkampfvorbereitung von Spitzenathleten ab, die das komplexe Handeln der Trainer unmittelbar bestimmen: (1.) die systematische Trainingsvorbereitung auf den Tag X, (2.) die Optimierung der mentalen Bereitschaft des Spitzensportlers am Tag X, (3.) die bestmögliche Regeneration vor dem Tag X, und (4.) die passende Ernährung im Hinblick auf den Tag X.

## 4 Diskussion

Vor dem Hintergrund einer originär trainingswissenschaftlichen Fragestellung muss der Einsatz des hier beschriebenen qualitativen Forschungsdesigns als Ausnahme in einer primär naturwissenschaftlich-quantitativ ausgerichteten Disziplin angesehen werden. Die Zielsetzung lag dementsprechend in der Erlangung eines Verständnisses über den konzeptionellen Umfang der Formzuspitzung und für die Komplexität der Problembezüge aus der Sicht der interviewten Trainergruppe. Anders ausgedrückt: Im Mittelpunkt der Untersuchung stand weniger die Perspektive des Forschenden, sondern vielmehr die Perspektive der Beforschten auf das Problem des Peakings. Im Rückblick hat sich die problemzentrierte Befragungsstudie in Form eines teilstandardisierten, leitfadengestützten Experteninterviews ausgezeichnet geeignet, um die inhaltlichen Merkmale von mentaler Vorbereitung, Trainingssystematiken, Regenerationsstrategien und Ernährungsmaßnahmen bei der Formzuspitzung im Spitzensport empirisch zu erheben und in Bezug auf den Grad ihrer Bewährung über verschiedene Ausdauersportarten hinweg vergleichen und bewerten zu können. Im Ergebnis der Studie hat sich eine im Vergleich zur ursprünglichen Struktur der thematischen Vorgaben des Leitfadens eine sehr stark sportartspezifisch ausgeprägte **Logik der subjektiven („egologischen“) Theorien** der erfolgreichen Spitzentrainergruppe herauskristallisiert. Mehr denn zuvor fühlen sich die Verfasser in ihrer Annahme bestärkt, dass auf der Basis der erhaltenen Erkenntnisse und eruierten Problemlagen weiterführende experimentelle Interventionsstudien aufsetzen sollten, die für die Formzuspitzung vor internationalen Großereignissen eine Klärung zu offen gebliebenen Details herbeiführen können. Im

Verhältnis zu quantitativen Studien repräsentieren die Ergebnisse des Peakingprojekts durch den explorativen, (re-)konstruktiven und theoriegenerierenden Charakter der eingesetzten Erhebungs- und Analysemethoden die Besonderheiten qualitativer Forschung:

Im Hinblick auf die Verwendbarkeit der Ergebnisse sei angemerkt, dass die vorliegenden Ergebnisse kein rezeptartiges Wissen darüber liefern, wie eine erfolgreiche Wettkampfvorbereitung mit dem Ziel der persönlichen Bestleistung eines Spitzenathleten eins zu eins zu praktizieren ist. Dies kann auch nicht der gewährleistende Anspruch dieser Studie sein. Die Diskussion der Ergebnisse hat vielmehr gezeigt, dass ein großes Interesse daran besteht, mehr über die Praxis einer erfolgreichen Wettkampfvorbereitung zu erfahren. Die Studie bildet aus trainingswissenschaftlicher Sicht einen ersten Schritt hinsichtlich der Möglichkeiten, Training in einem breiteren Kontext zu betrachten und psychosoziale Aspekte mit in die Betrachtung mit einzubeziehen.

## 5 Literatur

- Selting, M., Auer, P., Barden, B. Bergmann, J., Couper-Kuhlen, E., Günthner, S., Quasthoff, U., Meier, C., Schlobinski, P., & Uhmann, S. (1998). Gesprächsanalytisches Transkriptionssystem (GAT). *Linguistische Berichte* 173, 91-122.
- Strauss, A. (1998). *Grundlagen qualitativer Sozialforschung: Datenanalyse und Theoriebildung in der empirischen und soziologischen Forschung*. Fink.

# Erhöhte Kraft und Erholung nach geschwindigkeitsbasiertem Krafttraining im Rudern: Eine randomisiert kontrollierte Studie

(AZ 070513/19-20)

Steffen Held & Lars Donath (Projektleitung)

Deutsche Sporthochschule Köln, Abteilung für trainingswissenschaftliche Interventionsforschung

## 1 Einleitung

Da Rudern gleichermaßen hohe Ausdauer- (Ingham et al., 2002) und Kraftfähigkeiten (García-Pallarés & Izquierdo, 2011) erfordert, ist neben umfangreichem Ausdauertraining (Ingham et al., 2002) auch ein konsequentes Krafttraining (García-Pallarés & Izquierdo, 2011) notwendig. Da simultanes Kraft- und Ausdauertraining negativ miteinander interferieren kann (Wilson et al., 2012), werden Krafttrainingsmethoden ohne erschöpfende Wirkung empfohlen (García-Pallarés & Izquierdo, 2011). Eine derartige Krafttrainingsmethode ohne erschöpfende Wirkung stellt das geschwindigkeitsbasierte Krafttraining (velocity-based training; VBT) dar (Pareja-Blanco et al., 2020): Wenn die mittlere konzentrische Bewegungsgeschwindigkeit (*mean concentric velocity*; MCV) unter ein bestimmtes zuvor festgelegtes Niveau fällt, wird der Trainingssatz beendet, obwohl noch wenige weitere Wiederholungen bis zur Erschöpfung möglich gewesen wären. Dieses Vorgehen erscheint vor allem für Kraft-Ausdauer Disziplinen relevant, da traditionelles *one-repetition maximum* (1RM) basiertes Krafttraining bis zum Wiederholungsversagen (*traditional 1RM-based training to failure*; TRF) nicht zwangsläufig zu höheren Kraft oder Hypertrophie Anpassungen führt (Izquierdo-Gabarrén et al., 2009). Zusätzlich könnte eine übermäßige Ermüdung durch TRF nachfolgende (Ausdauer) Trainingseinheiten negativ beeinträchtigen (García-Pallarés & Izquierdo, 2011; Morán-Navarro et al., 2017).

Vor diesem Hintergrund wurden die Effekte von VBT mit 10 % Geschwindigkeitsverlust (VL10), im Vergleich zu TRF auf das 1RM und die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2max}$ )

untersucht. Zusätzlich wurden die Effekte von VL10 und TRF auf den Erholungs- und Stressstatus (Nässi et al., 2017) hin untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie könnten einen nennenswerten Einfluss auf die Konzeption des Krafttrainings im Rudern und anderen Kraftausdauerdisziplinen haben.

## 2 Methoden

*Probanden und Design:* Mit Hilfe der *Minimization*-Methode (Scott et al., 2002) (Strata:  $\dot{V}O_{2max}$ , Summe aller Krafttestergebnisse ( $Strength_{Total}$ ), Alter, Körperhöhe, Körpermasse und Geschlecht) wurden 21 gut trainierte Ruderer (4 weiblich, 17 männlich;  $19,6 \pm 2,1$  years;  $1,83 \pm 0,07$  m;  $74,6 \pm 8,8$  kg;  $\dot{V}O_{2max}$ :  $64,9 \pm 8,5$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) entweder der VL10 (N = 11) oder TRF (N = 10) Gruppe zugeordnet.  $\dot{V}O_{2max}$  (Ruderergometer-) Rampentests (Treff et al., 2018) und 1RM Krafttests (McCurdy et al., 2004) der Übungen Kniebeuge (*squat*; SQ1RM), Kreuzheben (*deadlift*; DL1RM), Bankziehen (*bench row*; BR1RM) und Bankdrücken (*bench press*; BP1RM) wurden jeweils als PRE und POST Diagnostik durchgeführt. Das Studienprotokoll entspricht den internationalen ethischen Standards und wurde von der lokalen Ethikkommission (165/2019) bewilligt.

*Training:* Beide Gruppen absolvierten 2 wöchentliche Krafttrainingseinheiten (VL10 vs. TRF), wobei *power clean*, *squat*, *bench row*, *deadlift* und *bench press* in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt wurden. Die relative Last (80 % 1RM), Anzahl der Trainingssätze (4) und Satzpausen (2-3 min) waren in VL10 und TRF identisch. Der 10 % Geschwindigkeitsverlust bei VL10 wurde durch ein akustisches Signal ange-

zeigt (*Speed4lifts encoder, Speed4lifts*, Madrid, Spanien). Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, die konzentrische Phase aller Übungen mit der maximal intendierten konzentrischen Geschwindigkeit durchzuführen. Zusätzlich zum VL10- oder TRF-Krafttraining absolvierten beide Gruppen ihr tägliches Ausdauertraining im gleichen Umfang.

*Monitoring:* Neben den Trainingsdaten (*Low intensity Training, LiT; Threshold Training, ThT; High intensity Training, HiT; Krafttraining, Strength*) (Seiler, 2010) wurde auch die wahrgenommene Trainingsintensität (*perceived training intensity; RPE; CR-10 scale*) (Foster et al., 2001) erfasst. Zusätzlich wurde der multidimensionale Erholungs- und Stresszustand mit Hilfe der *Kurzskala für Erholung und Belastung (KEB)* (Nässi et al., 2017) täglich protokolliert. Zur weiteren Datenanalyse wurden die mittlere Änderung, die *overall recovery (ΔOR)* und der *overall stress (ΔOS)* für 24 und 48 Stunden nach dem Krafttraining (in Bezug auf die Werte vor dem Krafttraining) erfasst.

*Statistik:* Alle Daten werden als Mittelwert ± Standardabweichung dargestellt. Ein-faktorielle (VL10 vs. TRF) Varianzanalysen (ANOVA) wurden für die anthropometrische Daten, die Trainingsdaten, den mOS, die mOR und die wahrgenommene Trainingsintensität berechnet. Für jeden Zielparameter (SQ1RM, DL1RM, BR1RM, BP1RM, StrengthTOTAL,  $\dot{V}O_{2max}$ ,  $P_{VO2MAX}$ , ΔOS und ΔOR) wurden jeweils 2 (Gruppe: VL10 vs. TRF) x 2 (Zeit: PRE vs. POST) Varianzanalysen mit wiederholten Messungen (rANOVA) berechnet. Bei signifikanten Gruppen x Zeit Interaktionen wurden zusätzliche *Bonferoni post-hoc Tests* durchgeführt. Ein *p*-Wert ≤ 0,05 wurde als statistisch signifikant angesehen.

### 3 Ergebnisse

*Kraft:* Die rANOVA zeigte signifikante Gruppen x Zeit Interaktionen für SQ1RM, BR1RM, BP1RM und Strength<sub>Total</sub> (Tab. 1). Anschließende *post-hoc Tests* ergaben signifikant (*p* < 0,001; SMD > 0,654) höhere Steigerungen von SQ1RM, DL1RM, BR1RM, BP1RM und Strength<sub>Total</sub> zugunsten von VL10 (Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht der Zielparameter (Mittelwert ± Standardabweichung) für das geschwindigkeitsbasierte Krafttraining mit einem maximal 10 %-igen Geschwindigkeitsverlust (VL10) und das traditionelle 1RM-basierte krafttraining bis zum repetition failure (TRF). Zusätzlich werden *p*-Werte, Effektgrößen ( $\eta^2$ ) der rANOVA; prozentuale PRE zu POST change scores und standardisierten Mittelwertdifferenzen (SMD) für den Vergleich zwischen den Gruppen angegeben. Post-hoc Signifikanzen sind markiert (\*\*\*: *p* < 0,001; \*\*: *p* < 0,01; \*: *p* < 0,05; ns: *p* > 0,05).

Test	VL10 pre	VL10 post	change score	SMD	TRF pre	TRF post	change score	SMD	time	group x time
$\dot{V}O_{2max}$ [ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ]	64,4 ± 7,3	66,3 ± 7,6	+3,8 ± 7,5 %	0,255 <sup>ns</sup>	65,5 ± 9,7	67,6 ± 8,9	+3,3 ± 8,2 %	0,225 <sup>ns</sup>	<i>p</i> = 0,020 $\eta_p^2$ = 0,265	<i>p</i> = 0,552 $\eta_p^2$ = 0,020
$P_{VO2MAX}$ [W]	382 ± 49	409 ± 63	+5,5 ± 5,1 %	0,481 <sup>ns</sup>	372 ± 51	392 ± 55	+7,0 ± 7,3 %	0,378 <sup>ns</sup>	<i>p</i> = 0,012 $\eta_p^2$ = 0,300	<i>p</i> = 0,506 $\eta_p^2$ = 0,025
SQ1RM [%]	123,3 ± 8,6	153,8 ± 26,5	+24,8 ± 12,7 %	1,582 <sup>***</sup>	131,4 ± 25,2	143,7 ± 28,3	+9,3 ± 3,0 %	0,460 <sup>**</sup>	<i>p</i> = 0,872 $\eta_p^2$ = 0,001	<i>p</i> = 0,001 $\eta_p^2$ = 0,452
DL1RM [%]	160,3 ± 28,8	192,4 ± 27,5	+21,6 ± 17,1 %	1,139 <sup>***</sup>	167,9 ± 30,6	186,7 ± 32,2	+11,4 ± 5,6 %	0,599 <sup>**</sup>	<i>p</i> = 0,028 $\eta_p^2$ = 0,242	<i>p</i> = 0,145 $\eta_p^2$ = 0,114
BR1RM [%]	108,1 ± 13,3	117,4 ± 14,1	+8,8 ± 7,3 %	0,680 <sup>***</sup>	109,4 ± 15,5	111,5 ± 14,3	+2,2 ± 4,7 %	0,141 <sup>**</sup>	<i>p</i> = 0,124 $\eta_p^2$ = 0,126	<i>p</i> = 0,031 $\eta_p^2$ = 0,232
BP1RM [%]	93,5 ± 18,3	106,1 ± 20,3	+13,7 ± 8,1 %	0,654 <sup>***</sup>	95,8 ± 16,1	102,4 ± 16,3	+7,1 ± 4,1 %	0,408 <sup>ns</sup>	<i>p</i> = 0,306 $\eta_p^2$ = 0,058	<i>p</i> = 0,022 $\eta_p^2$ = 0,259
Strength <sub>Total</sub> [%]	485,4 ± 68,2	569,7 ± 70,4	+18,0 ± 11,3 %	1,217 <sup>***</sup>	504,4 ± 79,8	544,2 ± 83,6	+8,0 ± 2,9 %	0,488 <sup>***</sup>	<i>p</i> = 0,099 $\eta_p^2$ = 0,144	<i>p</i> = 0,014 $\eta_p^2$ = 0,293

$\dot{V}O_{2max}$ : maximale Sauerstoffaufnahme;  $P_{VO2MAX}$ : Leistung an der  $\dot{V}O_{2max}$ ; SQ1RM: squat Einer-Wiederholungsmaximum (1RM) in Relation zur Körpermasse; DL1RM: deadlift 1RM in Relation zur Körpermasse; BR1RM: bench row 1RM in Relation zur Körpermasse; BP1RM: bench press 1RM in Relation zur Körpermasse; Strength<sub>Total</sub>: Summe der squat, deadlift, bench row und bench press 1RMs in Relation zur Körpermasse

**Ausdauer:**  $\dot{V}O_2\text{max}$  und  $P_{\text{VO}_2\text{MAX}}$  zeigten zwar signifikante Zeiteffekte, jedoch keine Gruppen  $\times$  Zeit Interaktionen (Tab. 1).

**Trainingsprotokolle:** TRF und VL10 zeigte keine signifikanten Baseline-Unterschiede ( $p \geq 0,540$ ;  $\eta_p^2 \leq 0,028$ ;  $\text{SMD} \leq 0,280$ ). Abgesehen von der Gesamtwiederholungszahl ( $p = 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,028$ ;  $\text{SMD} = 3,450$ ) zeigten die Trainingsprotokolle keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p \geq 0,614$ ;  $\eta_p^2 \leq 0,029$ ;  $\text{SMD} \leq 0,240$ ). *Post-hoc* Tests ergaben signifikant ( $p < 0,001$ ;  $\text{SMD} = -3,45$ ) höhere Gesamtwiederholungszahlen für TRF (mittlere Wiederholungszahl pro Satz:  $8,8 \pm 0,9$ ) im Vergleich zu VL10 (mittlere Wiederholungszahl pro Satz:  $6,7 \pm 0,3$ ). RPE während des Krafttrainings zeigte signifikante Interaktionseffekte ( $p = 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,610$ ) zu Gunsten ( $p = 0,001$ ;  $\text{SMD} = -2,519$ ) von VL10 ( $6,8 \pm 0,8$  a. u.) im Vergleich zu TRF ( $8,7 \pm 0,7$  a. u.). RPE des restlichen Trainings zeigte keine signifikanten Effekte für VL10 ( $3,6 \pm 1,0$  a. u.) und TRF ( $4,0 \pm 1,0$  a. u.).

**Kurzskala für Erholung und Belastung:**  $\Delta\text{OS}$  (Abb. 1A) und  $\Delta\text{OR}$  (Abb. 1B) zeigten signifikante Gruppen  $\times$  Zeit Interaktionseffekte. *Post-hoc* Tests ergaben keine signifikanten ( $p = 0,498$ ;  $\text{SMD} = -0,52$ )  $\Delta\text{OS}$  Unterschiede zwischen VL10 und TRF für die Daten 24 h nach dem Krafttraining, aber signifikante ( $p = 0,000$ ;  $\text{SMD} = 4,03$ ) Unterschiede für 48 h POST Krafttrainingsdaten. Darüber hinaus nahm  $\Delta\text{OS}$  24 bis 48 h nach dem Krafttraining bei VL10 signifikant ab (von  $0,3 \pm 0,5$  auf  $-0,2 \pm 0,3$  u. a.;  $p = 0,000$ ;  $\text{SMD} = -1,213$ ) und stieg bei TRF signifikant an (von  $0,1 \pm 0,2$  auf  $0,7 \pm 0,1$  u. a.;  $p < 0,001$ ;  $\text{SMD} = -3,80$ ). In Bezug auf die  $\Delta\text{OS}$  zeigten die *post-hoc* Tests einen signifikanten Unterschied zwischen VL10 und TRF für die 24 ( $p = 0,001$ ;  $\text{SMD} = -5,69$ ) und 48 h ( $p = 0,001$ ;  $\text{SMD} = -6,50$ ) POST Krafttrainingsdaten. Während  $\Delta\text{OR}$  bei VL10 keine signifikanten Unterschiede (von  $0,0 \pm 0,1$  auf  $0,0 \pm 0,2$  a. u.;  $p = 0,636$ ;  $\text{SMD} = 0,00$ ) der 24 zu 48 h POST Krafttraining Daten zeigte, waren bei TRF signifikante Rückgänge (von  $-0,9 \pm 0,2$  auf  $-1,3 \pm 0,2$  a. u.;  $p = 0,001$ ;  $\text{SMD} = 2,00$ ) zu beobachten.

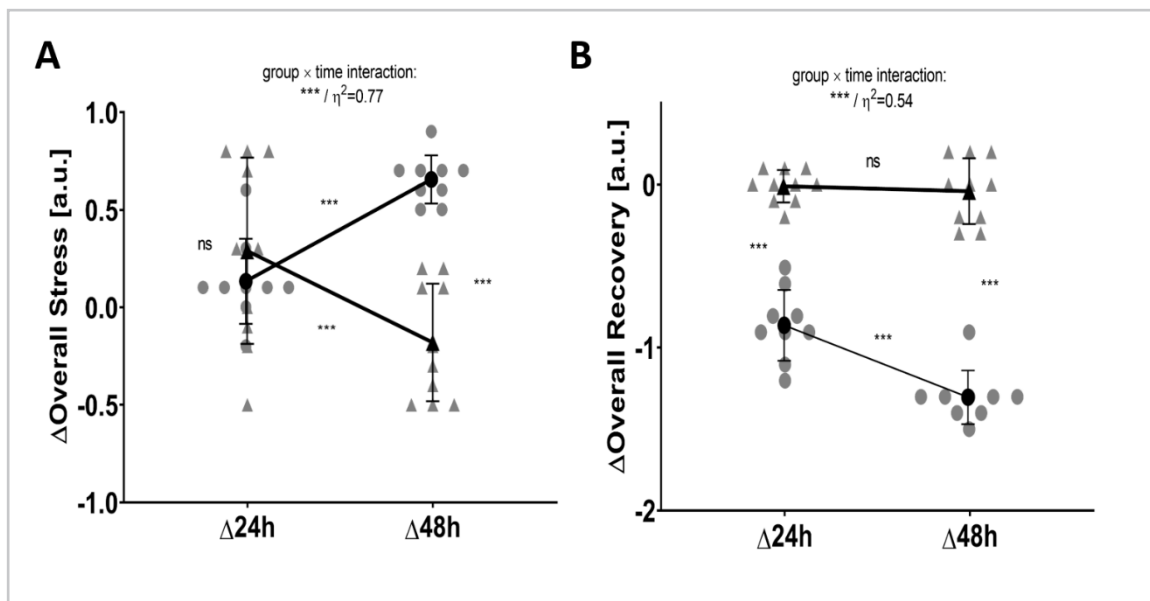


Abb. 1: Mittlere change scores des overall stress ( $\Delta\text{OS}$ ; A) und overall recovery ( $\Delta\text{OR}$ ; B) 24 und 48h nach dem Krafttraining (in Bezug zu vor dem Krafttraining) für das geschwindigkeitsbasierte Krafttraining mit einem 10 %-igen Geschwindigkeitsverlust (VL10: Dreiecke) und das traditionelle 1RM-basierte Widerstandstraining bis zum repetition failure (TRF: Kreise). Zusätzlich werden Gruppenmittelwerte in schwarz und individuellen Werte in grau angegeben. Die Signifikanz und Effektgröße ( $\eta^2$ ) der rANOVA und *post-hoc* Ergebnisse sind angegeben (\*\*\*:  $p < 0,001$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*:  $p < 0,05$  ns:  $p > 0,05$ ).



## 4 Diskussion

Diese zweiarmige randomisiert kontrollierte Studie betrachtete die Auswirkungen von VL10 im Vergleich zu TRF auf das 1RM und die  $\dot{V}O_2\text{max}$ . Zusätzlich wurden Erholungs- und Stresdaten erhoben. Unsere Ergebnisse konnten zeigen, dass 8 Wochen VL10 im Vergleich zu TRF zur größeren Anpassung der *squat*, *deadlift*, *bench row* und *bench press* 1RM führten, während gleichzeitig weniger Erholungsbedarf nötig zu sein scheint (Abb. 1). Obwohl VL10 zu geringeren Stressbeanspruchungen (Abb. 1) und weniger Gesamtwiederholungen beim Krafttraining führte, konnten ähnliche Verbesserungen der  $\dot{V}O_2\text{max}$  und der Leistung an der  $\dot{V}O_2\text{max}$  in beiden Gruppen beobachtet werden. Während die wahrgenommene Trainingsintensität beim Krafttraining für VL10 (im Vergleich zu TRF) signifikant niedriger war, zeigte die wahrgenommene Trainingsintensität des übrigen Trainings keine signifikanten Effekte.

Generell scheinen 1RM Anpassungen durch simultanes Kraft- und Ausdauertraining negativ beeinflusst zu werden (García-Pallarés & Izquierdo, 2011). Daher scheint ein moderates Krafttrainingsvolumen, welches nicht bis zur Erschöpfung ausgeführt wird, eine gute Alternative für das Erreichen größerer Kraft- und Ruderleistungszuwächse (im Vergleich zu höheren Trainingsvolumina bis zum Wiederholungsversagen) zu sein (García-Pallarés & Izquierdo, 2011; Izquierdo-Gabarrén et al., 2009). Diese vorherigen Ergebnisse wurden durch unsere Daten bestätigt, da die Interventionsgruppe (kein Wiederholungsversagen) im Vergleich zur Kontrollgruppe (Wiederholungsversagen) sogar leicht überlegene Kraftanpassungen zeigte. Während eines solchen *concurrent training* Ansatzes beschleunigt der *“not to repetition failure approach“* die Erholung vom Krafttraining und ermöglicht möglicherweise höhere Leistungen in anschließenden Trainingseinheiten (García-Pallarés & Izquierdo, 2011).

In diesem Zusammenhang lieferte der Geschwindigkeitsverlust während eines Satzes eine gute Schätzung der *repetitions in reserve* und erlaubte somit eine objektive Bewertung des Anstrengungsniveaus während des Krafttrainings (Rodríguez-Rosell et al., 2019). Daher verringerte ein geringerer Geschwindigkeitsverlust die Gesamtzahl der Wiederholungen (Pareja-Blanco et al., 2017; Pareja-Blanco et al., 2020) und führte zu geringeren metabolischen (Laktat, Ammoniak) Ermüdungs-Parametern (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Dies steht im Einklang mit unseren Ergebnissen, da geschwindigkeitsbasiertes Krafttraining im Vergleich zu TRF zu einer geringeren Gesamtwiederholungszahl und einer geringeren wahrgenommenen Trainingsintensität (beim Krafttraining) führte. Dieses Ergebnis könnte sich auf eine verringerte trainingsinduzierte Belastung beim geschwindigkeitsbasierten Krafttraining beziehen. Die beobachteten niedrigeren *overall stress* und höheren *overall recovery* Daten beim geschwindigkeitsbasierten Krafttraining zeigten, dass die geringere akute Ermüdung (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011) auch auf Erholungsdaten 24 und 48 h nach dem Krafttraining übertragbar waren.

Insgesamt deuten die vorliegenden Daten darauf hin, dass VL10 größere Kraftanpassungen trotz reduzierter trainingsinduzierter Belastung (verringertes bzw. erhöhtes *overall stress* und *overall recovery*) induzierte. Dementsprechend stellt VL10 eine vielversprechende und vorteilhafte Alternative zum traditionellen Krafttraining bis zu TRF dar. Die verkürzte Erholungszeit nach VBT könnte den Trainern und Athleten ermöglichen, eine weitere hochintensive Ausdauerbelastung im Wochenplan zu platzieren. Zukünftige Forschungen sollten die Interferenzeffekte von VL10 in Kraftausdauersportarten untersuchen. Darüber hinaus sollten die Auswirkungen von VL10 in anderen Ausdauersportarten wie Laufen, Radfahren oder Schwimmen untersucht werden.

## 5 Literatur

- Foster, C., Florhaug, J., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1, 109-115.
- García-Pallarés, J., & Izquierdo, M. (2011). Strategies to optimize concurrent training of strength and aerobic fitness for rowing and canoeing. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(4), 329-343. <https://doi.org/10.2165/11539690-000000000-00000>
- Ingham, S., Whyte, G., Jones, K., & Nevill, A. (2002). Determinants of 2,000 m rowing ergometer performance in elite rowers. *European Journal of Applied Physiology*, 88(3), 243-246. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0699-9>
- Izquierdo-Gabarrén, M., González de Txabarri Expósito, R., García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Sáez de Villarreal E, S., & Izquierdo, M. (2009). Concurrent Endurance and Strength Training Not To Failure Optimizes Performance Gains. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(6), 1. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c67eec>
- McCurdy, K., Langford, G. A., Cline, A. L., Doscher, M., & Hoff, R. (2004). The reliability of 1- and 3RM tests of unilateral strength in trained and untrained men and women. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3(3), 190-196.
- Morán-Navarro, R., Pérez, C. E., Mora-Rodríguez, R., de la Cruz-Sánchez, E., González-Badillo, J. J., Sánchez-Medina, L., & Pallarés, J. G. (2017). Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. *European Journal of Applied Physiology*, 117(12), 2387-2399. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3725-7>
- Nässi, A., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Kellmann, M. (2017). Development of two short measures for recovery and stress in sport. *European Journal of Sport Science*, 17(7), 894-903. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1318180>
- Pareja-Blanco, F., Alcazar, J. J., Sánchez-Valdepeñas, J., Cornejo-Daza, P. J., Piqueras-Sanchiz, F., Mora-Vela, R., Sánchez-Moreno, M., Bachero-Mena, B., Ortega-Becerra, M., & Alegre, L. M. (2020). Velocity Loss as a Critical Variable Determining the Adaptations to Strength Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(8). <https://journals.lww.com/10.1249/MSS.0000000000002295>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J. A. L. L., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(7), 724-735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Sánchez-Medina, L., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2019). Relationship Between Velocity Loss and Repetitions in Reserve in the Bench Press and Back Squat Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002881>
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725-1734. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318213f88>
- Scott, N., McPherson, G., Ramsay, C., & Campbell, M. (2002). The method of minimization for allocation to clinical trials: a review. *Controlled Clinical Trials*, 23(6), 662-674. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12505244>
- 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. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20861519>

- 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. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0716>
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P., & Anderson, J. C. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2293-2307. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3e2d>

# Steigerung der Laufökonomie durch trainingsinduzierte Umverteilung des muskulären Outputs in den unteren Extremitäten

(AZ 070604)

Falk Mersmann, Sebastian Bohm, Alessandro Santuz & Adamantios Arampatzis (Projektleitung)  
Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Sportwissenschaft

## 1 Problem

Die sportliche Leistung in Ausdauerlaufdisziplinen hängt von der Wechselwirkung folgender Faktoren ab:

- › Der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2_{max}}$ ),
- › der Fähigkeit, einen hohen prozentualen Anteil der  $VO_{2_{max}}$  für eine lange Zeit aufrechtzuerhalten und
- › der Fähigkeit, energieeffizient laufen zu können (Foster & Lucia, 2007; Barnes & Kilding, 2015).

Die ersten beiden Faktoren wurden in der Vergangenheit sehr intensiv als Hauptdeterminanten der sportlichen Leistung in Langstrecklaufdisziplinen untersucht. Dabei ist unumstritten, dass eine hohe  $VO_{2_{max}}$  die Voraussetzung für exzellente Leistungen im Ausdauerdisziplinen ist und dass es Langstreckenläuferinnen bzw. -läuferinnen mit einer  $VO_{2_{max}}$  unter 70 ml/kg/min quasi unmöglich, ist Weltklasseleistungen zu erbringen (Saltin et al., 1995; Saunders et al., 2004; Foster & Lucia, 2007). Dennoch existieren viele Beispiele aus dem Leistungssport, bei denen Langstreckenläufer bzw. -läuferinnen mit gleicher  $VO_{2_{max}}$  erhebliche Unterschiede in ihrer sportlichen Leistung aufweisen (Saltin et al., 1995; Prommer et al., 2010), die sich auf die Laufökonomie zurückführen lassen. Die Eigenschaften von Sehnen, dem kraftübertragenden Bindegewebe zwischen Muskel und Knochen, beeinflussen grundlegend die Effizienz der Muskelkraftgenerierung und können damit die Laufökonomie mitbestimmen.

Der Zusammenhang zwischen den mechanischen Eigenschaften der Achillessehne und der Laufökonomie konnte bereits dokumentiert werden (Arampatzis et al., 2006; Fletcher et al., 2010; Albracht & Arampatzis, 2013). Dennoch, fehlen in der internationalen Literatur Informationen zu allgemeingültigen Mechanismen, die die Laufökonomie determinieren, und infolgedessen ist es schwierig, geeignete Trainingsmaßnahmen im Leistungssport zu etablieren.

Das Ziel des dargelegten Forschungsprojektes war es, die Überprüfung der These, dass eine Verbesserung der Laufökonomie durch eine trainingsinduzierte Erhöhung der Steifigkeit der Achillessehne und der kontraktilen Kapazität der Plantarflexoren mit einer Vorverlagerung des Kraftangriffspunktes (Mittelfußlaufen) assoziiert sei. Um den Mechanismus der erwarteten Verbesserung der Laufökonomie (Albracht & Arampatzis, 2013) identifizieren zu können, wurden, neben der Sauerstoffaufnahme beim Laufen und den Eigenschaften der Muskel-Sehnen-Einheit, die Position des Kraftangriffspunktes der Bodenreaktionskraft und die Faserdynamik des M. Soleus beim Laufen gemessen.

## 2 Methode

Insgesamt 36 erfahrene Langstreckenläufer und -läuferinnen wurden für das Forschungsprojekt rekrutiert und randomisiert einer Kontroll- (N = 17; Alter: 31 ± 3 Jahre; Größe: 175 ± 9 cm; Masse: 69 ± 10) und einer Interventionsgruppe (N = 19; Alter: 29 ± 5 Jahre; Größe: 178 ± 8 cm; Masse: 73 ± 8 kg) zugeordnet. Das Interventions-training wurde an den Plantarflexoren durchgeführt, mit dem Ziel die Steifigkeit der Achillessehne und das maximale Plantarflexionsmoment



zu erhöhen. Die Teilnehmenden der Experimentalgruppe absolvierten über 14 Wochen, nach einer 3-wöchigen Eingewöhnungsphase mit zwei Einheiten pro Woche, 3 bis 4 mal wöchentlich ein Training mit wiederholten isometrischen Plantarflexionen (4 Wiederholungen, 3 s Belastung, 3 s Entlastung, 5 Sätze pro Trainingstag) bei 90 % des maximalen willkürlichen isometrischen Plantarflexionsmomentes (MVC; Arampatzis et al., 2007)), ohne ihr geplantes Lauftraining zu verändern.

Die Laufökonomie wurde bestimmt, indem die Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) beim Laufen in zwei verschiedenen Geschwindigkeiten (2.5 und 3.0 m/s, 6 Minuten jeweils) auf dem Laufband gemessen wurde. Die Laufökonomie wurde als Mittelwert der gemessenen  $VO_2$ -Werte innerhalb der jeweils letzten 3 Minuten bestimmt. Die kinematischen Parameter (Stützzeit, Flugzeit, Schrittfrequenz, Gelenkwinkelverläufe und Fußaufsatzindex) wurden während des Laufens auf dem Laufband gemessen. Dazu wurde ein Vicon Motion Capturing System (Vicon, Oxford, U.K.) mit zehn Kameras (250 Hz Aufnahme-frequenz) und die integrierte Druckverteilungsmessplatte im Laufband genutzt. In der Interventionsgruppe wurde zusätzlich vor und nach der Intervention das Faserverhalten des Soleus-muskel (als größter Muskel der Plantarflexoren) während des Laufens gemessen. Für die Bestimmung des maximalen Plantarflexionsmomentes wurden MVCs an vier verschiedenen Fußgelenkwinkeln zwischen  $90^\circ$  (Fußsohle senkrecht zur Tibia) und dem maximalen passiven Dorsiflexionswinkel mit einem Kniewinkel von  $180^\circ$

(Knie gestreckt) durchgeführt. Die Bestimmung der Längenänderung der Achillessehne als Grundlage der Steifigkeitsberechnung erfolgte während maximaler Plantarflexionen (Kniewinkel  $180^\circ$  und Fußgelenkwinkel  $90^\circ$ ). Der Muskelsehnenübergang des M. gastrocnemius medialis zur Achillessehne wurde mit einer linearen Ultraschallsonde (7.5 MHz, ESAOTE MyLab 60) während der Plantarflexion registriert und nachfolgend analysiert (Arampatzis et al., 2007).

Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mittels des Shapiro-Wilk Tests. Zur Bestimmung der jeweiligen interventionsbedingten Veränderungen wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung und der Zeit (pre, post) und, bei den Laufparametern, Geschwindigkeit (2.5 m/s, 3.0 m/s) als Innersubjektfaktor sowie Gruppe (Intervention, Kontrolle) als Zwischensubjektfaktor durchgeführt. Im Falle von Haupt- oder Interaktionseffekten wurde eine Bonferroni-Holm-korrigierte *post hoc* Analyse durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

Die erhobenen Laufparameter zeigten keine signifikanten Haupteffekte oder Zeit\*Gruppe-Interaktionen für den Fußaufsatzindex, die Bodenkontaktzeit, die Flugzeit oder die Kadenz ( $p > 0.05$ ). Bei der Sauerstoffaufnahme waren die Haupteffekte Zeit und Gruppe signifikant ( $p < 0.05$ ). Dabei war die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme in Nachuntersuchung niedriger als in der Baseline und geringer in der Interventions- im Vergleich zur Kontrollgruppe (Tab. 1).

Tab. 1: Laufparameter vor und nach einem 14-wöchigen Sehnentraining und in der Kontrollgruppe

		Sehnentraining		Kontrollgruppe	
		PRE	POST	PRE	POST
Fußaufsatzindex	2.5 m/s	0.08 ±0.12	0.10±0.16	0.05 ±0.02	0.05 ±0.03
	3.0 m/s	0.08 ±0.15	0.10 ±0.15	0.05 ±0.01	0.05 ±0.01
Bodenkontaktzeit [ms]	2.5 m/s	319±26	322 ±22	330 ±18	328 ±25
	3.0 m/s	285 ±21	288 ±18	295 ±11	292 ±16
Flugzeit [ms]	2.5 m/s	53 ±31	53 ±24	48 ±29	50 ±31
	2.5 m/s	53 ±31	53 ±24	48 ±29	50 ±31
Kadenz [Schritte/min]	2.5 m/s	161.9 ±8.8	160.6 ±8.6	159.5 ±10.6	159.0 ±8.6
	3.0 m/s	167.6 ±9.0	166.1 ±8.4	163.7 ±11.4	164.3 ±10.3
Sauerstoffaufnahme [ml/min/kg]	2.5 m/s	30.3 ±1.9	28.9 ±1.9*	31.2 ±4.0	31.1 ±2.4
	3.0 m/s	35.2 ±1.5	33.9 ±1.9*	36.9 ±3.7	36.8 ±2.8

\* signifikanter Effekt der Zeit, † signifikanter Effekt der Gruppe ( $p < 0.05$ ).

\* Signifikanter Unterschied zu PRE (*post hoc* Analyse;  $p < 0.05$ )

Die *post hoc* Vergleiche zeigten eine signifikante Reduktion der Sauerstoffaufnahme bei beiden Laufgeschwindigkeiten in der Interventions- ( $p < 0.05$ ), nicht aber in der Kontrollgruppe ( $p > 0.05$ ).

Es zeigten sich signifikante Zeit\*Gruppe-Interaktionen ( $p < 0.05$ ) bei dem maximalen Plantarflexionsmoment und der normierten Sehnensteifigkeit mit einer jeweiligen signifikanten Zunahme in der Interventionsgruppe ( $p < 0.05$ ) und unveränderten Werten in der Kontrollgruppe ( $p > 0.05$ ). Keine Haupt- oder Interaktionseffekte fanden sich hinsichtlich der Dehnung der Sehne während der maximalen willkürlichen isometrischen Rampenkontraktionen ( $p > 0.05$ ; Tab. 2).

muskuläre Arbeit während der Stützphase des Laufens zu verrichten und mechanische Energie zu produzieren (Lai et al., 2015; Bohm et al., 2019). Die Effizienz ist dabei definiert als der Anteil der durch die Hydrolyse von ATP freigesetzten Energie, der in mechanische Arbeit umgewandelt wird und beschreibt damit das Verhältnis aus der verrichteten Arbeit zur Summe aus Arbeit und entstehender Wärmeenergie (Barclay & Weber, 2004; Lichtwark & Wilson, 2007). Es gibt experimentelle Evidenz, dass es eine optimale Verkürzungsgeschwindigkeit im Sinne der Arbeitseffizienz gibt (Hill, 1964; Barclay, Constable & Gibbs, 1993). Betrachtet man vor diesem Hintergrund den zeitlichen Verlauf der Verkürzungsgeschwindigkeit der Soleusfasern vor

Tab. 2: Muskelkraft und Sehneigenschaften vor und nach der 14-wöchigen Trainingsintervention Sehnenstraining und in der Kontrollgruppe.

	Sehnenstraining		Kontrollgruppe	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>MVC [Nm] #</b>	228.4 ± 49.9	250.8 ± 42.3*	213.8 ± 38.1	207.9 ± 32.3
<b>Steifigkeitnorm [kN/Dehnung] #</b>	84.8 ± 35.9	111.0 ± 59.3*	70.9 ± 28.6	69.5 ± 26.8
<b>Dehnung [%]</b>	5.2 ± 1.3	5.2 ± 1.3	5.6 ± 0.9	6.0 ± 1.3

MVC = Maximales willkürliches Plantarflexionsmoment

Steifigkeitnorm = Steifigkeit normiert auf die Ruhelänge der Sehne

# signifikante Zeit\*Gruppe Interaktion ( $p < 0.05$ )

## 4 Diskussion

Im Forschungsprojekt sollte untersucht werden, ob die Verbesserung der Laufökonomie mit einer Erhöhung der Steifigkeit der Achillessehne und der kontraktilen Kapazität der Plantarflexoren in Verbindung mit einer Vorverlagerung des Kraftangriffspunktes steht. Zwar war die Trainingsintervention hinsichtlich der Steigerung von Laufökonomie, Muskelkraft und Sehnensteifigkeit wirksam, doch zeigte sich keine Verschiebung des Kraftangriffspunktes. Damit muss die Hypothese zurückgewiesen und ein anderer Mechanismus zur Aufklärung der verbesserten Laufökonomie in Betracht gezogen werden.

Für die Aufrechterhaltung einer gegebenen Laufgeschwindigkeit (und der entsprechenden kinetischen Energie) besteht die Notwendigkeit,

und nach der Trainingsintervention (Abb. 1A), zeigen sich niedrigere Verkürzungsgeschwindigkeiten zu Beginn und am Ende, sowie höhere Geschwindigkeiten in der mittleren Stützphase nach dem Sehnenstraining. Die Verkürzungsgeschwindigkeit befindet sich dabei dichter am Effizienz Maximum (normierte Verkürzungsgeschwindigkeit von  $0.18 [V/V_{\max}]$ ; Hill, 1964; siehe auch Barclay, 2015), insbesondere in der ersten Hälfte der Stützphase (Abb. 1B), als vor der Intervention. Das bedeutet, dass in der Hauptaktivitätsphase des Muskels, in der Arbeit generiert wird, der Muskel nach der Intervention effizienter gearbeitet hat und sich somit die Energiekosten für die Produktion der notwendigen mechanischen Arbeit für das Laufen reduzieren konnten. Berechnet man die mittlere Effizienz der Stützphase, zeigt sich demnach eine signifikante Zunahme infolge der Intervention.

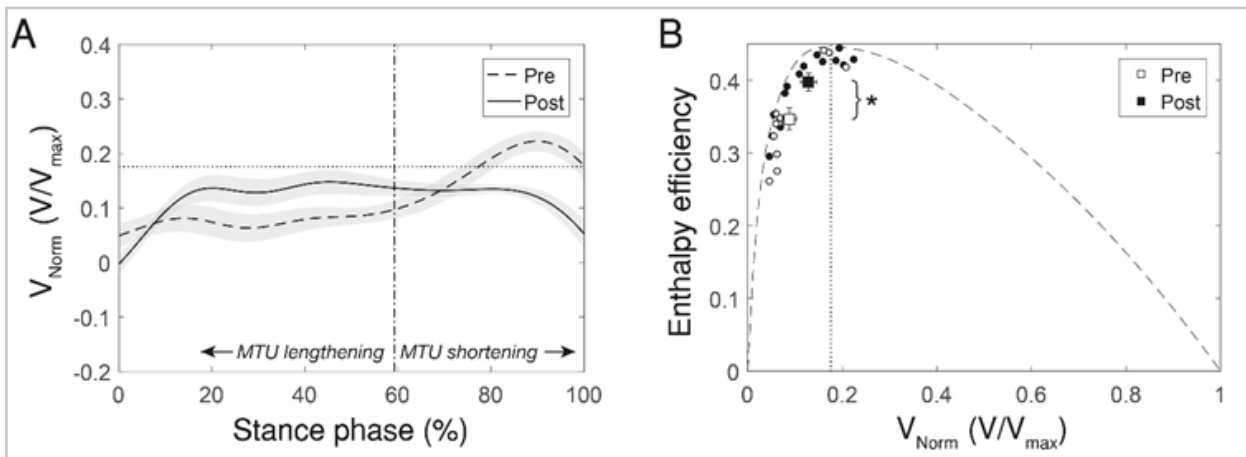


Abb. 1: **(A)** Fasergeschwindigkeit des Soleusmuskels ( $V_{\text{Norm}}$ ; normiert auf die maximale Verkürzungsgeschwindigkeit  $V_{\text{max}}$ ) über die Stützphase beim Laufen mit 2.5 m/s vor und nach einem 14-wöchigen Sehnentraining. Die horizontale Linie kennzeichnet die Geschwindigkeit, bei der mit höchster Effizienz mechanische Energie erzeugt werden kann. Die schattierten Bereiche zeigen die Standardabweichung.

**(B)** Effizienz der mechanischen Energieerzeugung des Soleusmuskels als Funktion der Verkürzungsgeschwindigkeit. Die vertikale Linie kennzeichnet das Effizienz-Maximum. Die Fasern arbeiteten nach der Intervention über einen größeren Bereich dichter am Effizienz-Maximum, wodurch eine signifikant höhere mittlere Effizienz erreicht wurde.

\* signifikanter Unterschied zwischen pre und post ( $p < 0.05$ ).

Zusammenfassend, konnte gezeigt werden, dass sich die Laufökonomie durch eine trainingsinduzierte Zunahme der Kraftkapazität der Plantarflexoren und Steifigkeit der Achillessehne verbessern lässt. Die Steigerung der Laufökonomie scheint auf einer Verbesserung der Effizienz der Muskelkontraktion zu beruhen. Das bedeutet, dass die notwendige mechanische Energie, die während der Stützphase produziert werden muss, durch eine Optimierung der Faserverkürzungsgeschwindigkeit mit geringerem metabolischem Aufwand erzeugt werden kann.

## 5 Literatur

- Albracht, K., & Arampatzis, A. (2013). Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 1605–1615. doi:10.1007/s00421-012-2585-4
- Arampatzis, A., De Monte, G., Karamanidis, K., Morey-Klapsing, G., Stafilidis, S., & Brüggemann, G.-P. (2006). Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. *Journal of Experimental Biology*, 209, 3345–3357. doi:10.1242/jeb.02340

- 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, 2743-2753. doi:10.1242/jeb.003814
- Barclay, C. J. (2015). Energetics of contraction. *Comprehensive Physiology* 5, 961-995. doi:10.1002/cphy.c140038
- Barclay, C. J., Constable, J. K., & Gibbs, C. L. (1993). Energetics of fast- and slow-twitch muscles of the mouse. *The Journal of Physiology*, 472, 61-80. doi:10.1113/jphysiol.1993.sp019937
- Barclay, C. J., & Weber, C. L. (2004). Slow skeletal muscles of the mouse have greater initial efficiency than fast muscles but the same net efficiency. *The Journal of Physiology (London)*, 559, 519-533. doi:10.1113/jphysiol.2004.069096
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine – Open* 1, 8-15. doi:10.1186/s40798-015-0007-y
- Bohm, S., Mersmann, F., Santuz, A., & Arampatzis, A. (2019). The force-length-velocity potential of the human soleus muscle is related to the energetic cost of running. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological sciences*, 286, 20192560. doi:10.1098/rspb.2019.2560
- Fletcher, J. R., Esau, S. P., & MacIntosh, B. R. (2010). Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 110, 1037-1046. doi:10.1007/s00421-010-1582-8
- Foster, C., & Lucia, A. (2007). Running Economy: The Forgotten Factor in Elite Performance. *Sports Medicine*, 37, 316-319. doi:10.2165/00007256-200737040-00011
- Hill, A. V. (1964). The efficiency of mechanical power development during muscular shortening and its relation to load. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological sciences*, 159, 319-324. doi:10.1098/rspb.1964.0005
- Lai, A., Lichtwark, G. A., Schache, A. G., Lin, Y.-C., Brown, N. A. T., & Pandy, M. G. (2015). In vivo behavior of the human soleus muscle with increasing walking and running speeds. *Journal of Applied Physiology Bethesda Md* 118, 1266-1275. doi:10.1152/jappphysiol.00128.2015
- Lichtwark, G. A., & Wilson, A. M. (2007). Is Achilles tendon compliance optimised for maximum muscle efficiency during locomotion? *Journal of Biomechanics*, 40, 1768-1775. doi:10.1016/j.jbiomech.2006.07.025
- Prommer, N., Thoma, S., Quecke, L., Gutekunst, T., Völzke, C., Wachsmuth, N., et al. (2010). Total hemoglobin mass and blood volume of Elite Kenyan runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 791-797. doi:10.1249/MSS.0b013e3181badd67
- Saltin, B., Larsen, H., Terrados, N., Bangsbo, J., Bak, T., Kim, C. K., et al. (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5, 209-221. doi:10.1111/j.1600-0838.1995.tb00037.x
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34, 465-485. doi:10.2165/00007256-200434070-00005



# Automatische zeitkontinuierliche Bestimmung markanter Körperpunkte auf Sportlern sowie daraus abgeleiteter Ereignisse in Videos am Beispiel der Start/Wende im Schwimmen und dem Weit-/Dreisprung in der Leichtathletik

(AZ 070603/18-19)

Moritz Einfalt<sup>1</sup>, Ronald Berndt<sup>2</sup>, Stefan Fuhrmann<sup>2</sup>, Luis Mendoza<sup>3</sup>  
& Rainer Lienhart<sup>1</sup> (Projektleitung)

<sup>1</sup>Universität Augsburg, Institut für angewandte Informatik,  
Lehrstuhl für Multimedia und maschinelles Sehen

<sup>2</sup>Olympiastützpunkt Hamburg/Schleswig-Holstein, Trainingswissenschaft Schwimmen

<sup>3</sup>Olympiastützpunkt Hessen, Trainingswissenschaft Weit-/Dreisprung

## 1 Problemstellung

Videoaufzeichnungen von Spitzensportlerinnen und -sportlern bilden in allen Sportarten eine wesentliche Grundlage für die Einschätzung der Qualität der Bewegungsausführung und die Aufdeckung von Verbesserungsmöglichkeiten. Im Routinebetrieb der leistungsdiagnostischen Untersuchungen an den Diagnosezentren der Deutschen Sportverbände und der jeweiligen Landesverbände werden oft nur qualitative Bewertungen der Bewegungsabläufe (Expertenurteile) durchgeführt, weil quantitative Analysen nach wie vor mit einem großen personellen Aufwand verbunden sind. Dieser Aufwand kann nur in Einzelfällen durchgeführt werden. Ziel des Projekts war die Entwicklung eines Systems zur automatischen Auswertung – also ohne mühsame und arbeitsintensive manuelle Annotation – von Videoaufnahmen in zwei konkreten Anwendungsszenarien: Seitliche Unterwasseraufnahmen eines Mehrkamerasystems der Start- und Wendephasen im Schwimmen am Olympiastützpunkt (OSP) Hamburg/Schleswig-Holstein sowie Trainings- und Wettkampfaufnahmen mit einer Schwenkkamera im Weit- und Dreisprung des OSP Hessen. Der Fokus lag hierbei auf einer vollautomatischen Verarbeitung mit Verfahren des maschinellen Sehens, welche die bisher händisch auf diesen Videoauf-

nahmen durchgeführten Auswertungen an den beiden OSPs ersetzen kann. Dazu muss das System zum einen zeitkontinuierliche Information über die Körperpose als Konfiguration charakteristischer Gelenkpunkte der Athletin/des Athleten aus den Videobildern extrahieren. Daraus können anschließend benötigte Parameter in der 2D-Bildebene, etwa Positions-, und Winkelangaben, abgeleitet werden. Zum anderen muss das System den beobachteten Bewegungsablauf zeitlich indizieren, um eine Extraktion der Parameter zu den richtigen Zeitpunkten zu ermöglichen.

Neben der Automatisierung der schon existierenden Auswertungen eröffnet eine automatische Videoanalyse neue Möglichkeiten auf dem Gebiet der Leistungsdiagnostik: Mit einer neuen Größenordnung in Tiefe und Umfang der quantitativen Auswertungen können in Zukunft so auch neue Erkenntnisse für die Trainings- und Sportwissenschaft gewonnen werden.

## 2 Methode

Im Rahmen des Antragsforschungsprojekts wurde das System *DeepSportsPose* entworfen und implementiert, welches die Testperson im Schwimmen bzw. im Weit-/Dreisprung zeitkontinuierlich detektiert, deren Gelenkkonfiguration im Bild schätzt und mit Hilfe der



entstehenden Zeitreihe relevante Ereignisse im Bewegungsablauf markiert. Bisher werden die Videoaufnahmen von Trainingswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern manuell ausgewertet. Dazu muss die Position charakteristischer Gelenke oder anderer Körperpunkte in ausgewählten, für den Bewegungsablauf relevanten Einzelbildern händisch markiert werden. Der OSP Hamburg/Schleswig-Holstein etwa veranschlagt für die quantitative Auswertung im Schwimmen pro Startsprung ca. 15 Minuten für die dafür notwendige manuelle Annotation der Videoaufnahmen, welche für die eigentliche Arbeit mit den Athletinnen und Athleten fehlen. Das entwickelte *DeepSportsPose* System stellt eine vollautomatische Alternative dar und basiert in erster Linie auf Methoden des maschinellen Lernens. Dazu wird das Gesamtproblem in mehrere Einzelschritte unterteilt. Im ersten Schritt wird in den Videoaufnahmen, interpretiert als Sequenz von Einzelbildern, die relevante Testperson detektiert. Damit ergibt sich in jedem Einzelbild eine Schätzung für die Position der Person, und die tatsächlich relevante Bildregion kann eingegrenzt werden. Dies ist insbesondere notwendig, um die anschließende Posenschätzung (Detektion von Gelenken und anderen Körperpunkten) auf diesen Bereich zu limitieren und mögliche Falschdetektionen zu reduzieren. Gleichzeitig kann so die Testperson von anderen im Videobild sichtbaren Personen abgegrenzt werden. Anders als in vergangenen Projekten werden in *DeepSportsPose* Personendetektion und Posenschätzung gemeinsam in einem Verarbeitungsschritt durchgeführt. Dazu wurde basierend auf der Originalformulierung (He, 2017) ein erweitertes tiefes neuronales Netz entwickelt, welches die Testperson auf Einzelbildern detektieren und die definierten Körperpunkte in einem iterativen Prozess räumlich sehr präzise lokalisieren kann. Das Optimieren dieses Modells funktioniert dabei rein datenbasiert. Über eine entsprechend große Menge an Videoaufnahmen samt Expertenannotationen wird die Ausgabe des neuronalen Netzes ständig mit dem Sollwert verglichen und mittels eines maschinellen Lernverfahrens hin zu einer besseren Vorhersage optimiert. Die Ausgabe des Netzes besteht aus der Position der Testperson (sowie potentiell weiterer Personen im Bild)

samt zugehöriger Posenschätzung. Letztere ist als Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Anwesenheit eines Gelenks an jedem Bildpixel codiert.

Da die Verarbeitung bis zu diesem Punkt nur auf Einzelbildern arbeitet, werden die erhaltenen Detektionen mit einer robusten zeitlichen Verfolgung (engl. *Tracking*) über die Videoaufnahme hinweg gefiltert. Damit kann einerseits der Bewegungspfad der Testperson klar von anderen Personen getrennt werden. Andererseits ist im Falle des Mehrkameranzenarios im Schwimmen die Person meist nur in einer der Ansichten zu sehen. Durch das sukzessive Tracking kann die Videobildverarbeitung auf die jeweils für ein Bewegungsintervall relevante Kamera beschränkt und somit die Gesamtlaufzeit des Systems erheblich verkürzt werden. Das Tracking basiert auf händisch ausgewählten Detektionsstatistiken (Personengröße, Bewegungsrichtung, Posenkonfiguration), welche datenbasiert gewichtet und kombiniert werden.

Ausgehend von den zeitlich konsistenten Körperposen der Testperson über die Gesamtaufnahme hinweg müssen anschließend noch fest definierte Ereignisse im zeitlichen Bewegungsablauf identifiziert werden. Im Anwendungsfall von Start-/Wendeaufnahmen im Schwimmen sind dies unter anderem Absprung, Eintauchen und erster Beinschlag (Start), sowie Einleiten der Wende, Fußkontakt mit dem Beckenrand und das Passieren von Positionsmarkierungen (Wende). Für den Weit- und Dreisprung sind es Beginn und Ende jedes Fußkontaktes mit dem Boden sowie die Landung in der Sandgrube. Aufgrund der statischen Kameraansichten einerseits und einer nur geringen Menge an Daten mit annotierten Ereignissen andererseits kommen für Start/Wende hier händisch entworfene Entscheidungsregeln zum Einsatz. Diese kombinieren Statistiken der zeitlichen Posensequenz mit optimierbaren Parametern, um das Auftreten der Ereignisse zu detektieren. Mithilfe des deutlich größeren Datenbestands an Weit- und Dreisprungaufnahmen mit zugehörigen Ereignisannotationen wurde für diesen Anwendungsfall ein zusätzliches tiefes neuronales Netz ausschließlich für die Ereignisdetektion entworfen.

Ausgehend von der Basisarchitektur (Bai, 2018) wurde eine Variante entwickelt, welche aus detektierten Posensequenzen (d. h. ohne das eigentliche Bildmaterial) die diskreten Ereignisse mit sehr hoher zeitlicher Präzision identifizieren kann. Dabei kann dieses Modell insbesondere mit den unterschiedlichen Kameraansichten bei Trainings- und Wettkampfaufnahmen umgehen.

Abschließend lassen sich an den detektierten Zeitpunkten die gesuchten Parameter aus der Posensequenz extrahieren. Dies kann entweder bereits innerhalb von *DeepSportsPose* erfolgen oder durch ein einheitliches Dateiformat in der schon bisher an den OSPs verwendeten Software.

### 3 Ergebnisse

Im Folgenden wird die Detektionsleistung sowohl für Posen als auch für die zeitlichen Ereignisse evaluiert. Dazu werden zuerst die detektierten Posen auf 600 (Start/Wende) bzw. 1000 (Weit-/Dreisprung) separat annotierten Einzelbildern ausgewertet. Abb. 1 zeigt qualitative Beispiele von automatisch erzeugten Detektionen.

Als quantitatives Gütemaß für geschätzte Posen wird das in der Posenschätzung übliche *PCK*-Maß (engl.: *Percentage of Correct Keypoints*, Prozentsatz der korrekt detektierten Schlüsselpunkte) verwendet. Dieses Maß beschreibt prozentual die Menge der korrekt erkannten Körperpunkte bei einer maximalen Schwellwertdistanz zur Expertenannotation. Abb. 2 (Seite 4) zeigt die erreichten *PCK*-Werte. Der *PCK*-Schwellwert gibt dabei den Anteil der Oberkörperlänge an, der als maximale Abweichung erlaubt ist.

Die Güte der Extraktion zeitlicher Ereignisse wird auf separaten Videoaufnahmen mit insgesamt 1000 (Weit-/Dreisprung) bzw. 1800 (Start/Wende) annotierten Ereignissen gemessen. Als Gütekriterien werden Sensitivität und Genauigkeit unter einer maximal erlaubten zeitlichen Abweichung von Videobildern berechnet. Um die Güte mit einem einzigen Wert abbilden zu können, wird das  $F_1$ -Maß als harmonisches Mittel von Sensitivität und Genauigkeit verwendet. Abb. 3 und 4 (Seite 4) zeigen die erreichten  $F_1$ -Werte in Abhängigkeit von  $\Delta t=1$ . Dabei entspricht einer zeitlichen Abweichung von 20 ms (Start/Wende) bzw. 5 ms (Weit-/Dreisprung).

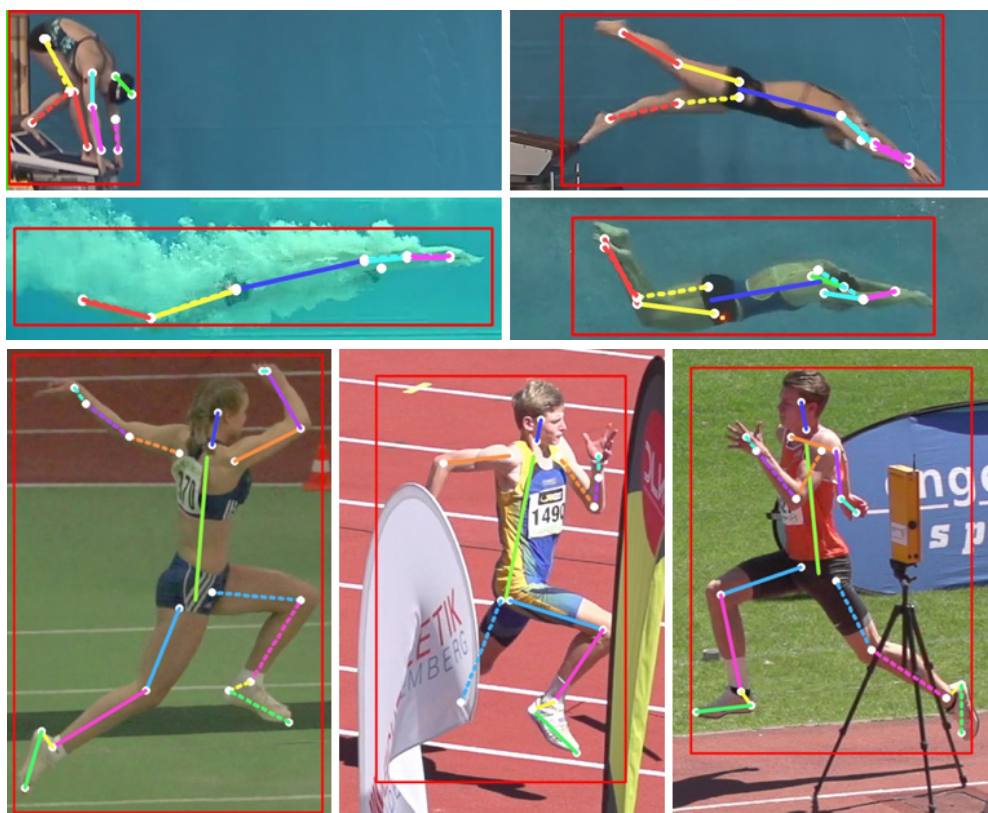


Abb. 1: Qualitative Beispiele der automatischen Personendetektion (rote Region) und Posenschätzung auf Einzelbildern. Oben: Startsprung. Unten: Weit-/Dreisprung.

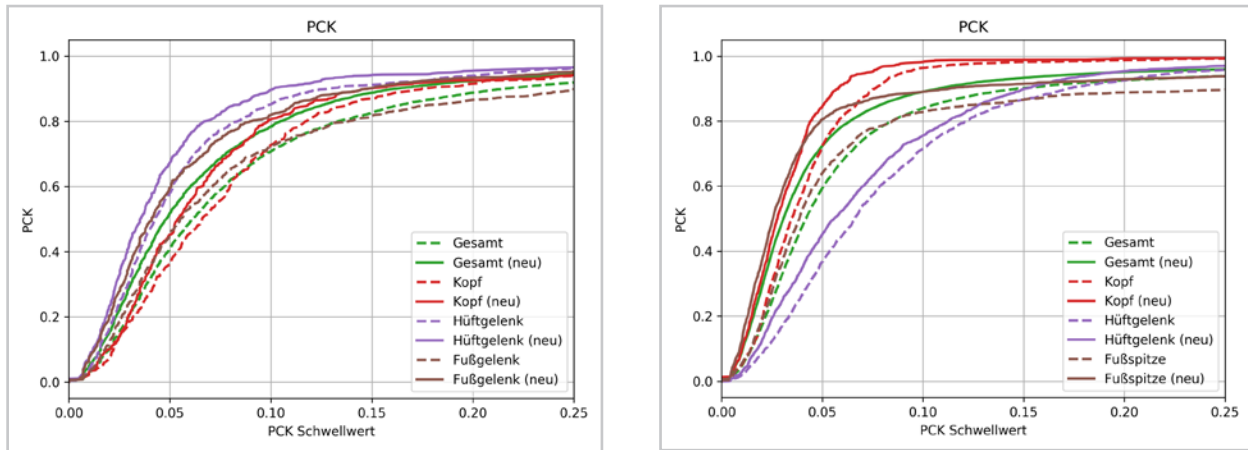


Abb. 2: Verlauf der Detektionsrate für verschieden Körperpunkte. Vergleich zwischen reiner Einzelbildverarbeitung und zusätzlichem zeitlichem Tracking („neu“). Links: Start/Wende. Rechts: Weit-/Dreisprung.

### 4 Diskussion

Abb. 2 zeigt, dass für Start/Wende nach Einzelbildverarbeitung und zeitlicher Nachverarbeitung ein PCK@0,2 Wert von 0,92 gemittelt über alle Körperpunkte („Gesamt“) erreicht wird. Dies bestätigt den qualitativen Eindruck aus Abb. 1, dass prinzipiell der Großteil aller Körperpunkte detektiert werden kann. Auffällig ist jedoch die starke Abnahme der Detektionsleistung bei strikteren PCK Schwellenwerten von 0,1 und 0,05. Dies zeigt, dass die besonderen Herausforderungen unter Wasser eine sehr präzise Lokalisierung der Körperpunkte erschweren. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass menschliche Annotatoren den gleichen Herausforderungen unterliegen. Deshalb ist gerade für den Vergleich bei PCK@0,05, wo häufig nur eine Abweichung von wenigen Pixeln erlaubt ist, nicht auszuschließen, dass auch die fehlende Genauigkeit

der Annotationen zum geringen Detektionsergebnis beiträgt. Insgesamt können dennoch über die gesamten Aufnahmen hinweg sinnvolle Posensequenzen extrahiert werden.

Für den Weit- und Dreisprung werden insgesamt bessere Ergebnisse erzielt. Der geringste Unterschied zum Schwimmen zeigt sich in Abb. 2 bei PCK@0,2, mit einer Gesamtdetektionsleistung von 0,95. Deutliche Unterschiede werden erst bei den strikteren PCK Auswertungen sichtbar. Gerade der Wert von 0,89 bei PCK@0,1 zeigt, dass hier ein Großteil der Körperpunkte sehr präzise lokalisiert werden kann. Weiterhin zeigt Abb. 2, dass die zeitliche Nachverarbeitung die Detektionsgüte für alle Körperpunkte und alle betrachteten Anwendungsfälle hinweg konsistent verbessert. Für die Detektion zeitlicher Ereignisse im Schwimmen ist in Abb. 3 die Detektionsleistung für die verschiedenen Ereignisse einzeln aufgetragen.

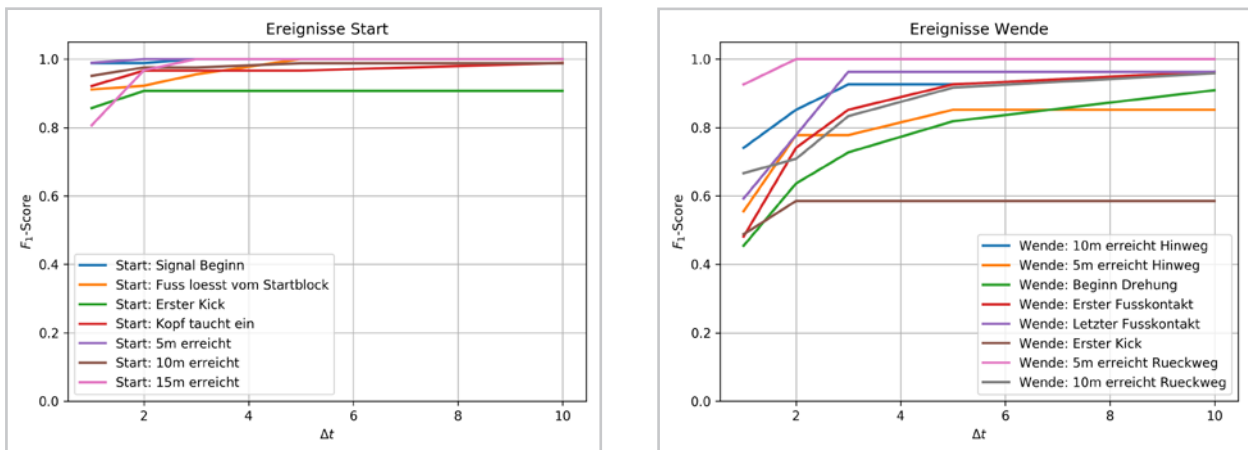


Abb. 3: Quantitative Auswertung der automatischen Ereignisdetektion für Start- (links) und Wendeaufnahmen (rechts).

Es ist zu beachten, dass keine Detektionsleistung für  $\Delta t=0$  angegeben ist. Eine Auswertung auf diesem Präzisionslevel ist wenig aussagekräftig, da auch menschliche Annotationen um mindestens ein Bild abweichen können. Für Startaufnahmen können ab einer erlaubten Abweichung von zwei Bildern alle Ereignistypen mit mindestens 0,9  $F_1$ -Score detektiert werden. Bei noch mehr erlaubter Abweichung nähern sich die Ergebnisse immer weiter dem Maximum 1,0 an. Auch das Signallicht zu Beginn jeder Startaufnahme konnte mittels Bildverarbeitung durchgängig korrekt detektiert werden. Die einzige Ausnahme bildet der erste Beinschlag, welcher in etwa 10 % aller Testaufnahmen nicht oder falsch detektiert wurde. Dennoch sind die Ergebnisse in einem Gütebereich, in dem sie für den produktiven Einsatz genutzt werden können. Die erzielten Ergebnisse bei Wendeaufnahmen sind deutlich variabler. Hier erreichen die meisten Ereignistypen erst ab einer erlaubten Abweichung von drei Bildern zufriedenstellende Detektionsraten mit einem  $F_1$ -Score über 0,85. Die entwickelte Ereignisdetektion funktioniert auch hier gut für die Durchgänge bei 5 m/10 m/15 m und den Fußkontakt mit der Beckenwand. Die Detektionen für das Einleiten der Drehung und den ersten Beinschlag sind deutlich unzuverlässiger. Ob diese in der Praxis Anwendung finden können, muss sich daher erst zeigen.

Abschließend zeigt Abb. 4 die quantitativen Ergebnisse für die Ereignisdetektion im Weit-/Dreisprung mittels eigenständigem neuronalen Netz.

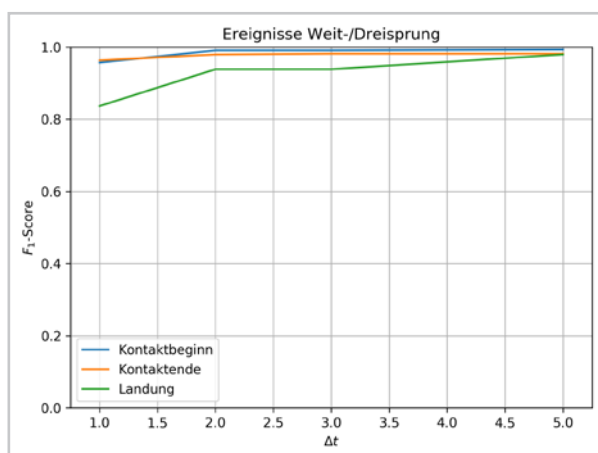


Abb. 4: Quantitative Auswertung der automatischen Ereignisdetektion für Weit- und Dreisprung.

Für die bodenkontakt-basierten Ereignisse wird bereits auf dem höchsten Präzisionslevel mit einer maximalen Abweichung von nur einem Bild ein  $F_1$ -Score von 0,96 erreicht. Die Detektionsleistung steigt weiter auf ein Maximum von 0,99  $F_1$ -Score bei einer erlaubten Abweichung von drei Bildern. Dabei liegt die Genauigkeit fast bei 1,0. Dies zeigt, dass der entwickelte Ansatz für diese Ereignisse nahezu keine Fehldetektionen erzeugt. Für die Landung in der Sandgrube ergibt sich eine geringere Detektionsleistung von 0,84 und 0,94  $F_1$ -Score bei einer maximalen Abweichung von  $\Delta t=1$  bzw.  $\Delta t=3$ . Dies ist vermutlich vor allem der Tatsache geschuldet, dass für dieses Ereignis nur eine sehr geringe Anzahl an Trainingsbeispielen zur Verfügung stand. Dennoch ist die Detektionsleistung auch hier ausreichend für einen produktiven Einsatz, sofern eine kurze händische Überprüfung der Detektionen erfolgt.

Details zum Gesamtsystem sowie detaillierte Auswertungen wurden im Rahmen von drei wissenschaftlichen Aufsätzen (Lienhart, 2018; Einfalt, 2019, 2020) bei internationalen Konferenzen und Zeitschriften publiziert.



## 5 Literatur

- Bai, S., et al. (2018). *An Empirical Evaluation of Generic Convolutional and Recurrent Networks for Sequence Modeling*. CoRR, abs/1803.01271, <http://arxiv.org/abs/1803.01271>
- Einfalt, M., & Lienhart, R. (2020). Decoupling Vide and Human Motion: Towards Practical Event Detection in Athlete Recordings. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*.
- Einfalt, M., et al. (2019). Frame-level Event Detection in Athletics Videos with Pose-based Convolutional Sequence Networks. *ACM Multimedia: Second International ACM Workshop on Multimodal Content Analysis in Sports*.
- He, K., et al. (2017). Mask R-CNN. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- Lienhart, R. et al. (2018). Mining Automatically Estimated Poses from Video Recordings of Top Athletes. *International Journal of Computer Science in Sport*, 17(2).

# Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Leistungsdiagnostik im Sportklettern

(AZ 070707/18-19)

*Claudia Augste (Projektleitung), Marvin Winkler & Stefan Künzell*

Universität Augsburg, Institut für Sportwissenschaft

## 1 Problem

Sportklettern wurde für die Olympischen Spiele von Tokio 2020 erstmals in den Sportartenkanon aufgenommen. Für eine optimale Trainingsplanung ist es eine wichtige Voraussetzung, die Leistungsstruktur der Sportart zu kennen (Hohmann, Lames & Letzelter, 2010). Da bisher weder Leistungsstrukturmodelle der einzelnen Kletterdisziplinen noch für das neu entwickelte „Olympic Combined“-Format vorlagen, mussten diese zunächst erarbeitet werden. Die Erstellung dieser Leistungsstrukturmodelle erfolgt über die „trainingswissenschaftliche Leistungsdiagnostik“ (ebd., S. 147). Da diese bisher im Sportklettern nicht existierte, war es eine zentrale Problemstellung, eine Testbatterie zu entwickeln, die einerseits der wissenschaftlich fundierten Strukturierung der Kletterleistung dient, die aber auch zur trainingspraktischen Leistungsdiagnostik eingesetzt werden kann. Letztere dient dazu, Stärken und Schwächen der Spitzenathletinnen und -athleten zu identifizieren und daraus Trainingsmaßnahmen abzuleiten.

## 2 Methode

Im ersten Arbeitsschritt wurde die von einem internationalen Fachgremium, der „International Rock Climbing Research Association“ (IRCRA), entwickelte Testbatterie auf ihre Testgüte hin überprüft. Die Testbatterie besteht aus insgesamt 10 Tests zur Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer der Finger, oberen Extremitäten und des Rumpfes sowie der Hüftbeweglichkeit (2015). Für die Evaluierung wurde eine für die Spitze des bayerischen Nachwuchskletterns in den jeweiligen Altersklassen repräsentative Klumpenstichprobe herangezogen

(8 Mädchen, 4 Jungen, Alter 15,6 ( $\pm$  3,2) Jahre). Zur Bestimmung der Objektivität wurden bei der Datenerhebung jeweils zwei unabhängige Rater eingesetzt, zur Überprüfung der Reliabilität wurde mit einer Woche Abstand ein Retest durchgeführt.

Für alle hypothetisch und logisch leistungsrelevanten Leistungskomponenten, für die noch keine Diagnosetools existierten, bzw. für die sich die IRCRA-Tests als nicht hinreichend gut herausgestellt hatten, wurden insgesamt 10 neue Tests konzipiert: Die Evaluierung fand hierfür mit einer für die Spitze des bayerischen und deutschen Nachwuchskletterns in den jeweiligen Altersklassen repräsentativen Klumpenstichprobe statt (19 Mädchen, 14 Jungen, Alter 15,0 ( $\pm$  2,6) Jahre).

Mit der daraus gewonnenen Testbatterie aus 14 Einzeltests wurde anschließend eine Datenerhebung mit Kletterinnen (N = 26) und Kletterern (N = 35) verschiedener Leistungsklassen durchgeführt – vom Stützpunkt-, Landes- und Jugendnationalkader bis zum Nationalkader –, um die empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale zu identifizieren. Die Damen (18,1 ( $\pm$  1,9) Jahre) kletterten laut internationaler Klassifizierung (Draper et al., 2015) durchschnittlich auf Level 4 („Elite“) von 5 im Bouldern und auf Level 3 („Advanced“) im Leadklettern. Bei den Herren (21,4 ( $\pm$  6,4) Jahre) lag der Durchschnitt im Bouldern und Leadklettern bei Level 4, wobei auch einige Athleten auf Level 5 („Higher Elite“) kletterten. Im Speedklettern konnten die deutschen Athletinnen und Athleten mit den Speedspezialisten der Weltspitze nicht mithalten. Insgesamt ist der durchschnittliche Trainingsumfang mit 4 - 5 fast dreistündigen wöchentlichen Trainingseinheiten relativ hoch, der Anteil des Speedtrainings liegt bei ca. 10 %.



Für die Operationalisierung der Wettkampfleistungen im Lead, Bouldern und Olympic-Combined-Format wurden die Platzierungen bei offiziellen Wettkämpfen der Jahre 2018 und 2019 herangezogen und daraus jeweils separate Ranglisten für Damen und Herren erstellt. Als Kriterium für die Leistung im Speedklettern wurde die persönliche Bestzeit in der Normroute herangezogen. Zunächst wurde mit T-Tests und Korrelationen geprüft, ob die zu überprüfenden Merkmale einen Einfluss auf die Wettkampfleistungen hatten. Anschließend wurde die horizontale interne Ordnung der identifizierten Leistungskomponenten für die jeweilige Disziplin durch Faktorenanalysen bestimmt. Für die Überführung aller leistungsrelevanter Merkmale in ein Leistungsstrukturmodell wurde letztlich die vertikale interne Ordnung über multiple Regressionsanalysen mit den aus den Faktorenanalysen hervorgegangenen Prädiktorvariablen analysiert.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Prüfung bisher bestehender leistungsdiagnostischer Tests

Bei den Tests aus der IRCRA-Testbatterie war der Grad der Objektivität bei fast allen Tests ausgezeichnet. Auch die Test-Retest-Reliabilität war für den Großteil der Tests sehr gut. Bezüglich der Validität und der Praktikabilität gab es jedoch bei manchen Tests gewisse Einschränkungen. Letztlich wurden folgende Tests mit kleineren Modifikationen für die weitere Verwendung eingeplant:

1. **Einhändiges Leistenziehen:** Test zur Bestimmung der maximalen statischen Fingerkraft durch maximal kräftiges Ziehen an einer 23-mm-Leiste mit offener und halb aufgestellter Fingerstellung, später ergänzt durch eine 8-mm-Leiste
2. **Powerslap:** Test zur Bestimmung der Schnellkraft der Oberarm-, Schulter- und Rückenmuskulatur durch Anreißen an einer Leiste und Abschlagen an der Wand
3. **Seitlich-frontales Beinheben:** Test zur Bestimmung der Hüftpreizfähigkeit

4. **Seitliches Knieheben:** Test zur Bestimmung der Hüftbeweglichkeit bei Außenrotation.

Für die Erfassung der Armkraft (einarmiges und beidarmiges Blockieren auf Zeit, Klimmzüge), der Fingerkraftausdauer (Fingerhängen auf Zeit) und der Rumpfkraftausdauer („Plank“, 90°-Knieheben auf Zeit) wurden im nächsten Schritt Alternativen entwickelt.

### 3.2 Prüfung der neu entwickelten Tests

Die Testgüte dieser anstelle der IRCRA-Tests entworfenen Tests sowie der Tests, die für bisher nicht berücksichtigte Komponenten neu entwickelt worden waren, war zu großen Teilen zufriedenstellend. Trotz sorgfältiger Vorgehensweise waren jedoch teilweise weitere Modifikationen bei einzelnen Tests in den Testanweisungen oder bei den Durchführungsmodalitäten während und nach der Evaluierungsphase notwendig. Zusätzlich wurden auch noch drei weitere ergänzende Tests in die Testbatterie aufgenommen. Somit bestand der Testpool nach diesem Arbeitsschritt neben oben genannten noch aus folgenden weiteren Tests:

5. **Einarmiges Blockieren:** Test zur Bestimmung der statischen Maximalkraft des Oberarms durch maximal kräftiges Ziehen an einer Stange mit 90°-Ellbogen-Winkel
6. **Schwung abfangen:** Test zur Bestimmung der maximalen Körperspannung nach Loslassen von Tritten im Überhang mit Festhalten an einer Stange
7. **Sprung aus hohem Antreten:** Test zur Bestimmung der Sprungkraft durch einbeiniges Springen aus einer kletterspezifischen Position
8. **Counter-Movement-Jump (CMJ)** (beidbeinig und einbeinig): Test zur Bestimmung der Sprungkraft mit Ausholbewegung der Beine
9. **Squat Jump (SJ)** (beidbeinig): Test zur Bestimmung der Sprungkraft ohne Ausholbewegung der Beine
10. **Intermittierendes Fingerhängen:** Test zur Bestimmung der Fingerkraftausdauer mit

maximal oft zu wiederholenden Intervallen von 7-sekündigem Hängen an einer 23-mm-Leiste, gefolgt von einer 2-sekündigen Pause

11. **30-Sekunden-Leistenziehen:** Test zur Bestimmung der statischen Fingerkraftausdauer durch 30-sekündiges maximal kräftiges Ziehen an einer 23-mm-Leiste
12. **Tritte angeln:** Test zur Bestimmung der Kraftausdauer für das Aufrechterhalten der Körperspannung durch maximal oft zu wiederholendes alternierendes Angeln von Tritten (rechter Fuß/linker Fuß) im Überhang mit Festhalten an einer Stange
13. **Wandsprung:** Test zur Bestimmung der Koordination unter Präzisions- und Simultandruck durch seitlichen Sprung an die Wand, bei dem die Hände und Füße möglichst gleichzeitig die Griffe und Tritte erreichen sollen
14. **Routenplanung:** Test zur Bewegungsvorstellung durch Abgleich von geplanten und realisierten Bewegungsaktionen

### 3.3 Erstellung der Leistungsstrukturmodelle

Bei der Datenerhebung mit der gesamten Testbatterie zur Entwicklung der Leistungsstrukturmodelle erzielten erwartungsgemäß die Herren in allen kraft- und ausdauerbezogenen Tests höhere Werte als die Damen. Diese schnitten in einem der Beweglichkeitstests besser ab. Keine Unterschiede waren im Koordinationstest zu verzeichnen, jedoch gelang die Bewegungsvorstellung der zu kletternden Boulder den Herren besser als den Damen.

Die getesteten Merkmale waren für die jeweiligen Disziplinen und für die beiden Geschlechter unterschiedlich relevant für die Kletterleistung. Im Prioritätenkatalog der leistungsrelevanten Merkmale steht bei den Damen im Leadklettern die Schnellkraft beim Powerslap (1.) vor der Maximalkraft der Oberarme (2.) und der intermittierenden Fingerkraftausdauer (3.). Die beiden erstgenannten Merkmale haben auch beim Bouldern (2. und 3.), beim Speedklettern (2. und 3.) sowie beim Combined-Wettkampf (3. und 2.) eine hohe Priorität. An höchster Stelle steht

im Bouldern der Damen die Hüftbeweglichkeit, im Speed- und Combined-Klettern die Sprungkraft. Die Sprungkraft ist auch das dominante Merkmal im Lead- und Combined-Klettern der Herren und steht beim Bouldern an 2. und im Speedklettern an 3. Stelle. Auch bei den Herren sind die Schnellkraft beim Powerslap (Bouldern 1., Lead 3.) und die Maximalkraft der Oberarme (Bouldern 3., Lead 2., Combined 3.) sehr leistungsrelevant. Für das Speedklettern hat bei den Herren des Weiteren die maximale Fingerkraft an der 8-mm-Leiste (2.) eine große Relevanz, für das Combined-Format die intermittierende Fingerkraftausdauer (2.).

Die Prioritätenkataloge, die neben den oben dargestellten Merkmalen mit den höchsten drei Prioritäten natürlich noch weitere Merkmale enthalten, stellen die Grundlage für die trainingspraktische Leistungsdiagnostik im Sportklettern dar. Aus der vorgestellten Testbatterie sind für die Herren aus empirisch-statistischer Evidenz alle Tests relevant, bei den Damen alle Tests außer dem Hüftbeweglichkeitstest bezüglich des seitlichen Kniehebens, den Fingerkrafttests mit offener Fingerstellung und dem Fingerkraftausdauerstest „30-Sekunden-Leistenziehen“.

In den Faktorenanalysen ergaben sich größtenteils auch inhaltlich zusammenhängende Merkmalsgruppen, was später für die Ableitung von Trainingsmaßnahmen von Bedeutung ist. Die jeweils identifizierten Faktoren sind beispielhaft für das Olympic-Combined-Format in den Abb. 1 und 2 in der mittleren Spalte dargestellt. In der linken Spalte befinden sich alle Komponenten der Faktoren mit ihren jeweiligen Faktorladungen. Über die multiplen linearen Regressionen konnte die interne vertikale Ordnung zwischen den Faktoren und der jeweiligen Wettkampfleistung ermittelt werden. Somit ergaben sich geschlechtsspezifisch für die deutsche Leistungsspitze die in Abb. 1 und 2 dargestellten Leistungsstrukturmodelle für das Olympic-Combined-Format.

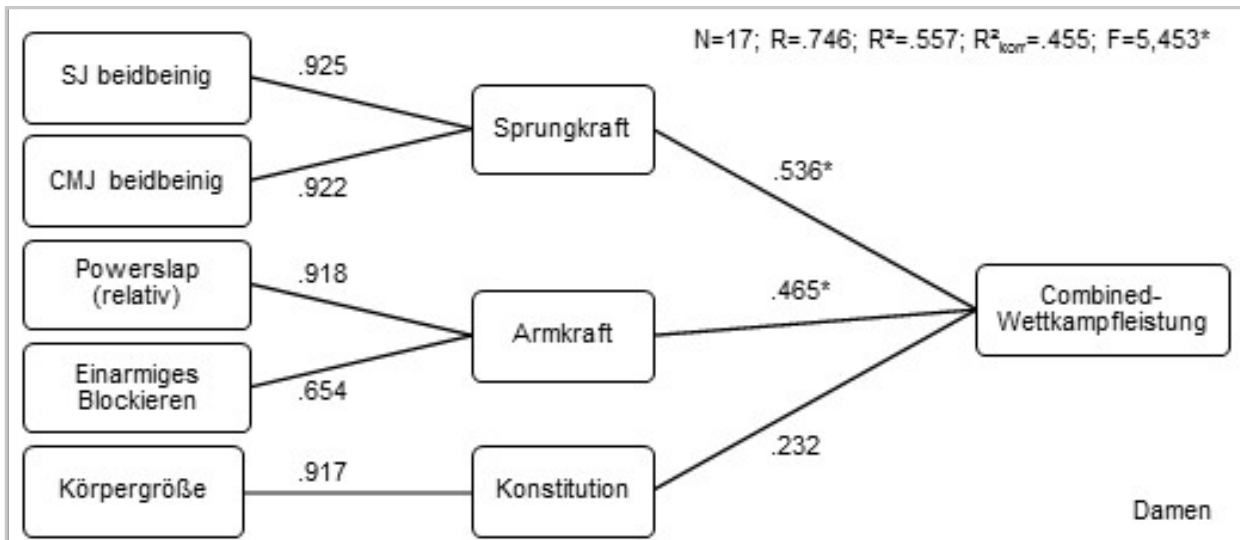


Abb. 1. Leistungsstrukturmodell für das Combined-Klettern der Damen

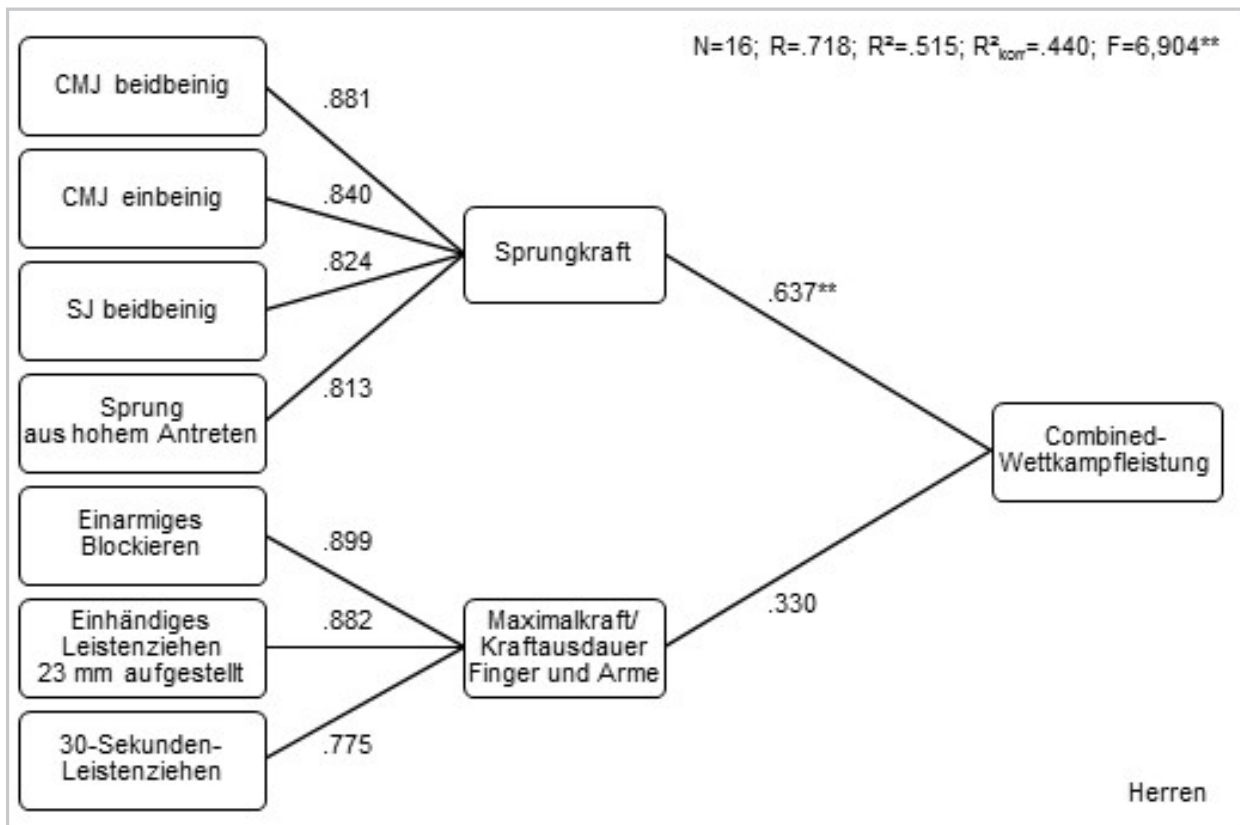


Abb. 2. Leistungsstrukturmodell für das Combined-Klettern der Herren.

## 4 Diskussion

Die maximale Fingerkraft, die laut Forschungsstand die wichtigste Leistungskomponente im Klettern darstellt, erwies sich in unserer Studie als nicht ganz so entscheidender Einflussfaktor auf die *Wettkampfleistung*. Überraschend und im Forschungsstand so bisher nicht abgebildet war die sehr hohe Aussagekraft des Powerslap-Tests. Die Schnellkraft der Arm-, Schulter- und Rückenmuskulatur war nicht nur beim Speedklettern und Bouldern, sondern auch beim Leadklettern mit die einflussreichste Leistungskomponente. Sehr plausibel ist die Erkenntnis, dass die Kraftausdauer im Leadklettern einen hohen Stellenwert einnimmt. Während sich diese in bisherigen Studien meist nur auf die Kraftausdauer der Finger bezog, für die auch in der vorliegenden Studie bei den Damen ein Einfluss auf die Wettkampfleistung im Leadklettern nachgewiesen werden konnte, konnten wir bei den Herren einen hohen Einfluss der Kraftausdauer der Rumpfmuskulatur zeigen (Rang 6 im Prioritätenkatalog). Als weitere Leistungskomponenten im Leadklettern stellten sich eine gute Koordination (Rang 4) und eine gute Bewegungsplanung (Rang 7) heraus. Auch dies ist durchaus plausibel, wurde bisher jedoch in keiner Studie belegt. Die Sprungkraft ist bisher in keiner Veröffentlichung als leistungsrelevant im Klettern zu finden. Umso erstaunlicher ist es, dass sich in unserer Studie diese bei den Herren als die relevanteste Komponente für die Wettkampfleistung in allen drei Einzeldisziplinen und auch für das Olympic-Combined-Format herauskristallisierte. Dies hängt sicherlich damit zusammen, dass bisherige Studien sich nicht mit dem Wettkampfklettern befasst haben. Die Routen bei den Wettkämpfen werden teilweise publikumswirksam mit spektakulären dynamischen Zügen „geschraubt“, so dass sich durchaus Abweichungen zum bisher untersuchten Felsklettern ergeben. Dies unterstreicht nochmals die Wichtigkeit und Notwendigkeit des vorliegenden Projekts, denn bisher lagen weder im Leadklettern noch im Bouldern Leistungsstrukturmodelle für das Wettkampfklettern vor. Dies gilt ebenso für die reinen Wettkampfdisziplinen Speedklettern und Olympic-Combined.

Aus den Leistungsstrukturmodellen ergibt sich auch, welche Merkmale in der trainingspraktischen Leistungsdiagnostik der Spitzenathletinnen und -athleten regelmäßig zum Zweck der Trainingssteuerung erhoben werden sollten. Damit die Leistungsdiagnostik professionell und standardisiert durchgeführt werden kann, wurden neben einem verschriftlichten und gebildeten Testmanual zudem erklärende Videos erstellt. Somit liefert das neue Testverfahren ein wissenschaftlich fundiertes Tool zum Einsatz sowohl in der trainingspraktischen Leistungsdiagnostik aktueller Wettkampfatletinnen und -athleten als auch in der Talentdiagnostik.

## 5 Literatur

- Draper, N., Giles, D., Schöffl, V., Fuss, F. K., Watts, P., Wolf, P. et al. (2015). Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: International rock climbing research association position statement. *Sports technology*, 8 (3-4), 88-94. doi:10.1080/19346182.2015.1107081
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (5., unveränd. Aufl.). Limpert.
- International Rock Climbing Research Association (2015, 18. November). *The IRCRA performance-related test battery for climbers. Test manual – Version 1.6*. Zugriff unter <https://www.ircra.rocks/mct-documents>



# Analyse und Training der Antizipation und effizienter Blickstrategien im Badminton

(AZ 070702/19-20)

Wolf Gawin (Projektleitung)

Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften,  
Institut für Angewandte Bewegungswissenschaften

## Projektteil 01 – Training der Blickbewegung

### 1 Problem

Die überlegene visuelle Leistungsfähigkeit von Spitzenathletinnen und -athleten zeigt sich beispielsweise in der höheren Genauigkeit ihrer motorischen Reaktion, kürzeren Reaktionszeiten, geringeren Anzahl von visuellen Fixationen eines handlungsrelevanten Stimulus und längeren Dauer der finalen Fixationen (u. a. Abernethy & Russell, 1987; Höner, 2006; Hossner et al., 2014; Lienhard, Kredel & Hossner, 2013; für eine Übersicht siehe Mann et al., 2007). Bei dem schnellen Erfassen der gegnerischen Handlungsabsicht, dem „Lesen“ der Situation, spielen dabei offensichtlich die Blickstrategien und insbesondere sowohl die Länge der Fixationen als auch die Richtung der Blickbewegungen eine wichtige Rolle.

In einigen Sportarten, darunter Fußball, Basketball, Golf und Volleyball wurde deshalb bereits der Frage nachgegangen, ob Blickstrategien trainierbar sind (Adolphe, Vickers & Laplante, 1997; Harle & Vickers, 2001; Moore et al., 2012; Vine, Moore & Wilson, 2011; Wood & Wilson, 2011). Übereinstimmend konnte in diesen Studien gezeigt werden, dass spezifisches Wahrnehmungstraining sowohl die Blickstrategien verändert als auch meistens zu einem Leistungszuwachs in den eingesetzten motorischen Testaufgaben bei den Versuchspersonen führte.

In den bisherigen Studien zum Training der visuellen Wahrnehmung reicht das methodische Interventionsspektrum von wahrneh-

mungsleitenden verbalen Instruktionen (u. a. Adolphe et al., 1997; Moore et al., 2012), über perzeptive Zusatzaufgaben, die die richtige Blickbewegung provozierten (Wood & Wilson, 2010, 2011), bis hin zu technischen Hilfsmitteln, die die Informationsaufnahme erschwerten, wie Sichtschutz oder Shutterbrillen (Hülsdünker et al., 2019; Mitroff et al., 2013; Oudejans et al., 2005). Trotz der Anwendung divergierender methodischer Maßnahmen kamen die hier aufgelisteten Untersuchungen übereinstimmend zu dem Schluss, dass durch das spezifische Wahrnehmungstraining die sportartspezifische Leistung der Versuchspersonen über eine bloße Veränderung der Wahrnehmung hinaus positiv beeinflusst werden konnte.

Im vorliegenden Projekt sollte bei Nachwuchsspielern im Badminton durch die Kombination aus Aufmerksamkeitslenkung (präparierte Federbälle) und Limitierung der Informationsaufnahme (Shutterbrille) die Wahrnehmung (das „Lesen“) der Spielsituation und die Antizipation der gegnerischen Handlungsabsicht verbessert werden.

Aus dem aktuellen Forschungsstand und den Zielsetzungen des vorliegenden Projekts ergibt sich die übergreifende Fragestellung:

- Bewirkt ein mehrwöchiges wett-kampfnahes Wahrnehmungstraining eine positive Veränderung der Blickstrategien und dadurch eine Verbesserung der Antizipation von Nachwuchsspielern in der Schlüsselszene Spieleröffnung im Doppel?



## 2 Methoden

Die Stichprobe setzte sich aus insgesamt 30 Nachwuchsspielerinnen und -spielern dreier Landesverbände des Deutschen Badmintonverbands (Jena, Berlin und Hamburg) zusammen, die in den Nachwuchsleistungszentren der jeweiligen Landesverbände trainierten.

Alle Spielerinnen und Spieler wurden in drei Projektgruppen eingeteilt: Experimentalgruppe 1, für deren Trainingsintervention präparierte Federbälle benutzt wurden, Experimentalgruppe 2, die mit Shutterbrillen trainierte und eine Kontrollgruppe, die lediglich die motorische Komponente der Spieleröffnung ohne zusätzliches Wahrnehmungstraining übte.

Die Analyse der Kinematik der Probanden erfolgte über zwei gekoppelte Messsysteme mit Inertialsensoren. Sensoren waren an den Schlägern der Probanden und in einem Gurt auf dem Rücken der rückschlagenden Versuchsperson befestigt. Die Sensoreinheit auf dem Rücken diente zur Messung der motorischen Aktionen der Versuchsperson, indem sie die Geschwindigkeit der Probanden während des Starts und Laufwegs registrierte. Mit den Sensoren an den Schlägern wurden die Zeitpunkte der Ballkontakte erfasst.

Zur Analyse der Blickbewegung wurde ein mobiler Eye-Tracker der Firma Tobii (Pro Glasses 2) eingesetzt, der mit einer Erfassungsrate der Augenbewegungen von 100 Hz arbeitet.

Die Zielgröße der Untersuchung, die hier im weiteren Sinne als Antizipation bezeichnet wird, wurde für diese Untersuchung als die Schnelligkeit der motorischen Reaktion auf den Aufschlag definiert. Konkret wurde dies anhand der Zeitspanne erhoben, die der Rückschläger benötigt, um nach dem Aufschlag eine Geschwindigkeit von 1,5 m/s bei der Aufschlagannahme in Richtung Ball zu erreichen ( $t_{v1,5}$ ).

Zusätzlich wurden die Dauer der finalen Fixationen vor der motorischen Aktion des Rückschlägers (Quiet Eye = QE) und deren Häufigkeiten gemessen. Die Häufigkeit der finalen Fixation ( $n_{Fix}$ ) zeigt an, wie oft bei allen Versuchen einer Versuchsperson überhaupt eine finale Fixation vor der motorischen Aktion gefunden werden konnte. Korrespondierend dazu wurden die Blickregionen erfasst, die der Rückschlä-

ger unmittelbar vor dem Ballkontakt des Aufschlägers während der finalen Fixation zentral fixierte. Dabei handelte es sich um die Kategorien „Zentral“ (Bereich Ball, Schläger, Ballhand), „Körper“, „Links“ (Bereich links neben dem Körper des Aufschlägers und „Rechts“ (Bereich rechts neben dem Körper des Aufschlägers).

Der Versuchsablauf des Pretests bildete die Spieleröffnung im Doppel ab, bestehend aus insgesamt mindestens 12 kurzen oder langen Aufschlägen (in randomisierter Reihenfolge) und den Rückschlägen der Probanden. Die Testpersonen hatten dabei die Aufgabe, den Ball nach dem Aufschlag so schnell wie möglich zu erreichen und offensiv zu retournieren.

Die Zeitdauer der Trainingsinterventionen erstreckte sich über fünf Wochen. In jeder Woche wurden dabei 2-3 Trainingseinheiten durchgeführt. Pro Trainingseinheit wurden ca. 30 min Training der Spieleröffnung im Rahmen des Projekts pro Spieler wahrgenommen.

Die *Experimentalgruppe 1 (Ballgruppe)* trainierte die Spieleröffnung mit präparierten Bällen. Um ein Fokussieren des Blicks auf den zentralen Ball-Schläger-Bereich zu provozieren, wurden die Bälle mit unterschiedlichen Farbpunkten markiert. Die aufschlagende Person hatte die Aufgabe, den Ball vor dem Aufschlag mehrfach zwischen den Fingern zu drehen und dann zu greifen. In diesem Augenblick musste die Versuchsperson die Farbe, die aktuell in ihre Richtung wies, erkennen und dem Trainer bzw. Mitspieler nennen. Dabei wurden von den trainierenden Spielerinnen und Spielern mindestens 20 Aufschlagannahmen durchgeführt.

Das Training der *Experimentalgruppe 2 (Brillegruppe)* basierte auf dem Einsatz von Shutterbrillen, die in einer fest vorgegebenen Frequenz die Sicht auf die aufschlagende Person freigaben bzw. unterbanden. Die trainierenden Spielerinnen und Spieler trugen beim Training der Aufschlagsituation die Shutterbrillen und hatten ebenfalls die Aufgabe, mindestens 20 Aufschläge pro Trainingseinheit offensiv zu retournieren. Durch das Tragen der Shutterbrille sollte die trainierende Person gezwungen werden, schneller mit dem Blick die informationstragenden Regionen aufzusuchen, da die Shutterbrille eine Einschränkung der Zeit zur visuellen Wahrnehmung bedeutet. Der erwartete Lerneffekt

bestand in einer Effizienzsteigerung der Blickbewegungen (Oudejans et al., 2005).

Die Personen der *Kontrollgruppe* trainierten die Spieleröffnung im selben zeitlichen Umfang wie die Versuchspersonen der Experimentalgruppen. Sie erhielten allerdings lediglich Instruktionen zur Bewegungsausführung.

Der Posttest wurde in Woche sechs nach dem Pretest und unmittelbar nach der Trainingsmaßnahme durchgeführt. Das Vorgehen war identisch zum Pretest.

### 3 Ergebnisse

Die Durchschnittswerte bei der „Antizipation“ ( $t_{v1,5}$ ) bewegen sich bei allen Gruppen bei beiden Messungen zwischen 300 und 350 ms. Bei allen drei Gruppen sinkt der Mittelwert geringfügig, am deutlichsten bei der Ballgruppe von 332 ms auf 296 ms. Die Unterschiede zwischen den Gruppen und den beiden Messungen sind statistisch und praktisch nicht relevant ( $F[1,27] = 1.583$ ;  $p = .219$ ;  $part \eta^2 = .06$  resp.  $F[1,27] = .335$ ;  $p = .718$ ;  $part \eta^2 = .02$ ).

Die Dauer der finalen Fixationen (Quiet Eye) erhöht sich bei der Ballgruppe im Mittelwert von 161 ms auf 265 ms, während sich der Wert bei der Brillegruppe von 277 ms auf 245 ms verringert. Bei der Kontrollgruppe fällt der Abfall von 485 ms auf 379 ms deutlicher aus, allerdings befindet sich auch der Eingangswert bereits auf einem deutlich höheren Niveau. Diese Unterschiede sind für alle Gruppen statistisch nicht bedeutsam ( $F[1,27] = .001$ ;  $p = .970$ ;  $part \eta^2 < .01$  resp.  $F[1,27] = 1.292$ ;  $p = .291$ ;  $part \eta^2 = .09$ ). Lediglich die Veränderung der Gruppen durch die Trainingsintervention ist mit einem mittleren praktischen Effekt verbunden.

Nach der Trainingsintervention wird eine leichte Erhöhung der Häufigkeit der finalen Fixationen (nFix) bei der Ballgruppe gemessen, während bei den beiden anderen Gruppen die Häufigkeit sinkt. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Messungen liegt nicht vor ( $F[1,28] = 0.234$ ;  $p = .632$ ;  $part \eta^2 = .01$ ), ebenso ist auch der Unterschied zwischen den Gruppen nach der Trainingsmaßnahme statistisch nicht relevant, allerdings liegt ein praktisch bedeutsamer Effekt von mittlerer Höhe vor ( $F[2,28] = 1.428$ ;  $p = .257$ ;  $part \eta^2 = .09$ ).

In Bezug auf die fixierten Regionen unterscheiden sich die drei Gruppen relativ deutlich untereinander. Während die Ballgruppe beim Eingangstest wenig den zentralen Bereich fokussiert (20 %) und dafür relativ häufig den Blick auf den Bereich „Links“ lenkt, wird bei der Brillegruppe beim Eingangstest eine Häufigkeit des Bereichs „Zentral“ von über 50 % gemessen. Der Eingangswert der Kontrollgruppe liegt ein wenig niedriger. Die Ballgruppe verzeichnet in Bezug auf ihrem niedrigen Ausgangswert eine deutliche Steigerung auf fast 50 %, bei der Brillegruppe halbiert sich dieser Wert. Auch bei der Kontrollgruppe wird ein deutlicher Zuwachs der Fixationen auf den zentralen Bereich gemessen.

### 4 Diskussion und Ableitungen

Eine wesentliche Erkenntnis aus diesem Projekt ist, dass – entgegen der Ergebnisse vieler Publikationen zum Quiet Eye - Fixationen vor der motorischen Reaktion nicht zwingend stattfinden müssen. In Anlehnung an den Forschungsstand wurde bei der Fragestellung davon ausgegangen, dass ein Spieler oder eine Spielerin bei der hier untersuchten Spielsituation sehr wahrscheinlich den Gegenspieler oder eine Region um in herum über einen Zeitraum von mindestens 100 ms zentral-foveal fokussieren, also fixieren würde, bevor er auf den Aufschlag reagiert. Bei den drei Gruppen des Projekts hier rangiert die Häufigkeit der finalen Fixationen bezogen auf die Anzahl der analysierten Versuche allerdings etwa zwischen 40 und 70 %. Es gibt einzelne Personen, bei denen bei allen ihren Versuchen, insbesondere bei der Abschlussmessung, überhaupt nur noch ein oder zwei finale Fixationen erkannt werden können. Unter Beachtung der Tatsache, dass teilweise gar keine finale Fixation mehr vorliegt, ist nun auch die Relevanz der Blickrichtung, also die Frage nach der fixierten Region, diskussionswürdig.

Zusammenfassend scheint das Training der Spieleröffnung mit der Shutterbrille kein gewinnbringendes Verfahren zu sein. Es ist nachvollziehbar, dass durch das Training mit der Shutterbrille die Häufigkeit und Dauer der finalen Fixationen abnimmt. Allerdings sollte die Beschleunigung der Wahrnehmung durch die Shutterbrille zumindest zu einer Verbesserung bei der Antizipation führen.

Bei der Mehrzahl der Versuchspersonen aus der Brillegruppe verschlechtert sich aber auch diese Größe. Darüber hinaus werden auch nach der Trainingsmaßnahme von vielen Spielern Regionen fixiert, die wahrscheinlich für die Informationsaufnahme nicht hilfreich sind. Dazu sinkt die durchschnittliche Dauer und die Häufigkeit der finalen Fixationen bei einer Mehrzahl der Spieler der Brillegruppe stark. Unter Umständen werden Informationen unterdrückt, die für die Mustererkennung und Antizipation erforderlich sind und die auch nicht durch eine schnellere Wahrnehmung kompensiert werden können.

Aus den Resultaten dieses Projekts folgernd sind Shutterbrillen für das Training der *Spieleröffnung* unter wettkampfnahen Bedingungen nicht empfehlenswert.

Für das Training mit markierten Bällen kann dagegen vorsichtig aus den Daten geschlossen werden, dass es wahrscheinlich eine positive Wirkung auf die Blickstrategie und auch auf die Leistung bei der Antizipation hat.

## Projekt Teil 02 – Blickstrategien beim dritten Schlag im Einzel

### 1 Problem

Die taktischen Rahmenbedingungen der Spieleröffnung im Einzel auf internationalem Niveau haben sich in den letzten Jahren gewandelt. War es früher auch im Spitzenbereich durchaus üblich, das Spiel mit einem weiten, hohen Aufschlag einzuleiten, wird im modernen Wettkampfspiel immer häufiger – im Männerbereich fast ausschließlich – der kurze Aufschlag eingesetzt. Im Gegensatz zu einem weiten, hohen Aufschlag in den hinteren Feldbereich, der direkt mit einem Angriffsschlag beantwortet werden kann (u. a. Phomsoupha & Laffaye, 2015; Poste & Hasse, 2002), kann der Rückschlag auf einen kurzen Aufschlag im Einzel kaum offensiv als Angriff ausgeführt werden, dafür aber ohne großen Zeitdruck sehr platziert. Im Gegensatz zum Doppel, in dem ein Spieler oder eine Spielerin das Ziel hat, möglichst schnell zum Treffpunkt für den zweiten Schlag zu starten, um den Ball so früh wie möglich an einem taktisch günsti-

gen Treffpunkt zu erreichen, gilt dies deshalb im Einzel eher für den dritten Schlag. Beim dritten Schlag ist es das wichtigste taktische Anliegen eines Einzelspielers, innerhalb kürzester Zeit aus dem zentralen Feldbereich zum Ball zu starten, um durch einen günstigen Treffpunkt die situativ bedingte taktische Überlegenheit des Gegenspielers umzukehren. Dies wird dadurch erschwert, dass dem Gegner einerseits eine Vielzahl an taktischen Möglichkeiten zur Verfügung steht und andererseits im Spitzenbereich Finten zur Verschleierung der Handlungsabsicht ein häufig angewandtes Mittel beim zweiten Schlag sind. Gerade in dieser Situation ist die Vermutung naheliegend, dass eine überlegene Wahrnehmung und fehlerfreie Antizipation von großem Vorteil für die Wettkampfleistung sind.

Aus dem aktuellen Forschungsstand und den Zielsetzungen des vorliegenden Projekts ergibt sich für diesen Untersuchungsteil die Fragestellung:

- › Welche Blickstrategien wenden Spitzenspieler im Vergleich mit weniger qualifizierten Badmintonspielern in der Schlüsselszene Spieleröffnung im Einzel beim Rückschlag des Gegners an?

### 2 Methoden

An der Untersuchung zu den Blickbewegungsstrategien im Einzel nahmen insgesamt 23 Spieler teil, zwölf Spieler davon waren Mitglieder regionaler Vereine, die zum Zeitpunkt der Untersuchung im Ligabetrieb an Wettkämpfen in der Kreisklasse bis zur Regionalliga teilnahmen (5 w, 7 m, Alter  $26,9 \pm 8,5$ ), elf waren Angehörige des deutschen Bundeskaders für die Einzeldisziplinen (3 w, 8 m, Alter  $21,3 \pm 3,5$ ).

Zur Erfassung der Blickbewegungen wurde derselbe mobile Eye-Tracker der Firma Tobii (Pro Glasses 2) wie im ersten Projektteil eingesetzt.

Für die Analyse der Blickstrategien wurden auch hier die Dauer der finalen Fixationen (QE) und die Regionen der Blickrichtungen erfasst. Bei der Dauer der finalen Fixationen (QE) handelte es sich um die Zeitdauer der letzten Fixation vor der motorischen Aktion der Versuchsperson, also der Reaktion des Probanden auf den Rückschlag des Gegenspielers (dritter Schlag).

In Anlehnung an vorangegangene Untersuchungen zu den Blickstrategien der Nationalspieler im Doppel (Fries et al., 2017; Zwingmann et al., 2017) wurden im vorliegenden Projekt die Regionen der Blickfixation unmittelbar vor dem Ballkontakt des Rückschlägers während der finalen Fixation erfasst und kategorisiert. Dabei handelte es sich um die Regionen „Schläger“, „Schlagarm“, „Körper“, „Treffpunkt“, „Ball“ und „Unspezifisch“.

Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, insgesamt zwölf wettkampfgerechte Aufschläge in der Disziplin Einzel auszuführen. Dabei war nicht festgelegt, ob es sich um kurze oder weite Aufschläge handelte. Der Gegenspieler sollte einen möglichst genau platzierten Return spielen, wobei auch hier die Richtung beliebig gewählt werden konnte bzw. eine Platzierung des Rückschlags in alle Feldecken zulässig war. Auf diesen Rückschlag hatte die Versuchsperson so schnell wie möglich zu reagieren und den Ball beim dritten Schlag so hoch wie möglich anzunehmen, um ihn offensiv zurück zu schlagen.

Die Unterschiede in den Blickrichtungen zwischen den beiden Gruppen wurden mittels  $\chi^2$  geprüft und Cramers V als Effektgröße berechnet. Zur Prüfung auf Unterschiede zwischen Nationalspielern und Amateuren in Bezug auf die Dauer der finalen Fixationen diente eine einfaktorische Varianzanalyse.

### 3 Ergebnisse

Die beiden Gruppen unterscheiden sich über alle Kategorien signifikant bei einem kleinen Effekt ( $\chi^2 [6] = 5658.32, p < .01, \text{Cramers } V = .29$ ). Am deutlichsten fallen die Unterschiede in der Kategorie „Körper“, „Ball“, „unspezifisch“ und „Schläger“ aus (Abb. 1). Außer bei der Kategorie „Treffpunkt“ sind die Unterschiede zwischen allen weiteren Kategorien bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < .05$  signifikant. Die Streuungen zwischen den Versuchspersonen fallen in allen Kategorien groß aus (siehe Fehlerbalken).

Der Mittelwert der finalen Fixationen beträgt bei den Nationalspielern 209 Millisekunden, bei den Amateuren 229 Millisekunden. Durchschnittlich halten die Amateure ihren Blick geringfügig länger konstant, allerdings ist die Streuung unter den Amateurspielern deutlich größer als bei den Nationalspielern. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind gering und statistisch nicht relevant ( $F [1,21] = 0.281; p = .601$ ). Die inter- und insbesondere die intraindividuellen Streuungen sind sehr groß.

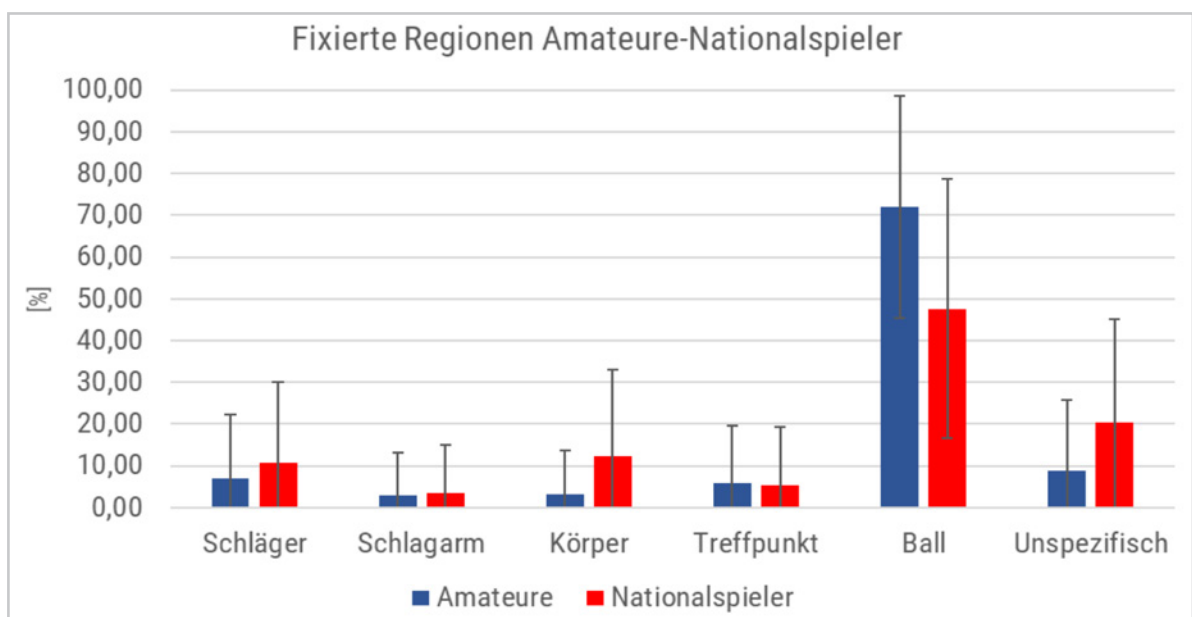


Abb. 1: Regionen der finalen Fixation von Amateuren und Nationalspielern (Fehlerbalken: 95-%-Konfidenzintervalle)



## 4 Diskussion

Es wurde angenommen, dass Nationalspieler im Badminton vor dem dritten Schlag eher die zentrale Region um Ball und Schläger fokussieren und auch längere Fixationsdauern (QE) aufweisen als weniger qualifizierte Spieler. Nationalspieler richten in dieser Situation durchaus ihren Blick häufiger auf den Schläger als Vereinsspieler im Badminton, allerdings ist die Anteiligkeit der Fixationen auf diese Region mit ca. 7 % bei den Amateuren und beinahe 11 % bei den Nationalspielern relativ gering. Häufiger richten dagegen die Vereinsspieler ihren Blick auf die Ballregion, während die Nationalspieler mehr den Körper des Gegenspielers fixieren. Die Annahme der eher zentralen Blickfixationen der Nationalspieler vor dem dritten Schlag kann so nicht bestätigt werden. Vielmehr ist aus den Daten – anders als bei der Spieleröffnung im Doppel (Fries et al., 2017) – kaum ein klares Muster der Blickbewegung zu erkennen. Auch die zweite Annahme, dass, in Anlehnung an die Theorie des Quiet Eye von Vickers (Vickers, 1996, 2016), höher qualifizierte Spieler längere finale Fixationen aufweisen, wird in dieser Untersuchung bezüglich der Spieleröffnung im Badmintoneinzel nicht nachgewiesen. Durchschnittlich weisen die Amateure teilweise sogar längere Blickfixationen als die Nationalspieler auf.

Aus den vorliegenden Daten kann zurückhaltend geschlossen werden, dass Nationalspieler ihren Blick häufiger auf Körper und Schläger des Gegners lenken als Spieler niedrigerer Ligen.

## Projekt Teil 03 – Antizipation bei der Spieleröffnung im Doppel

### 1 Problem

Geht es im Volleyball darum, die Richtung eines hart geschlagenen Angriffs frühzeitig zu erahnen, im Fußball in kürzester Zeit die Positionen der Mitspieler und Gegner zu erfassen oder im Fechten den Ausfallschritt des Gegners bereits vor der Ausführung zu erkennen, dann spielt dabei eine effiziente visuelle Wahrnehmung eine entscheidende Rolle.

Ohne die Aktion des Gegners gedanklich vorwegzunehmen, also zu antizipieren, ist in den oben beschriebenen Situationen eine erfolgreiche Antwort auf die Handlung des Gegners kaum möglich. Die Blickstrategien insbesondere die Blickrichtung und die von den Sportlern als informationstragend gewertete Regionen sind dabei einerseits hochgradig situationsspezifisch und beruhen auf langjähriger Erfahrung (Shim et al., 2005). Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass gerade hochgeübte Athleten bzw. Athletinnen beim Ausblenden oder Verdecken dieser Regionen deutlich in ihrer Leistung einbrechen werden (Abernethy & Russell, 1987; Abernethy, Wollstein & Commission, 1989; Hagemann & Memmert, 2006; Hagemann & Strauß, 2006).

Aus diesem Grund wurde im dritten Teil des vorliegenden Projekts untersucht, wie stark ein Verdecken von mutmaßlich informationstragenden Regionen (Räumliche Okklusion) die Antizipation von talentierten Nachwuchsspielern bzw. -spielerinnen beeinflussen würde. Dafür wurde die motorische Reaktion der Spielenden in zwei verschiedenen Versuchsbedingungen untersucht: Bei einer Serie von Versuchen bestand die Aufgabe für die Testpersonen darin, den Aufschlag eines Gegenspielers ohne jede Einschränkung der Wahrnehmung wett-kampfgerecht und offensiv anzunehmen. In einer weiteren Serie wurde der Aufschläger durch einen Sichtschutz verdeckt, so dass nur noch Ball, Schläger und Kopf der aufschlagenden Person sichtbar waren.

Da Antizipation mit der Erfahrung bzw. Expertise eines Sportlers bzw. einer Sportlerin zusammenhängt, wurde in der vorliegenden Untersuchung vermutet, dass die Verdeckung bei leistungsstärkeren Spielern mit einem höheren Trainingsalter zu deutlicheren Einbußen der Leistung führen würde, als bei schwächeren Spielern, welche außerdem ein geringeres Trainingsalter aufwiesen.

Aus dem Forschungsstand und den Zielsetzungen des vorliegenden Projekts ergibt sich für diesen Untersuchungsteil die Fragestellung:

- › Welche Rolle spielt Antizipation in der motorischen Reaktion des Rückschlägers? Hängt die Antizipationsleistung vom Expertise-Niveau ab?

## 2 Methoden

An der Untersuchung zur Antizipation im Doppel nahmen insgesamt 27 Spieler teil, die als Auswahlspieler an den Nachwuchsleistungszentren Jena, Berlin und Hamburg trainierten. 14 davon waren weiblich und 13 männlich. Ihr durchschnittliches Alter betrug 14.3 Jahre ( $\pm 2.0$ ), das Trainingsalter 6.7 Jahre ( $\pm 2.6$ ).

Zur Erfassung Kinematik wurde das schon im ersten Berichtsteil beschriebene Messsystem eingesetzt, das aus zwei gekoppelten Systemen mit Inertialsensoren bestand. Als Beschreibungsgröße für die Antizipation diente dieselbe Variable  $t_{v1,5}$  wie im ersten Projektteil. Antizipation ist nach Loffing und Hagemann (2013) „die gedankliche Vorwegnahme eines (Bewegungs)Ereignisses, mit dem Ziel, die eigene Handlung zeitlich adäquat daran ausrichten zu können...“ (Loffing & Hagemann, 2013, S. 562). Dies ist so direkt nicht messbar, deshalb wurde hier in Anlehnung an diese Definition die Antizipation als die Schnelligkeit der motorischen Reaktion auf den Stimulus Aufschlag definiert.  $t_{v1,5}$  steht für die Zeitdauer, die der Rückschläger benötigt, um nach dem Aufschlag eine Geschwindigkeit von 1,5 m/s in Richtung Handlungsort zu erreichen.

Der Versuchsablauf bestand darin, dass ein Aufschläger insgesamt mindestens 12 kurze oder lange Aufschläge in randomisierter Reihenfolge auf die Versuchsperson ausführte. Diese hatten die Aufgabe, so schnell wie möglich zum Ball zu

starten, den Ball möglichst hoch anzunehmen und offensiv zu retournieren. In ersten Durchgang war die Sicht auf den Aufschläger unverdeckt. Bei der zweiten Versuchsserie war der Ablauf identisch, auch der aufschlagende Spieler war derselbe, aber der Aufschläger wurde durch einen Sichtschutz verdeckt, der lediglich den Blick auf Schläger und Ball zuließ. Der Körper des Aufschlägers war nicht zu sehen (Abb. 2).

## 3 Ergebnisse

Der Mittelwert von  $t_{v1,5}$  erhöht sich durch den Sichtschutz geringfügig von 332 auf 350 Millisekunden. Das bedeutet, dass die Spielerinnen und Spieler durchschnittlich bei Verdeckung etwas länger brauchen, um ihre motorische Reaktion auf den Aufschlag einzuleiten. Diese Verschlechterung ist statistisch signifikant und mit einem mittleren praktisch bedeutsamen Effekt verbunden ( $F [1,26] = 3,545$ ;  $p = .035$ ,  $\eta^2_{\text{part}} = .12$ ).

Bei den *Spielerinnen* liegen in Bezug auf den Zusammenhang zwischen der Veränderung der Reaktion ( $\Delta t_{v1,5}$ ), dem Trainingsalter und dem Ausgangsniveau von  $t_{v1,5}$  ohne Sichtschutz keine überzufälligen Zusammenhänge vor ( $r = -.37$ ;  $p = .099$ , respektive  $r = .03$ ;  $p = .464$ ). Auch bei den Spielern gibt es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen  $\Delta t_{v1,5}$  und dem Trainingsalter ( $r = -.04$ ;  $p = .446$ ). Das Ausgangsniveau von  $t_{v1,5}$  weist einen signifikanten Zusammenhang mit  $\Delta t_{v1,5}$ , mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = .57$  ( $p = .022$ ).

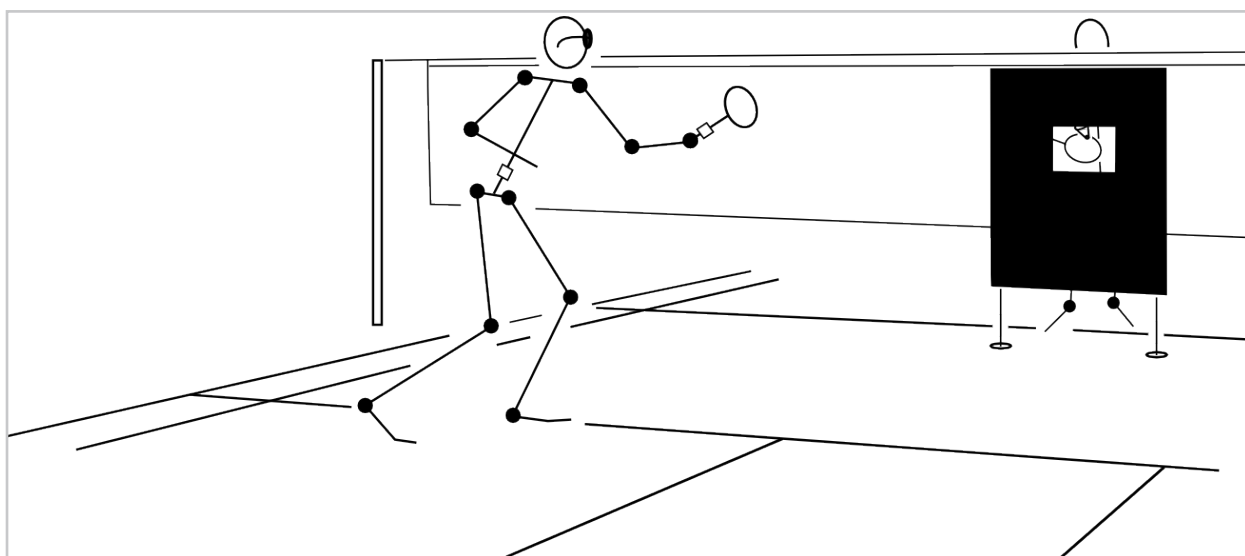


Abb. 2: Versuchsaufbau mit Verdeckung des Aufschlägers (Antizipation unterbunden)



## 4 Diskussion

Für die ganze Gruppe betrachtet führt die Verdeckung des Aufschlägers zu einer signifikanten Verschlechterung der „Antizipation“ beim Rückschlag. Allerdings ist die praktische Bedeutung dieses Effekts eher gering. Die Ursachen für diese Verschlechterung liegen offensichtlich nicht in der Erfahrung der Spieler. Lediglich bei den Spielern ist der Leistungsunterschied offensichtlich mit ihrem Ausgangsniveau bei der Schnelligkeit des Rückschlags verknüpft. Das bedeutet, dass gute Spieler, die unter normalen Bedingungen ihre Bewegung zum Rückschlag relativ schnell einleiten, stärker in ihrer Leistung einbrechen, wenn der Körper des Gegners verdeckt ist. Generell zeigen die Ergebnisse, dass eine Mehrzahl der Spielerinnen und Spieler anscheinend Informationen aus der Bewegung des Aufschlägers wahrnimmt und nutzt, um schneller auf den Aufschlag zu reagieren, das heißt, die Resultate der vorliegenden Studie können als Hinweis darauf gewertet werden, dass Antizipation stattfindet.

In weiterführenden Studien sollten die Ursachen für das unterschiedliche Niveau der Antizipation untersucht werden, um einerseits den Ursachen auf den Grund zu gehen und andererseits in der Folge Empfehlungen für das Training der Antizipation ableiten zu können.

## 5 Literatur

- Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987). Expert-novice differences in an applied selective attention task. *Journal of Sport Psychology*, 9, 326-345.
- Abernethy, B., Wollstein, J., & Commission, A. S. (1989). *Improving anticipation in racquet sports*: Australian Sports Commission.
- Adolphe, R., Vickers, J., & Laplante, G. (1997). The effects of training visual attention on gaze behaviour and accuracy: A pilot study. *International Journal of Sports Vision*, 4(1), 28-33.
- Fries, U., Zwingmann, K., Liebold, B., Gaudel, J., & Gawin, W. (2017). Die Analyse der Blickstrategien von Badmintonspielern unter Feldbedingungen. In C. Augste & S. Künzell (Hrsg.), *Cogito, ergo commoveo: Multitasking im Sport; Abstractband zur 15. Jahrestagung der dvs-Sektion Sportmotorik 2017* (Band 262, S. 69-70). Feldhaus, Ed. Czwalina.
- Hagemann, N., & Memmert, D. (2006). Coaching anticipatory skill in badminton: Laboratory versus field-based perceptual training. *Journal of Human Movement Studies*, 50(6), 381-398.
- Hagemann, N., & Strauß, B. (2006). Perceptive Expertise von Badmintonspielern [Perceptive Expertise in Badminton Players]. *Zeitschrift für Psychologie/Journal of Psychology*, 214(1), 37-47.
- Harle, S. K., & Vickers, J. N. (2001). Training quiet eye improves accuracy in the basketball free throw. *The Sport Psychologist*, 15(3), 289-305.
- Höner, O. (2006). Das Abschirmungs-Unterbrechungs-Dilemma im Sportspiel. *Zeitschrift für Psychologie/Journal of Psychology*, 214(4), 173-184.
- Hossner, E.-J., Klostermann, A., Koedijker, J. M., Kredel, R., & Lienhard, O. (2014). Lange Fixationen vor Bewegungsbeginn in der Beachvolleyball-Abwehr. In L. Maurer, F. Döhning, K. Ferger, H. Maurer, M. Reiser & H. Müller (Hrsg.), *Trainingsbedingte Veränderungen - Messung, Modellierung und Evidenzsicherung. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft* (Band 237, S. 86). Feldhaus.
- Hülsdünker, T., Rentz, C., Ruhnnow, D., Käsbauer, H., Strüder, H. K., & Mierau, A. (2019). The effect of 4-week stroboscopic training on visual function and sport-specific visuo-motor performance in top-level badminton players. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 14(3), 343-350.

- Lienhard, O., Kredel, R., & Hossner, E. (2013). *Entscheidungs- und Blickbewegungsverhalten in der Beachvolleyball-Abwehr: Being just in time! [Decision- and Gaze Behavior in Beachvolleyball Defense: Being just in time]*. 5. Jahrestagung der Schweizerischen Gesellschaft für Sportwissenschaft, Basel.
- Loffing, F., & Hagemann, N. (2013). Antizipation. In A. Güllich & M. Krüger (Hrsg.), *Sport* (S. 562-564). Springer-Verlag.
- Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(4), 457-478.
- 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 and Sports Health Care*, 5(6), 261-264.
- Moore, L. J., Vine, S. J., Cooke, A., Ring, C., & Wilson, M. R. (2012). Quiet eye training expedites motor learning and aids performance under heightened anxiety: The roles of response programming and external attention. *Psychophysiology*, 49(7), 1005-1015.
- Oudejans, R. R., Koedijker, J. M., Bleijendaal, I., & Bakker, F. C. (2005). The education of attention in aiming at a far target: Training visual control in basketball jump shooting. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 3(2), 197-221.
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2015). The science of badminton: game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. *Sports Medicine*, 45(4), 473-495.
- Poste, D., & Hasse, H. (2002). *Badminton-Schlagtechnik. Mit dem Schläger denken lernen*. Smash-Verlag.
- Shim, J., Carlton, L. G., Chow, J. W., & Chae, W.-S. (2005). The use of anticipatory visual cues by highly skilled tennis players. *Journal of Motor Behavior*, 37(2), 164-175.
- Vickers, J. N. (1996). Visual control when aiming at a far target. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(2), 342-354.
- Vickers, J. N. (2016). The Quiet Eye: Origins, Controversies, and Future Directions. *Kinesiology Review*, 5, 119-128.
- Vine, S. J., Moore, L., & Wilson, M. R. (2011). Quiet eye training facilitates competitive putting performance in elite golfers. *Frontiers in Psychology*, 2, 1-8.
- Wood, G., & Wilson, M. R. (2010). Gaze behaviour and shooting strategies in football penalty kicks: Implications of a "keeper-dependent" approach. *International Journal of Sport Psychology*, 41(3), 293-312.
- Wood, G., & Wilson, M. R. (2011). Quiet-eye training for soccer penalty kicks. *Cognitive Processing*, 12(3), 257-266.
- Zwingmann, K., Fries, U., Liebold, B., & Gawin, W. (2017). Blickstrategien im Spitzensport: Unterscheiden sich auch Experten von Experten? [Gaze Strategies in Elite Sports: Do Experts even differ from Experts?]. In C. Augste & S. Künzell (Hrsg.), *Cogito, ergo commoveo: Multitasking im Sport; Abstractband zur 15. Jahrestagung der dvs-Sektion Sportmotorik 2017* (Band 262, S. 67-68). Hamburg: Feldhaus, Ed. Czwalina.



# Etablierung einer 3D-Bewegungsanalyse der Absprungbewegung an der Sprungschanze

(AZ 070803/18)

Jakob Ketterer<sup>1</sup>, Albert Gollhofer<sup>1</sup> (Projektleitung), Dominic Gehring<sup>1</sup>, Daniel Brinkmann<sup>1</sup>  
& Benedikt Lauber<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Universität Fribourg, Department Neuro- und Bewegungswissenschaften

## 1 Problem

Im Verlauf eines Skisprungs wird dem Absprung die höchste Relevanz für den sportlichen Erfolg der Athletinnen und Athleten zugeschrieben, da er die Anfangskonditionen für die Flugphase kreiert und damit eine Schlüsselrolle für die Sprungweite einnimmt (Schwameder, 2008). Den Springerinnen und Springern steht aufgrund der hohen Anfahrtsgeschwindigkeiten eine nur sehr kurze Zeitspanne zur Verfügung, in der die komplexen und dynamischen Bewegungsabläufe zum Absprung ausgeführt werden können. Folglich stellt der Absprung auch im Training eine Kernkomponente dar. Die Skispringerinnen und Skispringer können jedoch lediglich geringe Trainingsumfänge auf der Schanze absolvieren (Sandbakk et al., 2016), weshalb es in der Trainingsgestaltung zahlreicher Imitationssprünge bedarf, um den Springerinnen und Springern ein adäquates Training des Absprungs abseits der Schanze zu ermöglichen (Ettema et al., 2016). Die Komplexität der Absprungbewegung impliziert hierbei eine möglichst präzise Simulation des Sprunges im Training, damit die anspruchsvollen Bewegungsmuster verbessert und gefestigt werden können sowie ein getreuer Transfer auf die Schanze erfolgen kann (Lorenzetti et al., 2017). Imitationsformen, die in diesem Zusammenhang bereits thematisiert wurden, sind Imitationssprünge von festem Untergrund, Imitationssprünge von einem Rollwagen im Flachen und von Rampen mit verschiedenen Neigungen als auch Squat Jumps und Drop Jumps. Ein direkter Vergleich dieser Parameter während unterschiedlicher Imitationsformen wurde in keiner Untersuchung angeführt, obwohl Schwameder

(2008) zu bedenken gibt, dass ein beträchtlicher Unterschied in den Rahmenbedingungen zwischen dem Absprung bei Imitationssprüngen und Sprüngen auf der Schanze vorliegt. Zu diesen Unterschieden zählen primär die horizontale Absprunggeschwindigkeit, der Luftwiderstand sowie die Reibung und die Scherkräfte zwischen Athletin bzw. Athlet und dem Untergrund (Ettema et al., 2016). Hieraus resultiert, dass auf der Schanze geringere vertikale Absprunggeschwindigkeiten erreicht werden (Vaverka et al., 1994) und die Dauer des Absprungs im Vergleich zu Imitationssprüngen geringer ausfällt (Virma-virta, Kivekäs, & Komi, 2001).

Die Effektivität einer Imitationsübung ist primär an ihre Ähnlichkeit mit den kinematischen und kinetischen Strukturen von Sprüngen an der Schanze gekoppelt. Jedoch gibt es bisher keine vergleichende 3D-analytische und zeitlich hochauflösende Untersuchung, die Ausprägungen spezifischer, leistungslimitierender biomechanischer Parameter im Skisprung zwischen simulierten und realen Sprüngen feindifferenziert erfasst, um so Imitationsformen zu finden, die der Situation an der Schanze hinsichtlich der gezeigten Kinematik möglichst gleichen, wodurch die (Weiter-)Entwicklung skisprungspezifischer Trainingsformen vorangetrieben werden kann. Folglich werden Imitationssprünge mit und ohne Trainerunterstützung sowie mit und ohne Skisprungschuhe durchgeführt, kinematisch analysiert und hinsichtlich der leistungslimitierenden Parameter mit der Schanze verglichen. So soll die Frage geklärt werden, welche Imitationsform hinsichtlich der Ausprägung der Parameter mit den Sprüngen an der Schanze am meisten übereinstimmt. Dies liefert wertvolle Aufschlüsse für das Trainerteam

und die Trainingsgestaltung. Zudem ist dies die erste Untersuchung, die zeitlich so hochauflösende 3D-Aufnahmen des Absprungs an der Schanze aufzeichnet, wodurch die Biomechanik des Absprungs tiefgreifend aufgearbeitet werden und mit der Sprungweite korrelativ analysiert werden kann.

## 2 Methode

### 2.1 Datenerhebung

Die Sprünge auf der Schanze wurden im Adler-Skistadion in Hinterzarten gemessen. Die Daten wurden im Rahmen der Deutschen Meisterschaft der Herren (N = 38) und dem tagesgleich stattfindenden DSV Jugendcup der Junioren (N = 17) erhoben. Beide Wettbewerbe umfassten zwei Sprünge pro Athlet. Neun der Springer führten an den beiden Tagen vor dem Wettkampf im Biomechanik-Labor des Institutes für Sport und Sportwissenschaft Freiburg Imitationssprünge in unterschiedlichen Ausführungen durch.

Die Imitationssprünge im Labor wurden sowohl barfuß als auch mit den persönlichen Skischuhen der Athleten durchgeführt. Beim Imitationssprung steht der Skispringer mit beiden Beinen auf dem Boden und nimmt hierbei seine individuelle Hockposition zum Absprung ein. Die Arme werden seitlich am Körper nach hinten gestreckt. Aus dieser Anfahrthocke wird ein maximal hoher vertikaler Sprung ausgeführt. Bei der Imitationsform Rollwagen fährt der Athlet eine abschüssige Rampe herunter. Auf dem Rollwagen wird ebenso wie beim Imitationssprung die skisprungtypische Anfahrtsposition eingenommen und aus dieser abgesprungen.

### 2.2 Messmethodik

Um die Kinematik der Absprungbewegung zu erfassen, wurde ein videobasiertes Bewegungsanalysesystem verwendet (Simi Reality Motion Systems GmbH, Unterschleißheim, Deutschland). Dieses System kam sowohl an der Schanze als auch im Labor zum Einsatz. Der Absprung des Skispringers wurde von sechs synchronisierten Kameras erfasst. Die so aufgenommenen Videos wurden zunächst in dem Programm Simi Shape bearbeitet, wo ein virtuelles 3D-Modell

hinterlegt ist, das Proportionen entsprechend der Silhouette des Skispringers annimmt. Das Modell passt sich über jeden aufgenommenen Bildframe an die Position und Haltung der Segmente des Skispringers an. So wird die Absprungbewegung des Springers erfasst und dynamisch nachverfolgt (getrackt), wodurch die Bewegung des Skispringers aus den Videoaufnahmen dreidimensional rekonstruiert werden kann.

Über eine inverse Kinematik wurde aus dem Modell in Simi Shape die Lage und die Ausrichtung jedes Segments des Athleten in ein weiteres Programm – Simi Motion – exportiert. Hier können anschließend die zu untersuchenden Parameter berechnet werden.

### 2.3 Untersuchte Parameter

Das Ziel dieser 3D-Bewegungsanalyse war vor allem das Bestimmen von Winkelverläufen im Knie- und Hüftgelenk. Ferner kann aus dem hinterlegten Modell der Körperschwerpunkt (KSP) berechnet und sein räumlicher Verlauf oder Geschwindigkeit betrachtet werden. Es wurden folgende biomechanische Parameter während des Absprungs berechnet:

- › Anlaufgeschwindigkeit [km/h]
- › Maximale vertikale Absprunggeschwindigkeit ( $v_{max}$ ) [m/s]
- › Maximale Knieextensionsgeschwindigkeit ( $v_{knee}$ ) und Hüftextensionsgeschwindigkeit ( $v_{hip}$ ) [°/s]
- › Knie-Hüft-Synchronität (KH-Sync): gibt Aufschluss über das Timing der Öffnung im Knie- und Hüftgelenk beim Absprung. Je höher dieser Wert ist, desto größer ist die Differenz der normierten Winkelverläufe des Knie- und Hüftgelenks, was eine asynchrone Knie- und Hüftextension impliziert.
- › Vorlage [cm]: beschreibt den Abstand des KSP zum Mittelpunkt zwischen Fußgelenkszentren des Springers in Bewegungsrichtung.



- › Vorwärtsgerichteter Drehimpuls (L)[Nms]
- › Valgus Index (VI): gibt Aufschluss über die Stellung der Beinachsen des Skispringers bei dessen Absprung (Pauli et al., 2016). Ein  $VI < 0$  bedeutet einen Knievalgus, ein  $VI > 0$  einen Knievarus.

## 2.4 Statistik

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mittels der Statistiksoftware SPSS Statistics 22 (IBM, Armonk, NY, USA). Bei allen statistischen Analysen ist jeweils die Wahrscheinlichkeit  $p$  für Gleichheit der Mittelwerte angegeben. Hierbei wurde die Signifikanzgrenze  $\alpha$  auf 5 % festgelegt ( $p < .05$ ). Um Unterschiede zwischen den Ausprägungen der biomechanischen Parameter zwischen der Schanze und den Imitationssprüngen zu untersuchen, wird ein mixed-effects model verwendet. Zeigt der F-Test einen Haupteffekt, wird über einen Bonferroni-Post-hoc Test geklärt, zwischen welchen Faktorstufen (Imitationssprüngen) Unterschiede bestehen.

## 3 Ergebnisse

Es zeigt sich, dass die Imitationsbedingung einen Einfluss auf die  $v_{\max}$  hat ( $F[2.714, 17.19] = 36.10$ ,  $p < .001$ ). Die post-hoc Analyse zeigt, dass sich die  $v_{\max}$  auf der Schanze von der bei Imitationssprüngen ohne Schuhe (Imi) ( $p = .003$ ), Imitationssprüngen mit Schuhen (Imi\_S) ( $p < .001$ ), Imitationssprüngen vom Rollwagen ohne

Schuhe und ohne Trainer (SL) ( $p = .003$ ), Imitationssprüngen vom Rollwagen ohne Schuhe und mit Trainer (SL\_T) ( $p = .004$ ), Imitationssprüngen vom Rollwagen mit Schuhen und ohne Trainer (SL\_S) ( $p < .001$ ) als auch Imitationssprüngen vom Rollwagen mit Schuhen und mit Trainer (SL\_T\_S) ( $p = .008$ ) unterscheidet (Abb. 1). Einen Haupteffekt zeigt die Imitationsform u. a. auch auf den vom Springer im Verlauf des Absprungs generierten Drehimpuls ( $F[2.897, 18.35] = 18.26$ ,  $p < .001$ ). Der post-hoc Test zeigt, dass sich der vom Springer auf der Schanze erzeugte Drehimpuls von dem bei Imi ( $p = .017$ ), Imi\_S ( $p < .001$ ) und SL\_S ( $p = .01$ ) unterscheidet (Abb. 1).

## 4 Diskussion

In diese Untersuchung wurde ein Großteil der Parameter aufgenommen, die in früheren Studien in Zusammenhang mit der Sprungweite gebracht wurden, um erstmals über eine detaillierte 3D-Analyse auf der Schanze deren Relevanz für die Sprungweite zu verifizieren. Lediglich die  $v_{\max}$  steht in Zusammenhang mit der Sprungweite, was die in vorherigen Studien beschriebene hohe Relevanz dieses Parameters bestärkt (Pauli et al., 2016; Rasdal et al., 2017; Schwameder & Müller, 1995; Schwameder et al., 2005; Virmavirta et al., 2005; Vodičar & Jošt, 2010). Darüber hinaus kann dieses Ergebnis für die Trainingsgestaltung der Athleten eine wichtige Erkenntnis sein, da es die Explosivkraft des Springers als Kernkomponente identifiziert, die entsprechend trainiert werden kann. Gestützt wird das durch die Tatsache, dass eine Korrela-

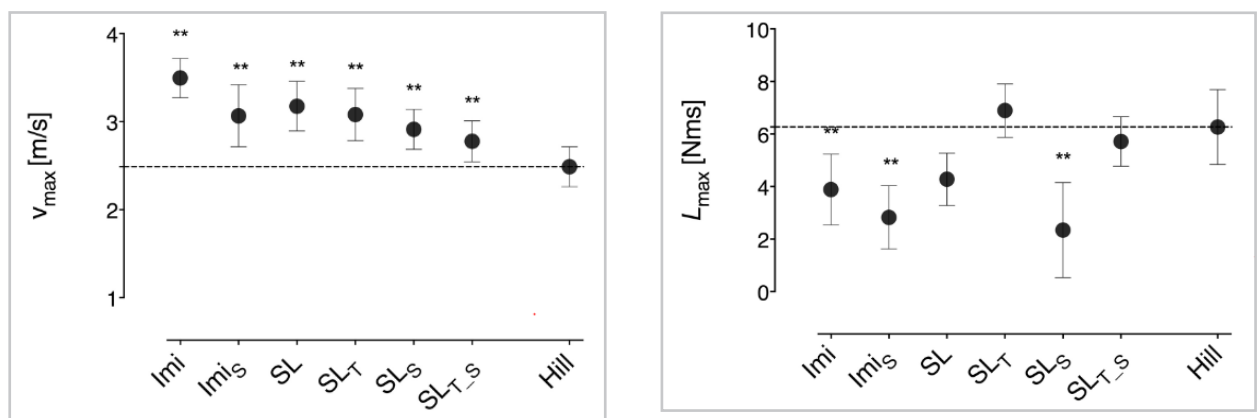


Abb. 1: Imi = Imitation ohne Trainer ohne Schuhe; Imi\_S = Imitation ohne Trainer mit Schuhen; SL = Rollwagen ohne Trainer ohne Schuhe; SL\_T = Rollwagen mit Trainer ohne Schuhe; SL\_S = Rollwagen ohne Trainer mit Schuhen; SL\_T\_S = Rollwagen mit Trainer mit Schuhen; Hill = Schanze. \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$



tion zwischen der  $v_{\max}$  und  $v_{\text{knee}}$  besteht ( $r = .5$ ;  $p > .001$ ). Die Knieextensoren beschleunigen den Körperschwerpunkt vertikal, um so die hohe  $v_{\max}$  zu realisieren zu können.

Die  $v_{\max}$  und das Erreichen eines vorwärtsgerichteten Drehimpulses können als Hauptaufgabe des Absprungs gesehen werden (Schwameder, 2008), weshalb diesen beiden Parametern im Training eine besondere Relevanz zukommt. Es kann ein kontinuierlicher Abfall der  $v_{\max}$  mit zunehmender Komplexität der Imitationsform beobachtet werden, wobei sich die  $v_{\max}$  der Schanze immer weiter annähert. Es bleiben jedoch stets statistisch signifikante Unterschiede bestehen. Dass die  $v_{\max}$  auf der Schanze unter der  $v_{\max}$  bei Imitationssprüngen im Labor liegt, steht im Einklang mit bisherigen Untersuchungen in der Literatur (Vaverka et al., 1994). Es zeigt sich, dass die  $v_{\max}$  speziell mit dem Tragen von Skischuhen abnimmt, was unter anderem an der Limitation der Plantarflexion liegt (Komi & Virravirta, 1996; Virravirta & Komi, 2001). Da die  $v_{\max}$  der einzige Parameter ist, der in dieser Untersuchung eine Korrelation mit der Sprungweite aufwies, sollte ein primäres Augenmerk darauf liegen, diesen Parameter möglichst getreu der Schanze simulieren zu können, was nachweislich mit der komplexesten Imitationsform möglich wird.

Um einen vorwärtsgerichteten Drehimpuls zu erzeugen, muss der Körperschwerpunkt nach anterior verschoben werden, damit der Vektor der Bodenreaktionskraft dahinter ansetzen kann (Ettema, Bråten, & Bobbert, 2005). Der bei den Imitationssprüngen generierte Drehimpuls hat lediglich dann eine mit dem Absprung auf der Schanze übereinstimmende Ausprägung, wenn die Auffangunterstützung des Trainers in die Simulation miteinbezogen wird. Nur so kann der KSP ausreichend transferiert werden, um ähnlich hohe Drehimpulse zu erzeugen.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Imitationsform – mit Ausnahme der  $v_{\text{hip}}$  und des VI – auf alle Parameter einen Haupteffekt hat. Weiter kann mit Ausnahme der  $v_{\max}$  für alle Parameter keine Imitationsform identifiziert werden, die sich hinsichtlich der Ausprägung des Parameters nicht von der Schanze unterscheidet und damit adäquat trainiert werden kann. Außerdem muss festgehalten werden, dass sechs der

sieben untersuchten Parameter am besten über eine Imitationsform mit Skischuhen simuliert werden können. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, Skischuhe zunehmend in die Trainingsroutine zu implementieren.

## 5 Literatur

- Arndt, A., Brüggemann, G. P., Virravirta, 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.
- Ettema, G. J., Bråten, S., & Bobbert, M. F. (2005). Dynamics of the in-run in ski jumping: A simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(3), 247-259. <https://doi.org/10.1123/jab.21.3.247>
- Ettema, G. J., Hooiveld, J., Braaten, S., & Bobbert, M. F. (2016). How do elite ski jumpers handle the dynamic conditions in imitation jumps? *Journal of Sports Sciences*, 34(11), 1081-1087.
- Komi, P. V., & Virravirta, M. (1996). Ski-jumping take-off performance: Determining factors and methodological advances. In E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl, & C. Raschner (Eds.), *Science and Skiing* (pp. 3-26). E & FN SPON.
- Lorenzetti, S., Ammann, F., Windmüller, S., Häberle, R., Müller, S., Gross, M., ... Hübner, K. (2017). Conditioning exercises in ski jumping: biomechanical relationship of squat jumps, imitation jumps, and hill jumps. *Sports Biomechanics*, 3141, 1-12. <https://doi.org/10.1080/14763141.2017.1383506>
- Pauli, C. A., Keller, M., Ammann, F., Hübner, K., Lindorfer, J., Taylor, W. R., & Lorenzetti, S. (2016). Kinematics and kinetics of squats, drop jumps and imitation jumps of ski jumpers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(3), 643-652.
- Rasdal, V., Fudel, R., Kocbach, J., Moen, F., Ettema, G., & Sandbakk, Ø. (2017). Association between laboratory capacities and world-cup performance in Nordic combined. *PLoS ONE*, 12(6).

- Sandbakk, Ø., Rasdal, V., Bråten, S., Moen, F., & Ettema, G. (2016). How do world-class nordic combined athletes differ from specialized cross-country skiers and ski jumpers in sportspecific capacity and training characteristics? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 899-906.
- Schwameder, H. (2008). Biomechanics research in ski jumping – 1991-2006. *Sports Biomechanics*, 7(1), 114-136.
- Schwameder, H., & Müller, E. (1995). Biomechanische Beschreibung und Analyse der V- Technik im Skispringen. *Spectrum Der Sportwissenschaften*, 1(Mai 1995), 5-36.
- Schwameder, H., Müller, E., Lindenhofer, E., De Monte, G., Potthast, W., Brüggemann, G., ... Komi, P. V. (2005). Kinematic characteristics of the early flight phase in ski-jumping. *Science and Skiing III*, 381-391.
- Vaverka, F., Janura, M., Salinger, J., & Brichta, J. (1994). A comparison of the take-off measured under laboratory and jumping-hill conditions. *Journal of Biomechanics*, 27(6), 694.
- Virmavirta, M., & Komi, P. V. (2001). Ski jumping boots limit effective take-off in ski jumping. *Journal of Sports Sciences*, 19(12), 961-968. <https://doi.org/10.1080/026404101317108462>
- Virmavirta, Mikko, Isolehto, J., Komi, P., Brüggemann, G. P., Müller, E., & Schwameder, H. (2005). Characteristics of the early flight phase in the Olympic ski jumping competition. *Journal of Biomechanics*, 38(11), 2157-2163. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.004>
- Virmavirta, Mikko, Isolehto, J., Komi, P., Schwameder, H., Pigozzi, F., & Massazza, G. (2009). Take-off analysis of the Olympic ski jumping competition (HS-106 m). *Journal of Biomechanics*, 42(8), 1095-1101.
- Virmavirta, Mikko, Kivekäs, J., & Komi, P. V. (2001). Take-off aerodynamics in ski jumping. *Journal of Biomechanics*, 34(4), 465-470. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00218-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00218-9)
- Virmavirta, Mikko, & Komi, P. V. (2001). Plantar pressure and EMG activity of simulated and actual ski jumping take-off. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 11(5), 310-314.
- 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. <https://doi.org/10.2478/v10078-010-0005-6>
- Vodičar, J., & Jošt, B. (2011). The Relationship Between Selected Kinematic Parameters and Length of Jumps of the Ski-Flying Competition. *Kinesiology*, 43(1), 74-81.



# Evaluation von Komponenten des neuen Mobilten Messsystems 2020 im Rennrudern

## Teil II: Ruderwinkel und Innenhebelkraft

AZ 070801/18-19

Klaus Mattes (Projektleitung), Nina Schaffert, Martin Reischmann & Björn Losekamm

Universität Hamburg, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft

### 1 Einleitung und theoretischer Hintergrund

Das zu evaluierende MMS 2020 stellt eine komplett neue Hardware- (Sensoren, Messelektronik) und Softwarelösung (Datenerfassung, -auswertung und -präsentation) dar. Dabei bleiben bewährte Messparameter wie der Ruderwinkel, die Innenhebelkraft, die Bootsgeschwindigkeit und -beschleunigung sowie das Rollen, Gieren und Stampfen des Bootes erhalten, werden aber durch eine moderne technische Lösung neu umgesetzt. Ein zentrales Problem der Einführung des neuen MMS 2020 bildet die Bestimmung von Reproduzierbarkeit und Sensitivität der Testdaten, die den Anforderungen an die Diagnostik im Hochleistungsbereich genügen muss. Ziel dieses Teils der Evaluationsstudie war es, die Reproduzierbarkeit und Sensitivität des MMS 2020 zu prüfen. Dabei sollte ermittelt werden, inwieweit das neue Messsystem geringe Schlagfrequenz- und Bootsgeschwindigkeitsdifferenzen trennscharf messtechnisch beschreibt. Im vorliegenden Beitrag wird auf die Ergebnisse zur Innenhebelkraft und Ruderwinkel eingegangen.

Die Innenhebelkraft im Durchzug stellt das Ergebnis der Höhe und Richtung der Kraftabgabe des Athleten an das Ruder sowie der zweckmäßigen Kopplung der Teilbewegungen von Bein- und Hüftstreckung sowie des Arm-Schulterzuges dar. Die Innenhebelkraft charakterisiert somit ausgewählte Merkmale des Antriebes und konstituiert wesentlich die Innenhebelleistung. Der Ruderwinkel beschreibt die Bewegungsamplitude vom Einsetzen und Ausheben der Blätter im Bezug zur Dolle. Ein optimal langer Arbeitsweg mit der richtigen Orientierung zur Dolle bildet

eine notwendige Voraussetzung für eine hohe Innenhebelleistung, kann als Kreisbogenweg aus dem Ruderwinkel und der Innenhebellänge ermittelt und hieraus die zeitabhängige Innenhebelgeschwindigkeit berechnet werden. Das Produkt aus Innenhebelkraft- und Innenhebelgeschwindigkeit bildet die Innenhebelleistung (Klešnev, 2016; Mattes, 2013; Soper & Hume, 2004).

Hinsichtlich der Sensitivität von Ruderwinkel und Innenhebelkraft wurde hypothetisch angenommen, dass eine geringe Steigerung der Bootsgeschwindigkeit um ca. 0,15 m/s bei reduzierter Schlagfrequenz (ca. 0,5 Schl./min) mit einer höheren Innenhebelkraft und -leistung im Durchzug bei vergleichbarer Schlagweite und einer reduzierten Innenhebelgeschwindigkeit im Freilauf assoziiert sind.

### 2 Methoden

Mit Juniorinnen und Junioren der U19-Bundeskaderathletinnen und -athleten wurden in Klein-, Mittel- und Großbooten Felduntersuchungen durchgeführt (Tab. 1). Geprüft wurde der Einfluss der Bootsklasse, Schlagfrequenz und Bootsgeschwindigkeit auf die abhängigen Variablen Ruderwinkel und Innenhebelkraft gemessen mit dem MMS 2020.

Nach einem individuellen Einfahrprogramm wurde die Baseline über 50 Ruderzyklen mit einer Schlagfrequenz von ca. 20 Schläge/min bestimmt. Daran schlossen sich eine Messwiederholung (50 Ruderzyklen) mit vergleichbarer Schlagfrequenz zur Bestimmung der relativen und absoluten Reproduzierbarkeit an. Danach wurden Schlagfrequenz (um ca. 0,5 Schl./min) bzw. die Bootsgeschwindigkeit (um ca. 0,15 m/s) variiert, um die Sensitivität des Messsystems zu kontrollieren.

Tab. 1: Übersicht über die Probandenstichprobe geordnet nach Skullen und Riemenrudern

Untersuchungsteil	Skull (Anzahl)		Riemen (Anzahl)	
	Messfahrten	Sportler	Boote	Sportler
Reproduzierbarkeit Ruderwinkel und Innenhebelkraft	2 (1x MJ4 und 1 x FJW4x) 1 (FJ2x)	10	1 (JM8+)	8
Bestimmung der Sensitivität des MMS 2020	2 (1xMJ4 und 1 x FJW4x) 1 (FJ2x)	10	1 (JM8+)	8

Für den Vergleich der Testetappen Messstrecken (Baseline, vs. Messwiederholung bzw. Veränderung der Schlagfrequenz und Bootsgeschwindigkeit) wurden gepaarte t-Test berechnet. Die relative Reproduzierbarkeit wurde mittels ICC (3.1) und die absolute Reproduzierbarkeit mittels Standard error of Measurement (SEM) und Wiederholbarkeitskoeffizient (CR, coefficient of repeatability) berechnet:

$SEM = SD \cdot \sqrt{1-ICC}$  mit  $SD$  = Standardabweichung aus beiden Messungen

$CR = SEM \cdot \sqrt{2 \cdot 1,96}$ .

Die Normalverteilung und Varianzhomogenität wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test bzw. Levene-Test geprüft. Die mathematisch-statistische Auswertung erfolgte mit SPSS Version 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

### 3 Ergebnisse

Nachfolgend werden Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit und Sensitivität der Daten eines Achter der U19 Juniorinnen (JF8+) dargestellt. Bei der Berechnung der Reproduzierbarkeitsdaten differierte die Schlagfrequenz zwischen Testetappe 1 vs. Testetappe 2 nur um 0,1 Schläge/min (20,75 vs. 20,85 Schl./min) bei vergleichbarer Bootsgeschwindigkeit (4,21 vs. 4,23 m/s). Der Intraklassenkorrelations-Koeffizient (ICC) erreichte mit einer Ausnahme (FIHD) im Mittel sehr hohe Werte ( $ICC > 0,9$ ). Die Werte für den Bias lagen bei der Innenhebelkraft zwischen 3 bis 8 N, beim Ruderwinkel zwischen 0 bis 0,1° und bei der Innenhebelleistung bei 4 W. Dabei realisierten die Ruderinnen in der zweiten Etappe mit höherer Schlagfrequenz im Durchschnitt signifikant höhere Werte der Innenhebelleistung aufgrund höherer Innenhebelkraft und -geschwindigkeit (Tab. 2).

Tab. 2: Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der Kennwerte der Innenhebelkraft ( $F_{IHD}$ ), Maximum der Innenhebelkraft ( $F_{IHxD}$ ), Schlagweite ( $S_w$ ), wirksamen Schlagweite (SWW), Vorlagewinkels ( $W_i$ ), Rücklagewinkels ( $W_x$ ), Innenhebelleistung im Ruderzyklus ( $P_{IHZ}$ ), Innenhebelgeschwindigkeit im Durchzug ( $v_{IHD}$ ) und Durchzugszeit ( $t_D$ ), sowie der absoluten (SEM und CR) und relativen Reproduzierbarkeit (ICC), untere Grenze (uÜG) und obere Grenze (oÜG) des ICC sowie p-Wert des t-Tests

Kennwert	Etappe 1	Etappe 2	Bias	SEM	CR	p - Wert	ICC	uÜG	oÜG
$F_{IHD}$ [N]	269 $\pm$ 12	276 $\pm$ 12	-7	5	10	0,03	0,82	0,34	0,96
$S_w$ [°]	85,3 $\pm$ 2,3	85,2 $\pm$ 2,3	0,1	0,3	0,6	0,53	0,98	0,92	1
$S_{WW}$ [°]	77,6 $\pm$ 4,2	77,6 $\pm$ 4,6	0,1	0,7	1,4	0,90	0,97	0,87	0,99
$W_i$ [°]	37,1 $\pm$ 2,9	37,1 $\pm$ 2,7	0	0,3	0,5	0,99	0,99	0,95	1
$W_x$ [°]	122,4 $\pm$ 2,2	122,2 $\pm$ 2,1	0,1	0,1	0,2	0,08	1	0,99	1
$P_{IHZ}$ [W]	134 $\pm$ 11	138 $\pm$ 13	-4	4	7	0,05	0,91	0,63	0,98
$v_{IHD}$ [m/s]	1,7 $\pm$ 0,04	1,72 $\pm$ 0,05	-0,02	0,01	0,02	0,01	0,94	0,74	0,99
$t_D$ [s]	0,8 $\pm$ 0,06	0,79 $\pm$ 0,07	0,01	0,01	0,02	0,09	0,98	0,91	1

Bei Überprüfung der Sensitivität des Messsystems differierten die Testetappen 1 und 2 – wie gefordert – in der Schlagfrequenz um ca. 0,5 Schl./min (20,38 vs. 19,78 Schl./min) und Bootsgeschwindigkeit um ca. 0,15 m/s (4,2 vs. 4,33 m/s).

Die Testetappe 2 mit der höheren Bootsgeschwindigkeit aber geringerer Schlagfrequenz absolvierte die Mannschaft mit signifikant

- › höherer Innenhebeleistung ( $P_{IHD}$ ) und -geschwindigkeit ( $v_{IHD}$ ) im Durchzug,
- › längerer Freilauf- ( $t_f$ ) und Zykluszeit ( $t_z$ ),
- › größerer Schlagweite ( $S_w$ ) und weiterer Ruderwinkelrücklage ( $W_x$ ) sowie
- › nicht signifikant höherer Innenhebelkraft im Durchzug ( $F_{IHD}$ ).

nur gering in der Schlagfrequenz bzw. Bootsgeschwindigkeit, die Differenzen lagen bei 0,03 bis 0,14 Schl./min bzw. bei 0,01 bis 0,04 m/s. Die Differenzen auf eine angenommene Fahrzeit von 6 min hochgerechnet würden bei der Schlagfrequenz einen Unterschied kleiner als einen Ruderschlag ergeben. Die Unterschiede in der Bootsgeschwindigkeit waren dagegen beachtlich. Bei einer abweichenden Bootsgeschwindigkeit von 0,01 bis 0,04 m/s legt das Boot nach 6 min einen um 3,6 bis 14,4 m veränderten Fahrweg zurück. Die scheinbar geringe Bootsgeschwindigkeitsdifferenz nimmt enormen Einfluss auf das angezielte Ergebnis, eine definierte Fahrstrecke möglichst schnell zurückzulegen. Das Rechenbeispiel zeigt, dass bezogen auf die Bootsgeschwindigkeit, leistungsrelevante Unterschiede zwischen den untersuchten Testetappen bestanden und folglich auch in den Daten der Reproduzierbarkeit enthalten sind.

Tab. 3: Kennwerte der Innenhebeleistung und ihrer Komponenten (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) im Vergleich der beiden Testetappen (Abkürzungen siehe Tab. 2)

Kennwert	Etappe 1	Etappe 2	Differenz	UG	OG	t-Wert	p-Wert
$P_{IHD}$ [W]	489 $\pm$ 33	508 $\pm$ 22	-18,9	1,70	36,00	2,60	,04
$F_{IHD}$ [N]	270 $\pm$ 17	276 $\pm$ 12	-5,5	-3,70	14,70	1,42	,12
$v_{IHD}$ [m/s]	1,72 $\pm$ 0,04	1,75 $\pm$ 0,05	-0,03	0,02	0,04	6,25	,001
$t_d$ [s]	0,79 $\pm$ 0,07	0,79 $\pm$ 0,07	-0	-0,016	0,016	0,00	1,0
$t_f$ [s]	2,16 $\pm$ 0,07	2,25 $\pm$ 0,07	-0,09	0,072	0,105	12,81	,001
$t_z$ [s]	2,94 $\pm$ 0,01	3,03 $\pm$ 0,01	-0,09	0,082	0,093	35,00	,001
$S_w$ [°]	85,2 $\pm$ 2,3	86,3 $\pm$ 2,8	-1,13	0,52	1,73	4,39	,003
$W_i$ [°]	36,8 $\pm$ 2,8	36,3 $\pm$ 3,5	0,48	-1,11	0,16	-1,77	,12
$W_x$ [°]	121,9 $\pm$ 2,0	122,5 $\pm$ 2,3	-0,64	0,23	1,05	3,66	,01

## 4 Diskussion

Zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit wurden zwei Etappen von jeweils 50 Ruderzyklen einer Messfahrt mit vergleichbarer Schlagfrequenz und Bootsgeschwindigkeit gegenübergestellt. Die Untersuchungen fanden in verschiedenen Bootsklassen (Achter, Doppelvierer und Doppelzweier) statt. Dabei absolvierten die Mannschaften Trainingseinheiten im Grundlagenausdauerbereich mit einer Schlagfrequenz von ca. 20 Schl./min. Die Etappen variierten

Ferner waren signifikante Unterschiede in den rudertechnischen Kennwerten der Testetappen zu erwarten, weil das Messsystem die Daten genauer erfasst, als die Ruderinnen und Ruderer diese unter Feldbedingungen im Rennboot reproduzieren können.

Insgesamt unterstreichen die Daten zur Reproduzierbarkeit die hohe Genauigkeit des neuen Messsystems, die bei den dynamischen Kennwerten und bei den räumlich-zeitlichen Kennwerten höher als die Reproduzierbarkeit durch die Athletinnen unter Feldbedingungen im



Rennboot einzuschätzen ist. Die Merkmale des Ruderwinkels (räumliche Merkmale) werden auch im Rennboot durch leistungsstarke Athletinnen reliabel reproduziert.

Die Sensitivität des Messsystems wurde durch den Vergleich von zwei Testetappen über jeweils 50 Ruderzyklen einer Messfahrt überprüft, die sich in der Schlagfrequenz und der Bootsgeschwindigkeit unterschieden. Ziel war es, die geringen Unterschiede in der Bootsgeschwindigkeit anhand der Kennwerte von Ruderleistung und Rudertechnik zu erklären und dabei den Einfluss der Schlagfrequenz zu berücksichtigen.

Der Vergleich der Testetappen des Achters zeigte, dass die höhere Bootsgeschwindigkeit trotz geringerer Schlagfrequenz durch die Kennwerte der Ruderleistung und -technik erklärt werden konnte. Das Boot fuhr in der Testetappe 2 schneller, weil die Mannschaft eine höhere Innenhebelleistung gestützt durch eine höhere Innenhebelkraft und -geschwindigkeit sowie eine größere Schlagweite im Durchzug realisierte. Dadurch wurde der Vortrieb pro Ruderschlag erhöht und die Bootsgeschwindigkeit gesteigert.

Die geringere Schlagfrequenz der Testetappe 2 führte zu einer kürzeren Freilaufzeit was auf eine geringere Innenhebelgeschwindigkeit in der antriebslosen Phase hinweist. Die Athleten bewegten sich im Freilauf ruhiger (weniger schnell) in die Vorlageposition, was wiederum den Lauf des Bootes und die Vorbereitung auf den folgenden Durchzug begünstigt. Dadurch wird ebenfalls ein Beitrag zur Steigerung der Bootsgeschwindigkeit geleistet.

Die Ergebnisdaten verifizieren die Hypothese, dass eine geringe Steigerung der Bootsgeschwindigkeit bei reduzierter Schlagfrequenz mit einer höheren Innenhebelkraft und -leistung im Durchzug und einer reduzierten Innenhebelgeschwindigkeit im Freilauf assoziiert ist. In Ergänzung zur Hypothese konnte gezeigt werden, dass auch Einfluss auf die Schlagweite ausgeübt wurde.

Resümierend decken sich die Ergebnisse mit den umfangreichen Erfahrungen zur Diagnostik von Ruderleistung und Rudertechnik, die mit dem alten MMS 2012 gesammelt wurden. Die Daten zur relativen und absoluten Reproduzierbarkeit zeigen, dass die Variabilität, die durch die Ruderinnen und Ruderer verursacht wird, größer als die Messgenauigkeit des neuen Messsystems ausfällt. Da bisher nur Daten für Bootsklassen der Juniorinnen und Junioren vorliegen, sind weitere Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Testdaten im Nachfolgeprojekt notwendig.

Dem neuen Messsystem 2020 kann eine hohe Sensitivität bescheinigt werden. Leistungsunterschiede von Messfahrtetappen sowie innerhalb einer Bootsbesetzung werden abgebildet. Das Messsystem 2020 erfasst die Ruderleistung und Rudertechnik zuverlässig und mit der für den Spitzensport notwendigen Praktikabilität. Das MMS 2020 ist zweifelsfrei geeignet, die Ruderleistung und Rudertechnik aufgabenbezogen im Training (Belastungsintensitäten, Schlagfrequenzen) und Ruderrennen mit seinen Subphasen (Start, maximale Bootsgeschwindigkeit, Strecke sowie Zwischen- und Endspurt) zu erfassen und die Unterschiede von Bootsbesetzungen sowie einzelner Ruderinnen und Ruderer mit der notwendigen Trennschärfe aufzuklären, um hieraus geeignete Trainingsempfehlungen zu generieren.

## 5 Literatur

- Klešnev, V. (2016). *The biomechanics of rowing*. Ramsbury. The Crowood Press.
- Mattes, K. (2013). Rudertechnik. In D. Altenburg, K. Mattes, & J. M. Steinacker (Hrsg.), *Handbuch Rudertraining. Technik – Leistung – Planung* (2., korr. [überarb.] Aufl. (S. 55-110). Limpert.
- Soper, C., & Hume, P. A. (2004). Towards an ideal rowing technique for performance. *Sports Medicine*, 34(12), 825-848.

# Komplexe biomechanische Analyse der Sprungtechnik im Beachvolleyball – Anforderungsprofil und trainingsmethodische Empfehlungen

(AZ 070802/19)

C. Frese, D. Bubeck, K. Milecik, S. Schlechtweg & W. Alt (Projektleitung)

Universität Stuttgart, Biomechanik und Sportbiologie, Stuttgart, Deutschland

## 1 Einleitung

Beachvolleyball zählt zu den erfolgreichen olympischen Sportarten im deutschen Spitzensport. Um der Attraktivität der Sportart gerecht zu werden, existiert für die Nachwuchsathleten und -athletinnen des Deutschen Volleyballverbandes (DVV) eine Empfehlung, sowohl in der Halle als auch im Sand zu trainieren. Die unterschiedlichen Untergründe beeinflussen die Bewegungsdynamik und -steuerung. Es wird vermutet, dass der sandige Untergrund aufgrund der geringeren Stabilität ein höheres Verletzungs- und Schädigungsrisiko für die Athletinnen und Athleten darstellt (Barrett, Neal & Roberts, 1998). Dies zeigt sich in der Praxis am Olympiastützpunkt in Stuttgart darin, dass den Trainern eine Anhäufung von chronischen und akuten Verletzungen der unteren Extremität beim Wechsel von der Halle- auf Sandböden aufgefallen ist.

Da auch die Hallen-Volleyballer und -volleyballerinnen eine sehr hohe Inzidenz von vorderen Knieschmerzen haben, gab es bereits viele Forschungsgruppen, die sich mit Risikofaktoren beschäftigt haben. Dennoch sind die bisherigen Erkenntnisse zu Risikovariablen sehr diffus. In einem Review werden 37 Risikovariablen im Zusammenhang mit vorderen Knieschmerzen genannt.

Dabei hatten die Studien folgendes gemein:

- › Der Fokus lag auf dem Angriffsschlag. Blockbewegungen oder Sprungaufschläge wurden seltener untersucht (Richards et al., 1996; Harris et al., 2020).

- › Es wurde sich in der Regel auf die Hüft- und Kniegelenksdynamik konzentriert (Richards et al., 1996; Harris et al., 2020).
- › Im Vordergrund standen die horizontale und vertikale Landephase. Die „horizontale Landephase“ geschieht in der Absprungphase, nachdem das Stemmbein Bodenkontakt aufgenommen hat. Die vertikale Landephase beschreibt die Landung nach der eigentlichen Flugphase (Richards et al., 1996).

Aus den Untersuchungen gehen folgende Erkenntnisse hervor:

- › Die Absprungphase scheint relevant für die Ausbildung von Knieschmerzen zu sein. Sowohl die Spitzenbelastung, das Außenrotationsmoment als auch das Inversionsmoment des Stemmbeines sind signifikante Prädiktoren für vordere Knieschmerzen (Richards et al., 1996).
- › In der Landephase werden die bisherigen Risikofaktoren sehr kontrovers diskutiert (Harris et al., 2020).

Folgende Aspekte wurden bei den bisherigen Studien noch gar nicht untersucht:

- › Die Bewegungsdynamik in echten Felddingungen, da alle Studien im Labor durchgeführt wurden (Problem: sehr geringe Sandhöhe). Folglich gibt es keine Erkenntnisse zur Bewegungsdynamik in der Halle oder auf dem Sand.
- › Die neuromuskuläre Ansteuerung im Angriffsschlag. Hierzu gibt es weder Ergebnisse aus Labor- noch Felddingungen. Folglich gibt es auch keine Resultate über Gruppenunterschiede von Athletinnen bzw. Athleten mit und ohne vordere Knieschmerzen beim Angriffsschlag auf unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten. Elektromyographische Untersuchungen wurden nur in diagnostischen Tests durchgeführt. Dort häufen sich die Hinweise, dass das M. vastus medialis (VM)/M. vastus lateralis (VL)-Verhältnis bei Patienten mit vorderen Knieschmerzen im Vergleich zu Gesunden erniedrigt ist (Bley et al., 2014).

Ziel des Projektes war es zu untersuchen,

- › inwieweit die Bewegung und die Ansteuerungsprofile von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst werden,
- › ob Gruppenunterschiede in kinematischen, kinetischen und neuromuskulären Parametern bei Athletinnen bzw. Athleten mit und ohne Knieschmerzen auftreten und
- › ob diese Unterschiede von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst werden.

## 2 Methode

Es wurde eine Querschnittsstudie mit 20 VolleyballerInnen durchgeführt. Davon waren 11 nicht und 9 von Knieschmerzen betroffen, (zwei Spielerinnen mit bilateralen Beschwerden). Alle trainierten am Olympiastützpunkt Stuttgart im Nachwuchskader (14-23 Jahre), vierzehn davon primär in der Halle und vier im Sand.

Für die komplexe biomechanische Analyse von volleyballspezifischen Sprüngen wurden die Athletinnen und Athleten mit einem auf inertial-measurement-units (IMU) bestehenden Bewegungsanalysesystem (MyoMotion, Noraxon), mit Druckmesssohlen (MediLogic, T&T Medizintechnik GmbH, Schönefeld, Germany) und mit Oberflächen-EMG (Noraxon) ausgestattet. Das Bewegungsanalysesystem erfasste die Bewegung der unteren Extremität. Die Druckmesssohlen befanden sich unter dem Fuß im Schuh (Hallenbedingung) oder wurden mit Kompressionssocken (Sandbedingung) fixiert. Abgeleitet wurden der VM und VL. Die Messungen fanden in randomisierter Reihenfolge in der Halle und auf zwei Sandfeldern statt, die mit unterschiedliche Sandsorten aufgefüllt waren. Im Vergleich von „Sand 1“ und „Sand 2“ wurde der „Sand 1“ subjektiv von den Athleten als härter wahrgenommen. Der „Sand 2“ wurde vor ein paar Jahren extra zur Vorbereitung auf die Olympischen Spiele in Rio angelegt, und die Beschaffenheit gleicht der Körnung des Sandes in Rio. Auf allen drei Felddingungen wurden diagnostische und volleyballspezifische Sprünge durchgeführt.

Zu den diagnostischen Sprüngen gehörte der **Counter Movement Jump** (ohne und mit Armschwung). Beim Countermovement Jump (CMJ) starten die Athletinnen und Athleten in einer gestreckten Position. In der Absprunghase wird zunächst der Körperschwerpunkt durch eine Beugung der Knie und Hüfte abgesenkt. Durch eine Streckbewegung wird Energie für den Absprung generiert. Beim CMJ ohne Arme werden die Hände in die Hüfte gestemmt. Beim CMJ mit Armen können die Athleten die Arme frei bewegen

Die volleyballspezifischen Sprünge umfassten zum einen den **Blocksprung**. Beim Blocksprung stehen die Athleten vor dem Netz. Beim Start

befinden sich die Hände vor der Brust. Die Athletinnen bzw. Athleten springen aus dem Stand nach oben und drücken beide Hände gegen einen gehaltenen Ball. Die Ballhöhe wird individuell durch 3-5 Testsprünge festgelegt.

Zum anderen gehörte zu den volleyballspezifischen Sprüngen der **Angriffssprung** vorne am Netz, welcher positionsspezifisch durchgeführt wurde.

Die drei Angriffssprünge wurden in drei Varianten durchgeführt:

- (I) Der Ball wurde aus einer speziellen Haltevorrichtung (Spikomat) geschlagen. Beim Angriff können die Athletinnen bzw. Athleten ihre individuelle Stemmtechnik einsetzen. Es gibt keine Vorgaben. Die Ermittlung der passenden Ballhöhe im Spikomaten erfolgt durch 3-5 Testsprünge. So konnte eine hohe Standardisierung der Messbedingungen erzielt werden.
- (II) Der Ball wurde angeworfen. Beim Angriff können die Athletinnen bzw. Athleten ihre individuelle Stemmtechnik einsetzen. Es gibt keine Vorgaben. Für das Timing von WerferInnen und SpielerInnen wurden etwa 5 Probeläufe durchgeführt. In der Messung mussten drei erfolgreiche Versuche aufgezeichnet sein. Der Versuch wurde als erfolgreich definiert, wenn WerferInnen und AngreiferInnen den Versuch als subjektiv gut empfanden.
- (III) Der Ball wurde angeworfen und die Athletinnen bzw. Athleten mussten reaktiv in eine bestimmte Richtung schlagen. Der Ablauf ist wie in Variante (II). Zusätzlich steht auf der gegnerischen Seite ein „Verteidiger“. Nach Anwurf des Balles läuft diese/r aus der Mitte nach rechts oder links. Die AngreiferInnen müssen reaktiv longline oder diagonal auf die leere Feldseite schlagen. Dafür mussten die AthletInnen erkennen, ob sich die Person auf der gegenüberliegenden Seite nach rechts oder links bewegte.

Variante (II) und (III) sollten die realen Feldbedingungen besser reflektieren.

Für die Analyse wurde bei guter Datenqualität immer der erste Sprung verwendet. Lagen im EMG-Artefakte vor, wurde der zweite Sprung analysiert.

Die Daten wurden in der Noraxon- Software auf ihre Qualität geprüft und anschließend aus der Noraxon-Software exportiert.

Mit Hilfe von Matlab wurden in der Datenanalyse ausgewertet:

- › kinetische Variablen, die das Maximum, die Loading rate und den Kraftstoß umfassten,
- › kinematische Kenngrößen wie der maximale Knieflexionswinkel, die Bodenkontaktzeit und die Sprunghöhe und
- › elektromyographische Variablen in Form vom VM/VL-Verhältnis.

Dafür wurde die durchschnittliche EMG-Aktivität des VM und des VL über die Standphase ins Verhältnis gesetzt. Zwei abgeleitete volleyballspezifische Kenngrößen sind die „close-time“ und die „Streckzeit“. Die „close-time“ beschreibt den Zeitraum vom Einstimmen des Stemmbeines bis zum Nachsetzen des Beistellbeines in der Absprungphase. Sobald beide Beine Bodenkontakt haben, beginnt die „Streckzeit“. Diese endet mit dem Absprung. Signifikante Gruppenunterschiede wurden mit dem Whitney-U-Test ermittelt. Wechselbeziehungen im VM/VL-Verhältnis zwischen den Sprungformen wurden mit einer Pearson-Korrelationsanalyse ermittelt. In den folgenden Ergebnisdarstellungen werden nur die Variablen mit den größten Unterschieden vorgestellt.

## 3 Ergebnis

Auf Grund von technischen Problemen konnten nur 18 VolleyballerInnen ausgewertet werden. Neun davon waren von Knieschmerzen betroffen und die anderen neun nicht.

### 3.1 Unterschiede in der Bewegungsdynamik durch die Bodenbeschaffenheit

Die größten Unterschiede zwischen den drei Untergrundbedingungen zeigten sich im Angriffsschlag (Abb.1), insbesondere im Stemmbein.



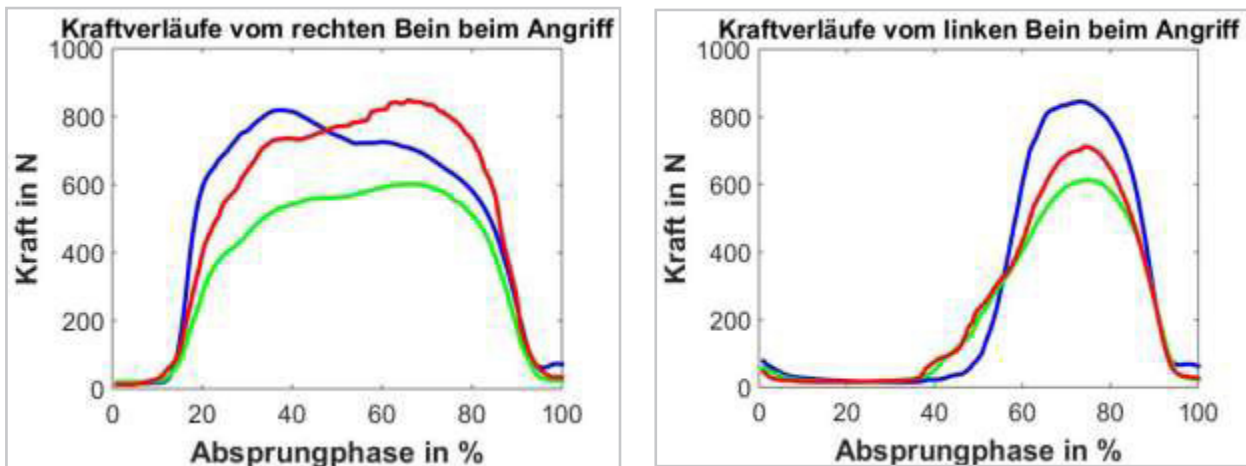


Abb. 1: Kraftkurven vom Stemm- und Beistellbein im Angriff in den drei Untergrundbedingungen "Halle" (blau), "Sand 1" (rot) und "Sand 2" (grün). Die linke Abbildung stellt den Verlauf des Stemmbeines dar, welches in diesem Probandenkollektiv immer das rechte war. Dementsprechend war das Beistellbein immer das linke. Dies ist in der rechten Abbildung dargestellt. Das Stemmbein unterscheidet sich in den Kraftverläufen zwischen den drei Untergrundbedingungen stärker als das Beistellbein. Auffällig ist die deutlich frühere Kraftspitze in der Halle im Vergleich zu den beiden Sandbedingungen. Des Weiteren ist die Differenz der Kraftspitze zwischen den beiden Sandsorten größer (rot und grün) als zwischen der Halle und den beiden Sandsorten. Beim Beistellbein liegen die Kraftspitzen in den beiden Sandbedingungen relativ nahe aneinander und sind deutlich kleiner als in der Halle.

- (I) Während die Form der Kraftkurven vom Beistellbein in der Halle und in den beiden Sandbedingungen sehr ähnlich ist, zeigt sich beim Stemmbein in der Halle ein sehr frühes Maximum der Kraft mit einem steilen Anstieg der Loading rate und einem langsam abfallenden Plateau nach dem Maximum und in den beiden Sandbedingungen ein flacherer Anstieg der Loading rate, einem langsam ansteigenden Kraftplateau und einem späten Kraftmaximum.
- (II) Die Differenz der Spitzenbelastung zwischen den beiden Sandsorten war größer als zwischen den beiden Sandsorten und der Halle.
- (III) Während in der Sandbedingung 2 die Beine gleich stark eingesetzt wurden, wurde in der Sandbedingung 1 insbesondere das Stemmbein für die Kraftentwicklung eingesetzt. Im Gegensatz zum Stemmbein, hat sich beim Beistellbein die Bodenkontaktzeit um etwa 10 % verlängert. Damit wurde die close-time von 200 ms auf 150 ms reduziert und die Streckzeit von 200 ms auf etwa 250 ms erhöht. Außerdem ist der Knieflexionswinkel des Beistellbeins um etwa 5-10° im Vergleich zur Hallenbedingung erhöht.

In dem Blocksprung und den diagnostischen Sprüngen zeigten sich ähnliche Trends, aber nicht einheitlich und nicht so ausgeprägt. Dass der Einfluss der Bodenbeschaffenheit beim Angriff am größten ist, zeigt sich auch in der Sprunghöhe. Während in den CMJs und beim Block nur eine geringe Höhendifferenz von 2-3 cm zwischen Halle und den beiden Sandbedingungen vorliegt, sind die Höhendifferenzen von 8-11 cm bei den Angriffsschlägen ausgeprägter. Des Weiteren zeigt sich der Trend, dass die Sprunghöhe im Angriff mit zunehmender Komplexität (Variante II und III) in allen drei Untergrundbedingungen abnimmt.

### 3.2 Unterschiede von Athleten mit und ohne vordere Knieschmerzen

Bei allen unilateral betroffenen Athletinnen bzw. Athleten war nur das Stemmbein betroffen, und bei den beiden bilateral Betroffenen war die Schmerzsymptomatik auf dem Stemmbein größer als auf dem Beistellbein. Die größten Unterschiede zwischen den betroffenen und nicht betroffenen Spielerinnen bzw. Spielern zeigten sich in der Sprunghöhe und in der neuromuskulären Ansteuerung des Stemmbeines. Durchschnittlich war bei allen Sprungformen

unabhängig von der Bodenbeschaffenheit die Sprunghöhe von den betroffenen Athletinnen bzw. Athleten um etwa 5 cm größer. Darüber hinaus hatten die Probanden mit vorderen Knieschmerzen ein kleineres VM/VL-Verhältnis auf dem Stemmbein als die nicht Betroffenen. Der Whitney-U-Test ergab in acht Sprungformen einen signifikanten Unterschied. In fünf Sprungformen gab es bei den betroffenen Athletinnen und Athleten eine signifikante Differenz zwischen dem Stemm- und Beistellbein (Tab. 1). In den kinetischen und kinematischen Variablen zeigten sich keine durchgehenden Gruppenunterschiede über die drei Feldbedingungen.

## 4 Diskussion

Ziel dieses Projektes war es:

- (I) kinetische, kinematische und neuromuskuläre Unterschiede in diagnostischen und volleyballspezifischen Bewegungen auf drei Bodenbeschaffenheiten aufzuklären und
- (II) Unterschiede zwischen Volleyballerinnen bzw. Volleyballern mit und ohne vordere Knieschmerzen herauszufinden.

Tab. 1: VM/VL-Verhältnis von allen Sprungformen auf allen Untergrundbedingungen

	Halle			Sand 1			Sand 2		
	PFP	PFP	Gesund	PFP	PFP	Gesund	PFP	PFP	Gesund
	Stemmbein	Beistellbein	Stemmbein	Stemmbein	Beistellbein	Stemmbein	Stemmbein	Beistellbein	Stemmbein
CMJ ohne Arme	0,72 ± 0,59	3,71 ± 1,91*	1,16 ± 0,59	0,80 ± 0,49	0,84 ± 0,44	1,28 ± 0,49	1,28 ± 0,51	0,91 ± 0,46	1,28 ± 0,51
CMJ mit Armen	0,76 ± 0,45	0,77 ± 0,42*	1,08 ± 0,45*	0,82 ± 0,54	0,83 ± 0,54*	1,19 ± 0,54*	0,74 ± 0,53	0,90 ± 0,45	1,19 ± 0,53
Block	0,76 ± 0,51	0,79 ± 0,46	1,20 ± 0,51	0,84 ± 0,64	0,89 ± 0,66*	1,60 ± 0,64*	0,77 ± 0,53	0,93 ± 0,46*	1,24 ± 0,53 <sup>+</sup>
statischer Angriff	0,72 ± 0,36	0,84 ± 0,48	1,31 ± 0,99	0,72 ± 0,37	0,83 ± 0,46	1,05 ± 0,57	0,68 ± 0,37	1,06 ± 0,65	1,23 ± 0,82 <sup>+</sup>
dynamischer Angriff	0,76 ± 0,40	0,95 ± 0,54	1,12 ± 0,72	0,81 ± 0,42	1,00 ± 0,60	1,05 ± 0,61	0,64 ± 0,37	0,88 ± 0,54	1,32 ± 0,72 <sup>+</sup>
reaktiver Angriff	0,69 ± 0,33	0,74 ± 0,41	1,01 ± 0,51	0,74 ± 0,39	1,25 ± 0,67	1,05 ± 0,64 <sup>+</sup>	0,71 ± 0,38	1,07 ± 0,69	1,43 ± 0,77 <sup>+</sup>

\* signifikanter Unterschied zwischen dem Stemm- und dem Beistellbein der betroffenen Athletinnen und Athleten  
<sup>+</sup> signifikanter Unterschied zwischen dem Stemmbein der betroffenen und nicht betroffenen Athletinnen und Athleten

### 3.3 Neuromuskuläre Unterschiede sind konstant über verschiedene Sprungformen

Pearson Korrelationsanalysen zeigen, dass es eine hohe Korrelation von dem VM/VL-Verhältnis zwischen den diagnostischen Tests und den Angriffssprüngen gibt. In Abb. 2 (Seite 6) sind das VM/VL-Verhältnis des Stemmbeins im CMJ ohne Arme ( $r = 0,78$ ) und des CMJ mit Armen ( $r = 0,89$ ) in Relation zum VM/VL-Verhältnis des Stemmbeines im Angriff dargestellt.

Zentrale und neue Erkenntnisse dieses Forschungsprojektes sind folgende:

- Veränderungen im Bewegungsverhalten in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit sind nicht über alle Sprungformen konsistent. Während in den CMJs und im Block nur geringe Unterschiede bestehen, zeigen sich im Angriff, insbesondere im Stemmbein, große Differenzen in kinetischen und im Beistellbein vorwiegend in kinematischen Variablen.



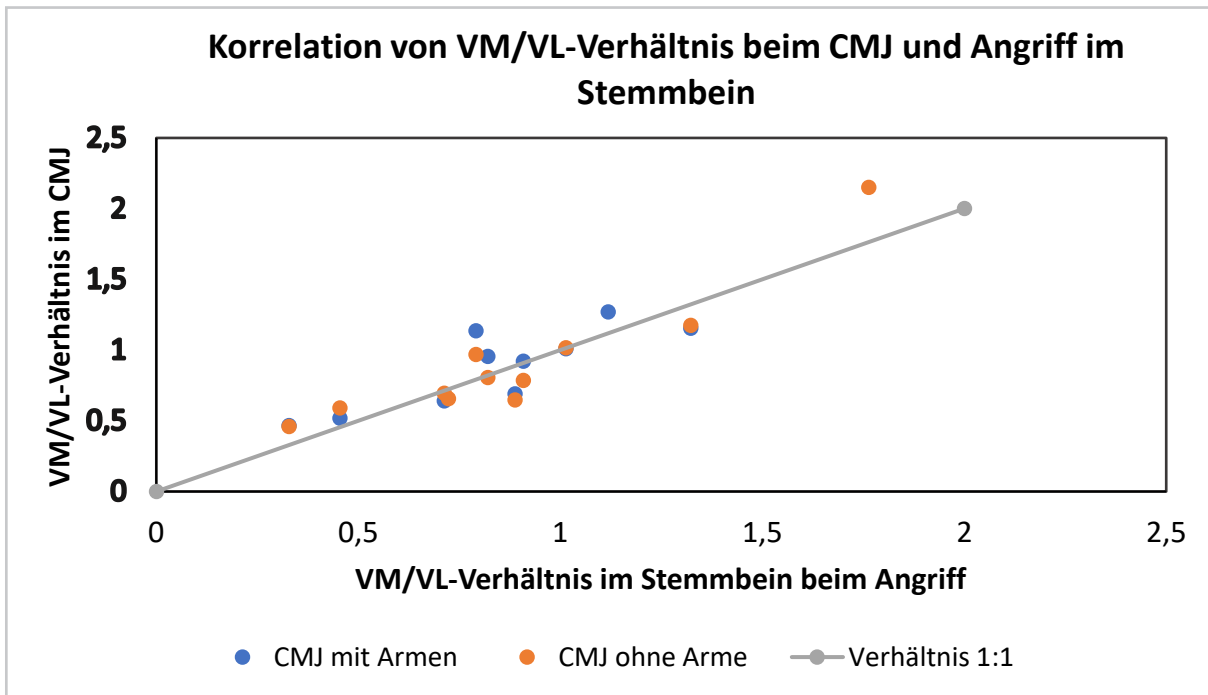


Abb. 2: Pearson-Korrelation vom VM/VL-Verhältnis vom Stemmbein beim Angriff und des entsprechenden Beines in den beiden CMJs (mit und ohne Armschwung) in der Halle.

Dabei scheint in der Angriffsbewegung die Sandkörnung einen maßgeblichen Einfluss auf die kinetischen Kenngrößen des Stemmbeines zu haben. Damit bestätigen wir vorangegangene Untersuchungen in den diagnostischen Tests (Giatsis et al., 2018; Bishop, 2003) und liefern neue Erkenntnisse in Bezug auf die Angriffsbewegung auf verschiedenen Sandböden.

- Mit diesen Ergebnissen werden Befunde aus der Literatur bestätigt, dass Athletinnen und Athleten mit Knieschmerzen eine veränderte neuromuskuläre Ansteuerung haben. Darüber hinaus zeigte sich erstmals auch, dass sich eine Dysbalance der neuromuskulären Ansteuerung in diagnostischen Tests auch in sportartspezifischen Situationen widerspiegelt.

Obwohl keine kinetischen Differenzen zwischen Athletinnen bzw. Athleten mit und ohne vordere Knieschmerzen auf den drei Untergründen gefunden wurden, ist es auffällig, dass alle Athletinnen und Athleten die Schmerzen auf dem Stemmbein hatten, welches die größten Differenzen zwischen den drei Untergründen aufwies. Da die neuromuskulären Unterschiede nicht von den Bodenbeschaffenheiten beeinflusst wurden, ist nicht davon auszugehen, dass diese beim Transfer von Halle in den Sand die Ursache, sondern eher eine Folge sind. Prospektive Studien sind erforderlich, um die Angriffstechnik von Athleten und Athletinnen in Halle und Sand zu untersuchen. Dann könnten ggf. bei Spielerinnen bzw. Spielern, die zukünftig von der Halle primär in den Sand umsteigen, Risikofaktoren für vordere Knieschmerzen im Sand besser aufgeklärt werden. Der Fokus sollte auf dem Stemmbein in der Absprungbewegung liegen.

## 5 Literatur

- Barrett, R. S., Neal, R. J., & Roberts, L. J. (1998). The dynamic loading response of surfaces encountered in beach running. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 1(1), 1-11.
- Bishop, D. A. (2003). comparison between land and sand-based tests for beach volleyball assessment. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 43(4), 418-423.
- Bley, A. S., Correa, J. C. F., Reis, A. C., D., Rabelo, N. D. D. A., Marchetti, P. H., & Lucareli, P. R. G. (2014). Propulsion Phase of the single leg triple hop test in women with patellofemoral pain syndrome: A biomechanical study. *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097606>
- Giatsis, G., Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I. A. (2018). Biomechanical differences of arm swing countermovement jumps on sand and rigid surface performed by elite beach volleyball players. *Journal of Sports Sciences*. DOI:10.1080/02640414.2017.1348614
- Harris, M., Schultz, A., Drew, M. K., Rio, E., Adams, S., & Edwards, S. (2020). Thirty-seven jump-landing biomechanical variables are associated with asymptomatic patellar tendon abnormality and patellar tendinopathy: A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 45, 38-55.
- Richards, D. P., Ajemian, S. V., Wiley, J. P., & Zernicke, R. F. (1996). Knee joint dynamics predict patellar Tendinitis in elite volleyball players. *American Journal of Sports Medicine*, 24(5), 676-683.



# Optimierung der Interaktion von Ellenbogen- und Schultergelenk im Speerwurf der Männer

(AZ 070801/19-20)

Hans-Peter Köhler & Maren Witt (Projektleitung)

<sup>1</sup>Universität Leipzig, Sportwissenschaftliche Fakultät, Institut für allgemeine Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Abteilung Biomechanik

## 1 Problemstellung

Das vorrangige Ziel im Speerwurf ist das Erzielen möglichst hoher Wurfweiten, wobei die Abwurfgeschwindigkeit ( $v_0$ ) das wichtigste Kriterium darstellt (Bartonietz, 2000; Morriss & Bartlett, 1996; Morriss, Bartlett, & Navarro, 2001). Aus mechanischer Sicht bedeutet dies, dass möglichst viel Arbeit am Speer verrichtet werden muss, um den Speer auf eine entsprechende hohe  $v_0$  zu beschleunigen. Da die Arbeit in sehr kurzer Zeit verrichtet werden muss, wird die mechanische Leistung zum leistungsentscheidenden Kriterium (Bartonietz, 2006). Im besonderen Fokus steht hierbei immer wieder die Frage, inwieweit die nötige Energie durch die Beteiligung der Muskulatur des Wurfarmes bereitgestellt wird, oder ob diese vielmehr durch die vorhandene Energie aus dem Anlauf zum Speer transferiert werden muss (Salo & Viitasalo, 1995). Für den Wurfarm wurden hierfür Technikanweisungen formuliert, die darauf deuten, dass in der Endphase der Bewegung durch den Einsatz z. B. der „aktiven Unterarmschleuder“ ein Beitrag zur Beschleunigung des Speeres durch den Einsatz der Muskulatur realisiert wird (Killing et al., 2011; Strüder, Jonath, & Scholz, 2013). Aus anderen Schlagwurfdisziplinen wie dem Baseball ist jedoch bereits bekannt, dass durch den Wurfarm, insbesondere durch die Gelenke distal der Schulter, kein aktiver Beitrag zur Geschwindigkeit des Wurfgeräts geleistet wird (Hirashima et al., 2007; Naito & Maruyama, 2008). Das Projekt widmete sich somit der Frage, welche Bedeutung die Einzelgelenke des Wurfarmes (Schuler-, Ellenbogen- und Handgelenk) für die Maximierung der Abwurfgeschwindigkeit besitzen.

## 2 Untersuchungsmethoden

An den Untersuchungen nahmen 10 männlich Speerwerfer des Nachwuchskader 1 bis zum Olympiakader teil. Die Probanden hatten dabei eine durchschnittliche Körpergröße von  $1,89 \pm 0,07$  m und eine Körpermasse von  $95,45 \pm 9,05$  kg. Die Probanden nahmen freiwillig an den Untersuchungen teil, ihr schriftliches Einverständnis wurde eingeholt. Weiterhin wurde durch die Ethikkommission der Universität Leipzig ein Ethikvotum erteilt (AZ: 462/18 ek). An den Sportlern wurden insgesamt 20 passiv reflektierende Marker an prominenten Punkten des Wurfarmes und des Oberkörpers angebracht und weiterhin drei Markercluster. Zusätzlich wurde das Wurfgerät mit 5 Markern präpariert. Ein Infrarot-Kamerasystem mit 12 Infrarotkameras und 2 Videokameras zeichnete die Speerwurfbewegungen vom Abdruck zum Impulsschritt bis zum Abwurfzeitpunkt mit einer Frequenz von 300 Hz auf (150 Hz für die Videokameras).

Ein Körpermodell, bestehend aus Speer, Hand, Unterarm, Oberarm, Thorax und Abdomen, wurde auf die aufgezeichneten Bewegungsdaten angewendet und somit nachfolgend die Kinematik und Kinetik der Gelenke modelliert. Um Aussagen über den Transfer bzw. den Eintrag von Energie zu generieren, wurden drei verschiedene Leistungsgrößen pro Segment berechnet. Für den Transfer mechanischer Energie wurden die Joint Force Power ( $P_{JF}$ ) und die Segment Torque Power ( $P_{ST}$ ) berechnet. Um Aussagen über den Eintrag von Energie zu generieren, erfolgte die Berechnung der Joint Torque Power ( $P_{JT}$ ). Die Berechnungen erfolgten nach Howenstein et al. (2019).

Weiterhin wurde die Menge an übertragener Energie als das Integral über die jeweilige Leistungskurve berechnet. Um den Einfluss der anthropometrischen Daten zu eliminieren, wurden die Daten anhand des Produkts aus Körperhöhe und -masse normalisiert (Köhler, 2020). Um Zusammenhänge zur Abwurfgeschwindigkeit des Speeres bzw. der zugrundeliegenden maximalen Beschleunigungsgleistung ( $P_a$ ) treffen zu können, erfolgte die Anwendung entsprechender Korrelationsverfahren auf die Maxima der jeweiligen Leistungsgrößen. Zusätzlich wurde das 90 %-Konfidenzintervall ( $CI_{90}$ ) für den Korrelationskoeffizienten berechnet.

### 3 Ergebnisse

Für die drei unterschiedlichen Leistungsgrößen im Schultergelenk (Abb. 1, links) zeigt sich, dass die maximale Leistungsabgabe über die beiden Transferwege  $P_{ST}$  ( $r = 0,793$ ;  $p = 0,006$ ;  $CI_{90} = [0,429; 0,936]$ ) und  $P_{JF}$  ( $r = 0,640$ ;  $p = 0,046$ ;  $CI_{90} = [0,136; 0,881]$ ) in einem positiven Zusammenhang mit der  $P_a$  des Speer stehen. Der Energieeintrag, also die maximale Leistungsabgabe  $P_{JT}$  zeigt hingegen keinen Zusammenhang zur  $P_a$  ( $r = 0,007$ ;  $p = 0,984$ ;  $CI_{90} = [-0,547; 0,557]$ ). Es zeigt sich weiterhin, dass nicht nur die Energietransferrate sondern auch die Menge an transferierter Energie in einem positiven Zusammenhang zur Abwurfgeschwindigkeit steht (Joint Force Work [ $W_{JF}$ ]  $r = 0,799$ ;  $p = 0,006$   $CI_{90} = [0,441; 0,937]$ ; Segment Torque Work [ $W_{ST}$ ]  $r = 0,725$ ;  $p = 0,006$   $CI_{90} = [0,463; 0,951]$ ). Die Menge an Arbeit die durch die Muskulatur verrichtet wird, ist dage-

gen unkorreliert zur Abwurfgeschwindigkeit ( $r = -0,081$ ;  $p = 0,825$   $CI_{90} = [-0,606; 0,494]$ ).

Im Ellenbogengelenk (Abb. 1, rechts) zeigt sich, dass das nur der Transfer von Energie über die  $P_{JF}$  im positiven Zusammenhang mit den  $P_a$  des Speeres steht ( $r = 0,717$ ;  $p = 0,020$   $CI_{90} = [-0,273; 0,909]$ ). Die beiden anderen Leistungsgrößen  $P_{ST}$  ( $r = 0,396$ ;  $p = 0,257$   $CI_{90} = [-0,200; 0,778]$ ) und  $P_{JT}$  ( $r = 0,288$ ;  $p = 0,419$   $CI_{90} = [-0,314; 0,725]$ ) zeigen keinen signifikanten Zusammenhang zur  $P_a$ . Neben der Rate, mit der Energie durch die Joint Force übertragen wird, zeigt sich weiterhin, dass auch die Menge an Energie in einem positiven Zusammenhang zur Abwurfgeschwindigkeit steht ( $W_{JF} = 0,660$ ;  $p = 0,038$   $CI_{90} = [0,052; 0,911]$ ). Sowohl die  $W_{ST}$  ( $r = 0,556$ ;  $p = 0,095$ ;  $CI_{90} = [-0,113; 0,878]$ ) als auch die  $W_{JT}$  ( $r = -0,456$ ;  $p = 0,185$   $CI_{90} = [-0,244; 0,844]$ ) zeigen keinen signifikanten Zusammenhang zur Abwurfgeschwindigkeit.

Im Handgelenk (Abb. 2, Seite 3) zeigen sich ebenso die beiden Transferwege  $P_{JF}$  ( $r = 0,742$ ;  $p = 0,014$ ;  $CI_{90} = [0,322; 0,918]$ ) und  $P_{ST}$  ( $r = 0,707$ ;  $p = 0,022$ ;  $CI_{90} = [0,254; 0,906]$ ) als wichtige Einflussfaktoren auf die  $P_a$ . Die  $J_{JP}$  zeigt keinen signifikanten Zusammenhang zur  $P_a$  ( $r = 0,547$ ;  $p = 0,101$ ;  $CI_{90} = [-0,007; 0,844]$ ). Für die übertragene Energie zeigt sich, dass sowohl  $W_{JF}$  ( $r = 0,684$ ;  $p = 0,029$   $CI_{90} = [0,095; 0,918]$ ) als auch  $W_{ST}$  ( $r = 0,640$ ;  $p = 0,046$   $CI_{90} = [0,018; 0,905]$ ) in einem signifikanten Zusammenhang zur Abwurfgeschwindigkeit stehen. Die von der Muskulatur verrichtete Arbeit  $W_{JT}$  steht dagegen in keinem signifikanten Zusammenhang ( $r = 0,488$ ;  $p = 0,153$   $CI_{90} = [-0,205; 0,855]$ ).

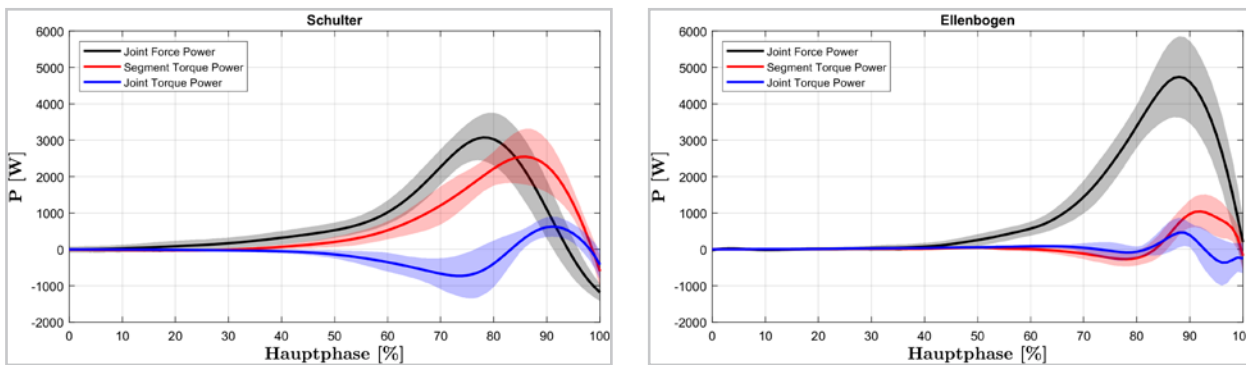


Abb. 1: Verlauf der unterschiedlichen Leistungsgrößen Joint Force Power, Joint Torque Power und Segment Torque Power vom Aufsatz des Druckbeins (0 %) bis zum Abwurf (100 %) für das Schulter (links) und Ellenbogengelenk (rechts).

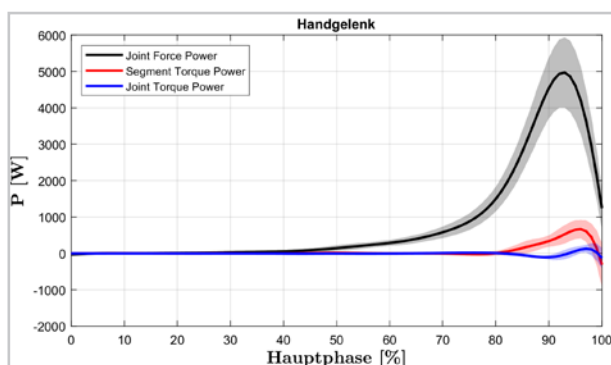


Abb. 2: Verlauf der unterschiedlichen Leistungsgrößen Joint Force Power, Joint Torque Power und Segment Torque Power vom Aufsatz des Druckbeins (0 %) bis zum Abwurf (100 %) für das Handgelenk.

## 4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem der Transfer mechanischer Energie eine bedeutende Rolle für die Generierung hoher Abwurfgeschwindigkeiten eine Rolle spielt. Damit bestätigt sich zum einen die Annahme von Salo & Viitasalo (1995), dass die Technik der Athleten vor allem darauf ausgelegt sein sollte, so viel wie Energie wie möglich zu transferieren. Zum anderen bestätigt sich auch die Annahme von Bartonietz (2006), dass die mechanische Leistung den limitierende Faktor der sportlichen Leistung im Speerwurf darstellt.

Neben den Übertragungsleistungen bzw. den zugehörigen Energiemengen können die Sportler aus theoretischer Sicht ihren aktiven Bewegungsapparat einsetzen, Arbeit zu verrichten und somit die Energie der Gliederkette zu erhöhen. Wie die Ergebnisse jedoch zeigen, sind in allen betrachteten Gelenken der Energieeintrag, sowohl in Form der Menge als auch der Rate, nicht mit der Abwurfgeschwindigkeit korreliert. Dies bedeutet, dass durch den Wurfarm kein aktiver Beitrag zur Abwurfgeschwindigkeit des Speeres geleistet wird. Somit können die Ergebnisse aus dem Baseball, dass kein aktiver Beitrag des Wurfarmes distal des Schultergelenks mehr zur Abwurfgeschwindigkeit geleistet wird, zum einen auch für den Speerwurf bestätigt werden und zum anderen noch darum erweitert werden, dass auch die Schulter keinen aktiven Beitrag mehr leistet (Hirashima et al., 2007; Naito & Maruyama, 2008). Somit ist das Technikelement

der „aktiven Unterarmschleuder“ keine, wie bisher angenommen, aktive Streckung des Ellenbogen durch dessen Extensoren, sondern wird durch Energien aus anderen Segmenten angetrieben.

Betrachtet man die Ergebnisse am Schultergelenk, so zeigten sich die Größen der  $P_{ST}$  und  $P_{JF}$  als wichtige Elemente der Energieübertragung. Die  $P_{ST}$  basiert dabei auf den Gelenkmomenten, die am Schultergelenk auftreten und somit einen wichtigen Einflussfaktor bilden (Köhler, 2020). Um einen möglichst hohen Transfer mechanischer Energie über das Gelenkmoment zu ermöglichen, ist es somit von außerordentlicher Bedeutung, die Strukturen des Schultergelenks zum einen durch entsprechende Trainingsformen, wie z. B. exzentrisches Krafttraining für die Erbringung hoher Momente zu befähigen und zum anderen die Strukturen entsprechend auf diese Belastungen vorzubereiten. Dabei sollte die Technik ebenfalls darauf ausgelegt werden, die auftretenden Momente optimal zu nutzen, um eine Überlastung durch ineffektive Bewegungen zu vermeiden.

## 5 Literatur

- Bartonietz, K. (2000). Javelin throwing: an approach to performance development. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in Sport. Performance Enhancement and Injury Prevention* (pp. 401-434). Blackwell Science.
- Bartonietz, K. (2006). Movement Control and Behaviour in upper Extremity Movements - The Technique of Javelin Throwing. In N. Šarabon (Ed.), *Shoulder & Sports: injuries, prevention, movement control, rehabilitation*, 16th to 17th June 2006, Šmarješke Toplice, Slovenia (pp. 21-29). Ljubljana: Združenje rokometnih trenerjev Slovenije.
- Hirashima, M., Kudo, K., Watarai, K., & Ohtsuki, T. (2007). Control of 3D Limb Dynamics in Unconstrained Overarm Throws of Different Speeds Performed by Skilled Baseball Players. *Journal of Neurophysiology*, 97(1), 680-691. <https://doi.org/10.1152/jn.00348.2006>



- Howenstein, J., Kipp, K., & Sabick, M. B. (2019). Energy Flow Analysis to Investigate Youth Pitching Velocity and Efficiency. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(3), 523–531. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001813>
- Killing, W., Ritschel, M., Salzer, P., Schult, J., Deyhle, M., Isele, R., ... Müller, F. (2011). *Jugendleichtathletik. Offizieller Rahmentrainingsplan des Deutschen Leichtathletik-Verbandes für die Wurfdisziplinen im Aufbautraining*. Philippka-Sportverlag.
- Köhler, H.-P. (2020). *Untersuchung zur Quantifizierung des Energieeintrags und -transfers innerhalb der oberen Extremitäten und deren Bedeutung für die Wettkampfleistung im Speerwurf der Männer*. Retrieved from <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:15-qucosa2-708368>
- Morriss, C., & Bartlett, R. (1996). Biomechanical Factors Critical for Performance in the Men's Javelin Throw. *Sports Medicine*, 21(6), 438-446.
- Morriss, C., Bartlett, R., & Navarro, E. (2001). The function of blocking in elite javelin throwers: A re-evaluation. *Journal of Human Movement Studies*, 41(3), 175-190.
- Naito, K., & Maruyama, T. (2008). Contributions of the muscular torques and motion-dependent torques to generate rapid elbow extension during overhand baseball pitching. *Sports Engineering*, 11(1), 47-56. <https://doi.org/10.1007/s12283-008-0002-3>
- Salo, A., & Viitasalo, J. T. (1995). Vergleich kinematischer Merkmale des Speerwurfs bei Werfern internationalen und nationalen Niveaus und bei Zehnkämpfern. *Leistungssport*, 25(5), 40-44.
- Strüder, H. K., Jonath, U., & Scholz, K. (2013). *Leichtathletik. Trainings- und Bewegungswissenschaft – Theorie und Praxis aller Disziplinen*. Sportverlag Strauss.

# Biomechanische Diagnostik und akustisches Feedback der Bootsbewegung (Gieren und Stampfen) im Nachwuchstraining (U23 und U19-Junioren-nationalmannschaft 2018)

(AZ 071603/18-19)

*Klaus Mattes (Projektleitung), Nina Schaffert, Stefanie Wolff & Björn Losekamm*

Universität Hamburg, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft

## 1 Problem

Auf der Grundlage leistungsphysiologischer Untersuchungen sowie der erzielten Regattaergebnisse erfolgt die jährliche Auswahl der leistungsstärksten deutschen Juniorenrunderinnen und -runderer für die Juniorennationalmannschaft (JNM). Besondere Aufmerksamkeit liegt dabei auf der individuellen ruderspezifischen Leistungsfähigkeit in den Groß- und Mittelbooten. Für die Formierung der neuen Bootsbesetzungen und deren rudertechnische Vorbereitung auf den internationalen Wettkampfhöhepunkt (Junioren- und U23 Weltmeisterschaften) und um eine hohe Bootsgeschwindigkeit während der Ruderrennen im internationalen Vergleich zu erreichen, müssen in vergleichsweise kurzer Zeit, die Ruderleistung und -technik optimiert und im Mannschaftsgefüge fein eingestellt werden. Mittels biomechanischer Diagnostik und anschließendem Feedbacktraining kann dieser Prozess schnell und zielgerichtet gesteuert werden (Böhmert & Mattes, 2003; Schaffert & Mattes, 2015) und die Arbeit der Trainerinnen und Trainer unterstützen. Folgende Aspekte stehen hier im Mittelpunkt:

- › Ableitung des Rankings der Teilnehmenden und Empfehlungen zur Groß- und Mittelbootformierung (Vorschlag für die Bootszusammensetzung inklusive Sitzplatzverteilung im Boot),

- › Ableitung von Trainingszielen zur Ansteuerung der individuellen Rudertechnik sowie für die Bootsbesetzung und
- › wissenschaftliche Anleitung und Begleitung des Feedbacktrainings zur Sicherung von Ansteuerungseffekten.

Der Einsatz erfolgt in den zentralen Lehrgängen, an Trainingswochenenden und in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung (UWV) auf die WM. Auf Grundlage der Ergebnisse aus vorangegangenen Forschungsprojekten zur Analyse der Rotationsbewegungen (Gieren und Stampfen) des Rennruderbootes (Mattes et al., 2016; Mattes et al., 2017; Mattes et al., 2018a und b) sowie den Ergebnissen aus den vorangegangenen Projekten zur Sonifikation (Schaffert & Mattes, 2016; Mattes & Schaffert, 2015) sowie zum Außenarmzug (Mattes et al., 2016) lag der Schwerpunkt des Transferprojekts auf der Ansteuerung der Bewegung des Rennruderbootes (Gieren und Stampfen) mittels akustischen online-Feedbacks im Wassertraining.

## 2 Methode

Die Betreuungsmaßnahmen erfolgten mit Athletinnen und Athleten (CJ-Kader), die am Selektionslehrgang zur Nominierung für die JNM 2018 in Mittel- und Großbooten (4- und 8+) teilnahmen sowie in zentralen Trainingsmaßnahmen im Frühjahr 2019. Jede Athletin und jeder Athlet wurde ein- bis zweimal getestet. Die Ergebnisse des ersten Tests dienten zur Selektion für die JNM. Der zweite Test fand während der UWV zur Überprüfung der Wirksamkeit der Trainingsmaßnahmen statt. Für die Feineinstellung der Rudertechnik absolvierten ausgewählte Boote Feedback-Trainingsfahrten (visuell und akustisch). Die Messungen erfolgten im Sommer 2018 und Frühjahr 2019 auf der Regatta-Strecke in Berlin-Grünau.

Für die komplexe Leistungsdiagnostik (KLD) wurde das bewährte Mobile Mess- und Trainingssystem (MMS) 2012 und für das parametergestützte Feedbacktraining das Processor Coach System-3/Sportler (PCS-3/S) (visuell) (Institut FES Berlin) sowie das weiterentwickelte akustische Mess- und Feedbacksystem Sofirow II (BeSB GmbH Berlin) eingesetzt. Die Beschreibung der Messgrößen des MMS 2012 sowie Einzelheiten zu den Testmethoden und dem Vorgehen in der Trainingspraxis findet sich in den Berichten zu den Vorjahresprojekten.

In Abhängigkeit von der Zielstellung der Diagnostik kamen für die Betreuung in Absprache mit den Bootstrainerinnen und -trainern unterschiedliche Testmethoden zur Anwendung. Der Transfer der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt basiert auf den Felduntersuchungen mit 12 männlichen Ruderern (Skull) im Renneiner. Dafür wurden im Forschungsprojekt für die Untersuchung von (1) Gieren und (2) Stampfen des Bootes je zweimal 500 m in unterschiedliche Fahrtrichtungen (Gegen- und Schiebewind) sowie mit veränderter Stemmbreithöhe (höher und tiefer als die individuellen Einstellungen) in der Schlagfrequenzstufe  $20 \pm 0,5$  Schläge/min sowie (3) die Sonifikation der beiden Rotationsbewegungen und Befragung zur Wirkung auf die Athleten durchgeführt. Details zur Untersuchungsdurchführung sind im Abschlussbericht zum Forschungsprojekt beschrieben (Mattes et al., 2018a und b).

## 3 Ergebnisse der Betreuungs- und Transfermaßnahmen

### 3.1 Komplexe Leistungsdiagnostik (KLD)

Die Selektion der Auswahlmannschaften erfolgte über Ranggruppen auf Grundlage der Messergebnisse zur individuellen Ruderleistung und -technik. Die Empfehlungen zur Sitzposition der einzelnen Ruderin bzw. des Ruderers im formierten Boot (beispielsweise die Verteilung im Achter von Platz 1 im Bug bis Platz 8 auf Schlag), erfolgte wie gewohnt als schriftlicher Vorschlag. Bei Bedarf wurden die individuellen Mess- und Testergebnisse sowie die Bildung der Ranggruppen den Trainerinnen und Trainern mündlich erläutert. Dabei wurden die Zusammenhänge zwischen dynamischer und kinematischer Struktur der Ruderbewegung, die von außen sichtbare Rudertechnik und deren Wirkung auf die Bootsgeschwindigkeit sowie der Bootsdurchlauf thematisiert und die Schwerpunkte für das folgende Technik- und Konditionstraining abgeleitet.

### 3.2 Visuelles und akustisches Feedbacktraining

Grundlage für das biomechanisch gestützte Feedbacktraining waren die Messergebnisse aus den Selektionsuntersuchungen sowie die daraus abgeleiteten rudertechnischen Schwerpunkte für das Training. Vor dem Feedbacktraining wurden konkrete Hinweise zur Veränderung der Bewegungsausführung und zur jeweiligen Feedbackanzeige gegeben. Im Feedbacktraining erfolgte die Präsentation der Messinformationen zeitsynchron zur Bewegungsausführung visuell auf Grafikdisplays (PCS-3) bzw. akustisch über Lautsprecher als Klangsequenz (Sofirow II) im Rennboot. Inhaltlich wurden die objektiven Synchroninformationen über die Bewegungsausführung und deren Ergebnisse als Kennlinien und -werte (visuell) bzw. der Parameterverläufe (akustisch) mit dem Ziel rückgemeldet, die Aufmerksamkeit auf den jeweiligen Technikschnittpunkt zu lenken. Dieses extrinsische Feedback sollten die Athletinnen und Athleten in Beziehung zu den eigenen intrinsischen

Rückinformationen setzen und die veränderte Bewegungsausführung wahrnehmen und verinnerlichen. Letztlich sollten damit das Gefühl für die Bewegungsausführung und -veränderung sowie die Ansteuerung verschiedener Merkmale der Rudertechnik in kurzer Zeit (1-3 Trainingseinheiten) unterstützt werden. Unmittelbar im Anschluss an die Wassertrainingseinheit wurde die Wirkung des Feedbacks im gemeinsamen Gespräch analysiert. Der Schwerpunkt lag hier auf der Analyse und Bewertung von Änderungen der Bewegungsausführung, dem Zusammenhang zwischen in- und extrinsischem Feedback sowie der richtigen Bewegungsausführung, um den erzielten Lernfortschritt feststellen und die weiteren Trainingsschwerpunkte festlegen zu können.

### 3.3 Transfer der Ergebnisse aus den Forschungsprojekten zur Rotationsbewegung des Bootes und Sonifikation

Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Forschungsprojekten wurden in die Trainingspraxis integriert und bei der Durchführung der Betreuungsmaßnahmen berücksichtigt.

#### 3.3.1 Reproduzierbarkeit der Gier- und Stampfwinkelamplitude

Mit dem neuen Messsystem Sofirow II können die Gier- und Stampfwinkel sowie die Gier (GA)- und Stampfamplitude (SA) im Einer mit absoluter Reproduzierbarkeit bestimmt werden (Tab.1).

##### 3.3.1.2 Gieren

Der Gierwinkel über mehrere Ruderzyklen zeigte keinen sich zyklisch wiederholenden charakteristischen Verlauf. Demnach kann der einzelne Ruderschlag anhand des Gierwinkels nicht oder nur grob identifiziert werden. Die Windrichtung beeinflusste signifikant das Gieren des Bootes und die Symmetrie der rudertechnischen Kennwerte. Von Windrichtung I (seitlicher Schiebe-

wind von Steuerbord) zu Windrichtung II (seitlicher Gegenwind von Backbord) erhöhte sich die GA um  $0,48^\circ$ . Mit Erhöhung der Schlagfrequenz (SF) reduzierte sich die GA. Die SF veränderte zwar die rudertechnischen Kennwerte (Schlagweite, Innenhebelkraft und -geschwindigkeit) von Back- und Steuerbord, ohne aber die Asymmetrie signifikant zu beeinflussen.

#### 3.3.1.3 Stampfen

Das Profil des Stampfwinkels zeigte einen zyklischen Verlauf, bei dem sich die Kurvencharakteristika über die Schlagfolge reproduzierten. Folglich kann der einzelne Ruderschlag anhand des Stampfwinkel-Zeitverlaufs gut identifiziert werden. Mit Vergrößerung der Stembretthöhe reduzierte sich die SA. Zudem beeinflusste die Stembretthöhe die Rudertechnik. Mit Zunahme der Stembretthöhe verringerten sich die Schlagweite, der Rollsitzzug, die Durchzugszeit, der Rücklagewinkel, die Innenhebelkraft und -geschwindigkeit im Mittelzug sowie die Innenhebelkraft im Endzug. Die Verringerung des Vorlagewinkels war dagegen knapp nicht signifikant. Die SF beeinflusste die SA (höchster Wert bei SF 20, abnehmender Wert bei SF 24 und SF 28, Wiederanstieg bei SF 32).

#### 3.3.2 Ergebnisse zur Ansteuerung der Gier- und Stampfbewegung des Bootes

Der Einsatz von akustischem Feedback der Gier (aFGie) und Stampfbewegung (aFSta) zeigte bei Schiebewind jeweils einen signifikanten Haupteffekt mit hoher Effektstärke. Dabei lagen die Amplituden in allen Abschnitten mit Sonifikation bei beiden Bewegungsrichtungen über den Amplituden der Baseline (Tab. 2). Aufgrund der hohen Streuung konnte kein signifikanter Kontrast zwischen den einzelnen Abschnitten bei aFGie gefunden werden. Dagegen unterschieden sich die Abschnitte bei aFSta signifikant zur Baseline.

Tab. 1: Reproduzierbarkeit der GA und SA, Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient (ICC), 95%-Konfidenzintervall (CI), Standardfehler der Messung (SEM), Wiederholbarkeitskoeffizient (CR),  $N = 12$

Kennwert [Einheit]	Test 1	Test 2	ICC	95%-CI	SEM	CR
Gierwinkelamplitude [°]	0,79 ± 0,33	1,16 ± 0,42	0,878	0,51 – 0,97	0,15	0,29
Stampfwinkelamplitude [°]	0,93 ± 0,10	0,91 ± 0,10	0,926	0,74 – 0,98	0,028	0,056

Tab. 2. Vergleich von Mittelwert und Standardabweichung der Schlagfrequenz, Bootsgeschwindigkeit und -weg, sowie der Stampf- und Gieramplitude für die drei Messzeitpunkte bei Schiebewind; N = 5

Etappe	Schlagfrequenz [Schl./min]	Bootsgeschwindigkeit [m/s]	Bootsweg [m]	Stampfamplitude [°]	Gieramplitude [°]
Baseline	20,3 ± 0,4	4,18 ± 0,21	12,34 ± 0,78	0,68 ± 0,05	0,63 ± 0,35
aFGie	20,3 ± 0,4	4,22 ± 0,22	12,48 ± 0,88	0,69 ± 0,05	0,65 ± 0,25
aFSta	20,4 ± 0,3	4,24 ± 0,21	12,33 ± 0,63	0,69 ± 0,04	0,69 ± 0,20

Bei Gegenwind wurde kein statistischer Haupteffekt gefunden. Die Unterschiede zwischen den Abschnitten bei aFGie waren im Vergleich zur Baseline mit jeweils 0,02° geringer, lagen aber dennoch über den Amplituden der Baseline. Bei aFSta waren die SA identisch zu den Amplituden der Baseline (0,70°) (Tab. 3).

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Effekte im Vergleich Pre-, Post- und Behaltenstest zeigten einen signifikanten Haupteffekt jeweils für GA und SA. Im Einzelnen lagen die GA beim Post- und Behaltenstest mit -0,24° und -0,15° unter denen des Pretests. Dagegen lagen die SA im Post- und Behaltenstest mit 0,05° und 0,01° geringfügig über den Amplituden des Pretests.

Tab. 3. Vergleich von Mittelwert und Standardabweichung der SF, Bootsgeschwindigkeit und -weg, sowie der SA und GA für die drei Messzeitpunkte bei Gegenwind; N = 5

Etappe	Schlagfrequenz [Schl./min]	Bootsgeschwindigkeit [m/s]	Bootsweg [m]	Stampfamplitude [°]	Gieramplitude [°]
Baseline	20,4 ± 0,5	4,04 ± 0,28	12,17 ± 1,01	0,70 ± 0,03	0,63 ± 0,23
aFGie	20,4 ± 0,4	4,15 ± 0,29	12,40 ± 1,12	0,69 ± 0,03	0,58 ± 0,16
aFSta	20,5 ± 0,3	4,18 ± 0,27	12,38 ± 1,01	0,70 ± 0,03	0,61 ± 0,27

### 3.3.3 Ergebnisse zur Wirkungsüberprüfung

Insgesamt zeigen die Ergebnisse individuelle Unterschiede zwischen den drei Booten. Daher erfolgt die Darstellung der Effektüberprüfung exemplarisch anhand eines Riemenzweiers.

In beiden TEs mit akustischem Feedback der Gierbewegung (TE 2 und 4) zeigten die ersten beiden Abschnitte (aFGie und nAF) höhere GW-Amplituden, in den folgenden beiden Abschnitten (aFGie und nAF) dagegen geringere GW-Amplituden als die Baseline. Die Ausprägung war dabei in der zweiten TE mit Sonifikation (TE 4) größer als in der ersten TE (Seite 5, Abb. 1 links). Ein eindeutigeres Bild zeigte sich in den beiden TE mit aFSta (TE 6 und 8). Hier waren die SA in den Abschnitten mit Sonifikation gleich und kleiner als die Amplituden der Baseline. Im ersten Abschnitt ohne (nAF) zeigten die SA dagegen höhere, im zweiten und letzten Abschnitt ohne dagegen geringere Werte als die Baseline. Der jeweils letzte Abschnitt ohne war gleichzeitig auch der mit der insgesamt geringsten SA (Seite 5, Abb. 1 rechts).

### 3.3.4 Ergebnisse zur Befragung

Die Ergebnisse der Athletenbefragung zeigen, dass die veränderte Bootsbewegung im Klang erkennbar und dadurch von den Athletinnen und Athleten detaillierter wahrgenommen wird. Die facettenreichen Aussagen der Athletinnen und Athleten weisen dabei auf vielfältige Ansteuerungsmöglichkeiten hin. Zudem steigert die Sonifikation die Aufmerksamkeit der Athletinnen und Athleten („Der Ton verleitet einen zur Konzentration“) und ermöglicht die Konzentration auf die Ausführung der Rudertechnik („Feingefühl beim Vorführen und wenn Wind ins Boot kommt“), die dadurch bewusst wird und so zur Verbesserung der Bewegungsvorstellung beiträgt. Auch lieferte die Athletenbefragung Hinweise für eine zukünftige Klanggestaltung.



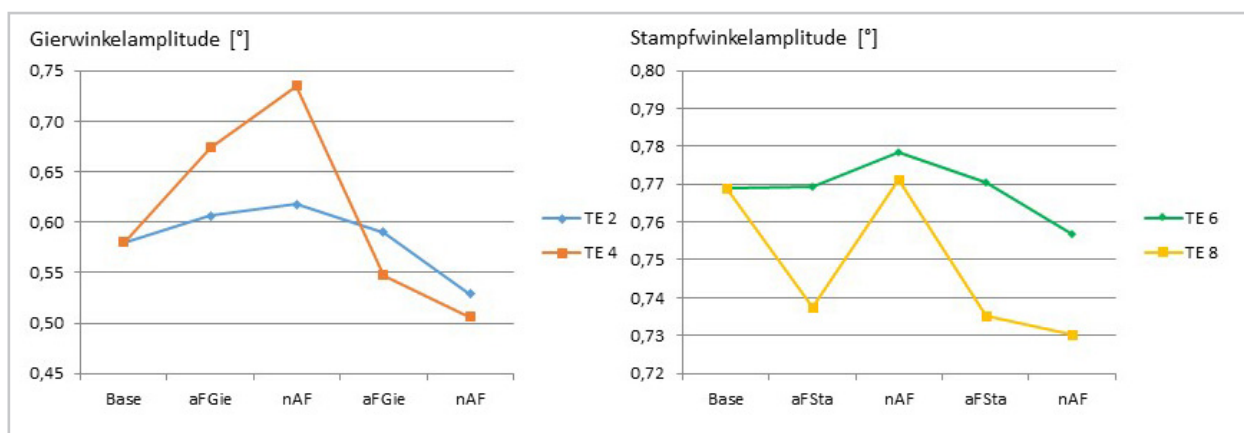


Abb. 1: Verlauf der GA (links) und SA (rechts) zu den fünf Messzeitpunkten in TE 2 und 4 (1. Woche) mit aFGie und in TE 6 und 8 (2. Woche) mit aFSta am Beispiel des Riemenzweiers

## 4 Diskussion und Fazit

Die Erfahrungen aus den vergangenen Jahren zeigen, dass sich die biomechanische Betreuung mit den eingesetzten Mess- und Feedbacksystemen im Deutschen Ruderverband bei der Selektion der Bootsbesetzungen und im Feedbacktraining sehr gut bewährt und mittlerweile unverzichtbarer Bestandteil in der Formierung der Großboote und der Entwicklung leistungsfähiger Bootsklassen in Vorbereitung auf die JNM und internationalen Wettkampfhöhepunkte ist. Der biomechanisch-trainingswissenschaftliche Hintergrund dieser Entwicklungen stimmt mit international anerkannten Erkenntnissen überein (Baudouin & Hawkins, 2004; Hofmijster, Landmann & Van Soest, 2002; Kleshnev, 2010; Nolte, 2011) und basiert auf Ergebnissen, die im Rahmen von Forschungsprojekten an der Universität Hamburg generiert worden sind. Die technischen Entwicklungen und deren Wirkung auf die Rudertechnik und -leistung wurden in der Trainingspraxis erprobt, evaluiert und die Ergebnisse ins tägliche Training überführt.

Hervorzuheben ist die hohe trainingspraktische Relevanz der generierten Mess- und Testdaten der eingesetzten Messsysteme, um Hinweise zur Steuerung der individuellen Ruderleistung und -technik sowie Empfehlungen für die Formierung von Bootsbesetzungen geben zu können. Das MMS ermöglicht die Erfassung der individuellen Ruderleistung und -technik der Athletinnen und Athleten unmittelbar im Rennboot in allen Bootsklassen unter den typischen Wettkampf- und Trainingsbedingungen,

wie z. B. das Messen von Achterbesetzungen bei internationalen Rennen. Mit Sofrow II können die Rotationsbewegungen des Bootes über die Gier- und Stampfwinkelamplituden als geeignete Beschreibungsgrößen reliabel und praxisrelevant abgebildet werden. Über das akustische Feedback wahlweise der Gier- oder Stampfbewegung oder des Beschleunigungsverlaufs besteht die Möglichkeit zur Verbesserung der Bootsbewegung und des Bootslaufs sowie der Mannschaftssynchronisation (Mattes & Schaffert, 2015).

Dennoch zeigen die Ergebnisse ein uneinheitliches Bild. Trotz der umfangreich durchgeführten Messungen konnte die Frage nach der Wirkung der Sonifikation auf Gieren und Stampfen im Einzelnen (welches Bewegungsdetail in welcher Rotationsbewegung wie am besten angesteuert wird) nicht abschließend und einheitlich geklärt werden. Die Rotationsbewegungen des Bootes scheinen für die Athletinnen und Athleten komplexer und schwerer verständlich zu sein als die Beschleunigung, die sich über den dosiert ausgeführten Freilauf gezielt ansteuern lässt (Mattes & Schaffert, 2015).

Die Ergebnisse der Athletenbefragung unterstreichen, dass die Veränderung in der Bootsbewegung von den Athletinnen und Athleten wahrgenommen und dadurch eine gezielte Ansteuerung der jeweiligen Bootsbewegungsrichtung ermöglicht wird. Die Möglichkeiten zur Ansteuerung der beiden neuen Bewegungsrichtungen des Bootes sind hier noch nicht ausgeschöpft. Für den zukünftigen Einsatz in der Praxis sollte neben der Sonifikation der Boots-



beschleunigung auch die Rotationsbewegungen des Bootes regelmäßig im Training eingesetzt werden, um die Athletinnen und Athleten an die neuen akustisch rückgemeldeten Parameter zu gewöhnen. Zudem sollte Einsatz dosiert und jeweils nur eine Bewegungsrichtung für eine bestimmte Zeit (über 2 oder 3 Wochen) rückgemeldet werden.

Weiterhin empfiehlt sich für die Trainingspraxis, die Sonifikation mit neu formierten Bootsbesetzungen durchzuführen, um die Bootsbewegung, den Bootslauf und die Mannschaftssynchronisation möglichst schnell zu erreichen und damit die Grundlage für Ansteuerungseffekte der Rudertechnik zu schaffen.

## 5 Literatur

- Baudouin, A., & Hawkins, D. (2004). Investigation of biomechanical factors affecting rowing performance. *Journal Biomechanics*, 37(7), 969-976.
- Böhmert, W., & Mattes, K. (2003). Biomechanische Objektivierung der Ruderbewegung im Rennboot. In W. Fritsch (Hrsg.), *Rudern – erfahren, erkunden, erforschen* (S. 163-172). Wirth-Verlag (Sport Media).
- Hofmijster M. J., Landman, E. H., & Van Soest, A. J. (2007). Effect of stroke rate on the distribution of net mechanical power in rowing. *Journal of Sports Science*, 25(4), 403-411.
- Kleshnev, V. (2010). Boat acceleration, temporal structure of the stroke cycle, and effectiveness in rowing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, 224, 63-74.
- Mattes, K., Manzer, S., Reischmann, M., & Schaffert, N. (2017). Der Einfluss der Windrichtung auf das Gieren beim Skullen. *Leistungssport*, 47(4), 36-41.
- Mattes, K., Manzer, S., Reischmann, M., Schaffert, N., & Böhmert, W. (2016). Zur Wirkung des Außenarmzuges auf die Kräfte am Innenhebel und Stembrett im Riemerudern. *Leistungssport*, 46(1), 32-38.
- Mattes, K., & Schaffert, N. (2015). Wirkung der Sonifikation auf die Bootsgeschwindigkeit und Mannschaftssynchronisation im Rennerudern. *Leistungssport*, 45(3), 46-51.
- Mattes, K., Schaffert, N., Manzer, S., & Reischmann, M. (2018a). *Analyse von Gieren und Stampfen des Rennruderboots und deren Ansteuerung mittels akustischen online-Feedbacks im Wassertraining*, Teilbericht I: Analyse von Gieren und Stampfen und deren Einflussgrößen im Renneiner. Abschlussbericht zum BISp-Projekt ZMVI4-07080316-17.
- Mattes, K., Schaffert, N., Manzer, S., & Reischmann, M. (2018b). *Analyse von Gieren und Stampfen des Rennruderboots und deren Ansteuerung mittels akustischen online-Feedbacks im Wassertraining*, Teilbericht II: Sonifikation der Gier- und Stampfbewegung des Bootes und deren Ansteuerung mittels akustischen online-Feedbacks im Wassertraining. Abschlussbericht zum BISp-Projekt ZMVI4-07080316-17.
- Nolte, V. (2011). (Ed.) *Rowing faster. Serious Training for serious rowers*. 2nd ed. Human Kinetics.
- Schaffert, N., & Mattes, K. (2015). Interactive Sonification in Rowing: An Application of Acoustic Feedback for On-Water Training. *IEEE MultiMedia*, 22(1), 58-67.
- Schaffert, N., & Mattes, K. (2016). Influence of acoustic feedback on boat speed and crew synchronization in elite junior rowing. *International Journal of Sports Coaching*, 11(6), 832-845.

# Weltstandardbasiertes, individualisiertes Training im Blindenfußball

(AZ 071605/18-19)

*Renate M. Leithäuser, Martin Mania, Max Niemeyer, Sebastian Schleich  
& Ralph Beneke (Projektleitung)*

Philipps-Universität Marburg; Institut für Sportwissenschaft und Motologie,  
Bereich Medizin, Training und Gesundheit

## 1 Problem / Hintergrund des Transferprojektes

Die paralympische Sportart Blindenfußball ist eine Form des 5-a-side Kleinfeldfußballs, die im internationalen Wettbewerb nur von blinden Athleten der Klassifizierung B1 gespielt wird (IBSA Blind Football Rule Book). Sie zählt international zu den Sportarten mit dem größten Forschungsbedarf im Rahmen der Vorbereitung der paralympischen Spiele 2020 in Tokyo (Magne, 2017).

Unser Transferprojekt verfolgte die Optimierung eines individualisierten Trainings für Spielerinnen und Spieler der Blindenfußballnationalmannschaft als Element der Vorbereitung auf die Europameisterschaft 2019 in den Bereichen Technik, Taktik und konditionelle Fähigkeiten basierend auf systematischen Spielanalysen der weltbesten Nationalmannschaften. Es beinhaltete die Entwicklung und Umsetzung individualisierter Wintertrainingsprogramme auf Grundlage der aktuellen konditionellen Fähigkeiten und deren Entwicklung im Zeitraum 01-08/2018 sowie auf Grundlage ausgewählter aktuell objektivierbarer technischer Stärken und Defizite im Vergleich zu Spielerinnen und Spielern der internationalen Spitzenklasse mit vergleichbaren mannschaftstaktischen Aufgabenprofilen. Ein weiteres Ziel war die Erweiterung der im Rahmen unseres Service-Forschungsprojektes (AZ 072007/18) erstellten Europameisterschaft 2017-basierten Technikdatenbank um Beispiele der aktuell weltbesten Mannschaften aus Südamerika und Asien bzw. zur Identifikation möglicher Entwicklungstendenzen europäischer Mannschaften im Zeitraum Europameisterschaft 2017 bis Weltmeisterschaft 2018.

## 2 Methode

Die Zielgruppe des Projekts war der erweiterte Bundeskader Blindenfußball.

In der ersten Projektphase erfolgte die Entwicklung und Implementierung individueller Wintertrainingsprogramme für das Heimtraining mit Fokus auf konditionelle Fähigkeiten sowie auch technischer Fertigkeiten. Hinsichtlich des konditionellen Fokus war der Fitnesscoach der Mannschaft direkt mit eingebunden. Gemeinsam wurde ein umfangreicher Übungskatalog mit unterschiedlichen Kraft- und Mobilisierungseinheiten entwickelt und den Spielern während eines Fitnesslehrgangs in Kleingruppen vorgestellt. So konnte auf eine korrekte Durchführung der Übungen geachtet werden und eine Schwerpunktsetzung basierend auf individuellen Stärken und Schwächen der Athleten erfolgen. Bezüglich des Heimtrainingsprogramms wurde zusätzlich ein Übungskatalog erstellt, der Übungsformen umfasst, welche die Basistechniken Ballannahme, Dribbling und Torschusstechnik schulen. Diese Übungen wurden im Rahmen des ersten Lehrgangs nach Projektbewilligung als Testversuch erläutert und durchgeführt. Bei der Zusammenstellungen der Übungen wurde darauf geachtet, dass sie weitestgehend auch alleine bzw. mit nur einem sehenden Partner und zum Teil auch ohne Kleinfeld, Banden und Tor ausgeführt werden können.

Ein weiterer Schwerpunkt während der gesamten Projektlaufzeit lag auf den Analysen von vorhandener Videodokumentation von Spielen der Weltmeisterschaft 2018 in Madrid. Zur Erfassung eines Weltstandards wurden alle WM-Spiele der Mannschaften von Brasilien (Südame-

rika- und Weltmeister), China (Asienmeister; 3. Platz bei der WM), Russland (Europameister, 4. Platz bei der WM) und England (7. Platz bei der WM) analysiert und hierbei ein Beobachtungsschwerpunkt auf die Ballannahme, als initiale Aktion jeder Spielhandlung mit Ball, gesetzt und die im Rahmen des Service-Forschungsprojektes begonnene Technikdatenbank erweitert. Diese Analysen dienen der Unterstützung individualistisch-technisch-taktischer Handlungskonzepte mit und ohne Gegnerdruck sowie als Ausgangssituation und Voraussetzung mannschaftstaktischer Maßnahmen bei Lehrgängen und Länderspielen der Nationalmannschaft.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des Transferprojekts wurde ein individualisiertes Wintertrainingsprogramm entwickelt und implementiert sowie vorhandene Videodokumentation der weltbesten Mannschaften (basierend auf WM 2018 in Madrid) mit Schwerpunkt Ballannahme analysiert.

Für das Wintertrainingsprogramm wurde ein Übungskatalog erstellt, der Trainingsmethoden umfasst, welche die Basistechniken Ballannahme, Dribbling und Torschusstechnik schulen. Die Übungsformen wurden im November 2019-Lehrgang getestet und bedarfsabhängig individualisiert zusätzlich erläutert und durchgeführt. Ziel dieses Ansatzes war, dass die Nationalspieler diese Techniken im privaten Training und ggf. auch im Vereinstraining intensiv trainieren, um so eine merklich bessere und stabilere Technik zu erreichen. Die Ballannahme gilt als Ausgangspunkt jeder Offensivaktion. Ihre Erfolgsstabilität sowie eine möglichst geringe Zeitspanne von Annahme bis zur Kontrolle/Mitnahme des Balles, um eine Anschlussaktion (Pass, Dribbling, Torschuss) folgen lassen zu können, sind entscheidende Merkmale einer guten Ballannahmetechnik.

Für die Videoanalyse wurden alle WM 2018-Spiele der Mannschaften von Brasilien, China, Russland und England betrachtet. Mit Brasilien, China und Russland wurden damit die derzeit besten Teams Südamerikas, Asiens und Europas analysiert. Die Spiele Englands bei der WM 2018 wurden gewählt, da England bereits im Rahmen der EM 2017 in die Analyse

eingegangen war und somit im Längsschnitt betrachtet werden kann sowie als ein Favorit für die EM 2019 in Rom gilt. Das Transferprojekt konnte somit erfolgreich die Technikdatenbank erweitern.

Erste Analysen zeigten im Vergleich zu Mannschaften der europäischen als auch der südamerikanischen Spitzenklasse eindeutig Defizite der deutschen Nationalmannschaft bez. der benötigten Ballannahmezeiten sowohl ohne als auch unter Gegenerdruck. Punktuell konnten diese Unterschiede nicht nur auf technische Unzulänglichkeiten deutscher Spieler sondern zusätzlich auch auf spieltaktische Unterschiede im Vergleich zur internationalen Spitzenklasse zurückgeführt werden.

### 4 Transfer in die Praxis

Ein Transfer in die Sportpraxis fand bereits kontinuierlich projektbegleitend statt. Die Erstellung des Übungskatalogs sollte das konditionelle und Technik-Training der Nationalspieler am Heimatort unterstützen. Es wurde darauf geachtet Trainingsmethoden zu entwickeln, die mit geringem personellem und apparativem Aufwand nahezu überall durchgeführt werden können. Dies erwies sich als förderlich für die Lehrgangseinheiten der Nationalmannschaft, da dort die verbesserte Technik in spielnahen/komplexeren Übungsformen angewandt werden konnte. Auf dem Weg zur Verbesserung der Spielfähigkeit jedes einzelnen Nationalmannschaftsakteurs erfüllte der individualisierte Übungskatalog somit eine wichtige Aufgabe für lehrgangsunabhängige selbstorganisierte Technik-Trainingsprozesse jedes Spielers der erweiterten Nationalmannschaft. Die Lehrgänge in diesem Jahr haben eindeutig gezeigt, dass sich dieser Ansatz bewährt hat.

Der Austausch zwischen Projektteam und Sportpraxis erfolgte projektbegleitend. Regelmäßig vor und nach einem Lehrgang erfolgte eine Lehrgangsplanung bzw. -reflexion mit Diskussion spezieller konditioneller Konzepte verbunden mit sportartspezifischer Technik und taktischer Maßgaben. Aufbauend auf unser früheres Serviceforschungsprojekt konnten weiterhin wissenschaftlich begründete, aufeinander aufbauende Lehrgangsschwerpunkte gelegt

werden. Hierbei profitiert die Sportpraxis bereits von der etablierten und im Rahmen dieses Projekts erweiterten Technikdatenbank. So fließen Erkenntnisse zur Technik der weltbesten Mannschaften unmittelbar in den Trainingsprozess ein. Aktuell finden Treffen mit dem Trainerstab in regelmäßigen Abständen statt, um die Technikdatenbank auch zur Gegneranalyse im Rahmen der Vorbereitung auf die Europameisterschaft 2019 in Rom zu nutzen.

## 5 Literatur

IBSA Blind Football Rulebook 2017-2021 (B1-Category) revised 3-1-2017. <http://www.ibsasport.org/sports/football/rules/>

Magnes, S (2017). Rio 2016: Olympic and Paralympic Sports Medicine Strategies and Lessons Learned for Tokyo 2020. *ACSM 64th Annual Meeting*, Denver, 01.06.2017



# Vergleich von Belastungsparametern im Parabiathlon/-Skilanglauf zwischen dem Training auf dem Skirollerlaufband und dem Training mit Skirollern auf Asphalt und mit Ski auf Schnee.

(AZ 071607/18-19).

Veit Wank<sup>1</sup> (Projektleitung), Corinna Coenning<sup>1</sup>, Hendrik Heger<sup>1</sup>, Walter Rapp<sup>2</sup> & Ralf Rombach<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Olympiastützpunkt Freiburg

## 1 Problemstellung

Das Training mit Skirollern auf großen Laufbändern für die Sportarten Biathlon und Skilanglauf hat sich weitläufig etabliert. Eigene Studien (u. a. Wank et al., 2016, 2017) sowie etliche internationale Studien (u. a. Lindinger et al., 2009, Swaren et al., 2012; Halonen et al., 2014) zeigen die Vorteile von Trainings- und Untersuchungsmethoden auf Skirollerlaufbändern als ideale Ergänzung zum Training und zu bewegungsanalytischen Untersuchungen im Feld. Das Training auf dem Laufband ist sehr effektiv, weil es durch ein direktes Feedback über das Verhältnis Anstrengungsgrad vs. Bandgeschwindigkeit sowie permanente Korrekturmöglichkeiten von außen durch die Trainer bzw. Leistungsdiagnostiker gegenüber dem Streckentraining etliche Vorteile hat. Zudem bietet ein Laufband sehr gute Voraussetzungen für leistungsdiagnostische Untersuchungen unter standardisierten Bedingungen oder aber auch für Simulationen von bedeutsamen Wettkampfstrecken (Swaren et al., 2012). Das Training im nordischen Skisport von Athleten und Athletinnen mit Behinderungen unterliegt dabei besonderen Rahmenbedingungen. Viele sind bereits über das Jugendalter hinaus, wenn sie den Weg in den Leistungsbereich finden. Die Zeit, eine optimale, wettkampfspezifische Technik zu erlernen, ist geringer als bei einer Kaderentwicklung im DSV. Das „Abschauen“ von Lauftechniken der Weltbesten aus dem Skilanglauf/Biathlon der Sportlerinnen und Sportler ohne Behinderungen ist bei Athleten bzw. Athletinnen mit eingeschränktem Sehvermögen nicht in gewohnter Weise möglich.

Daher muss möglichst oft in der wettkampfspezifischen Geschwindigkeit gelaufen werden, damit sich diese Technik im Bewegungsmuster einprägt. Gerade im Skischlitten-Langlauf haben wir es oftmals mit Quereinsteigern aus anderen Sportarten (z. B. Paracycling) zu tun. Allgemeine Grundlagen in der Ausdauer sind dabei oft vorhanden, allerdings fehlt es an einer hinreichend guten Wettkampftechnik für das Skischlittenlaufen. Die Verbesserung der Arbeitsökonomie und eine Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme für den Skischlittenlauf sind bei diesen Athleten bzw. Athletinnen die leistungslimitierenden Parameter beim Vortrieb. All dies lässt sich auf einem Skirollerlaufband sehr gut anzu steuern und verbessern.

Nicht nur im Paraskilanglauf und Parabiathlon, aber insbesondere in diesen beiden Sportarten hängen aufgrund der unterschiedlichen Sportklassen (Behinderungsgrade) die Trainings- und Wettkampfleistungen von den jeweiligen Gleitbedingungen ab. Dies liegt am Faktorensystem. Bei diesem System bekommen die einzelnen Sportklassen einen festgelegten Faktor zugeordnet. Durch diesen Faktor können Athletinnen bzw. Athleten mit unterschiedlich ausgeprägten Leistungseinschränkungen gegeneinander antreten, ihre Leistungen vergleichen und einen Sieger ermitteln. Die Sportpraxis zeigt, dass unterschiedliche äußere Bedingungen trotz Faktor oft zu unterschiedlichen Leistungsverhältnissen führen. Es wurde beobachtet, dass bei schlechten Gleitbedingungen Sportklassen mit einem höheren Faktor (höherer Behinde-



rungsgrad z. B. LW 10 in der Sitzskiklasse) im Vergleich zu Sportklassen mit einem niedrigeren Faktor (z. B. LW 12 in der Sitzskiklasse) trotz des Faktors vergleichsweise langsamer sind, als bei guten Gleitbedingungen. Allerdings beruht diese Einschätzung bisher nur auf Beobachtungen aus dem Training und bei Wettkämpfen. Die Trainings- bzw. Wettkampfleistungen auf dem Laufband, beispielsweise bei Streckensimulationen oder bei Leistungsdiagnosen, finden stets unter vergleichbaren Bedingungen statt und sind daher nicht automatisch auf verschiedene Gleitbedingungen übertragbar. Die Beurteilung des Leistungsvermögens bei beispielsweise schlechten Gleitbedingungen ist auf dem Laufband bisher nicht objektiv möglich.

Im Mittelpunkt des hier vorgestellten Projektes stand die Überprüfung der Vergleichsmöglichkeiten von Laufleistungen auf dem Skirollerlaufband gegenüber den Leistungen, die im Feld sowohl mit Skiroller auf Asphalt als auch mit Ski auf Schnee erbracht werden. Dabei sollte die Erfassung von realen Bewegungs- und Leistungsparametern bei unterschiedlichen Gleit-

bedingungen, wie sie aufgrund äußerer Bedingungen im Feld vorzufinden sind, erfolgen.

Es sollte versucht werden, durch verschiedene Interventionen bzw. Modifikationen der Bandsteuerung auf dem Skirollerlaufband diese Bedingungen zu simulieren. Vorrangiges Ziel war die Evaluierung der Einstellungen des Skirollerbandes über die Profilwahl (Neigung, Geschwindigkeit), sodass das Laufen auf dem Band möglichst nah an das freie Laufen auf der Loipe bzw. mit dem Skiroller auf Asphalt angepasst werden kann. Dadurch sollten objektivierbare Einschätzungen und Vergleiche von Trainingsleistungen unter Feldbedingungen mit Leistungen auf dem Skirollerlaufband ermöglicht werden.

## 2 Methode

Der Leistungsvergleich beim Laufen auf Schnee, Asphalt (Skiroller) und dem Laufband (Skiroller) wurde mit einer Gruppe von paralympischen Athleten, die am OSP Schwarzwald in Freiburg und auf dem Notschrei (NCN) (Abb. 1) trainieren, durchgeführt.



Abb. 1: Topographie der ca. 1,2 km langen Testrunde auf dem Notschrei, auf der die Läufe auf Ski (Schnee) und auf Rollski (Asphalt) stattfanden

Die Tests waren ursprünglich mit sechs Probanden geplant. Ein Proband ist im Laufe des Trainingsjahres aus dem Kader ausgeschieden, sodass wir auf Schnee mit sechs Athleten und auf Asphalt und auf dem Laufband mit jeweils fünf Athleten vermessen haben. In Anbetracht der Gesamtzahl von paralympischen Athleten und Athletinnen, die im nordischen Skisport leistungsorientiert trainieren, ist es prinzipiell nicht möglich, Probandengruppen mit der für statistisch belegbare Aussagen notwendigen Größe zu bekommen, sodass diese Studien eher den Charakter von Einzelfallbeschreibungen haben. Das ist sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene der Fall, und der Hauptgrund, weshalb es in diesem Bereich so gut wie keine Publikationen gibt, die übliche Standards hinsichtlich der Stichprobengrößen erfüllen. Die Studie hätte vom Anliegen her auch mit Nicht Behinderten durchgeführt werden können. Sie wurde aber explizit vom DBS angeregt und auch überwiegend aus Mitteln zur Unterstützung des paralympischen Leistungssports gefördert, weshalb wir natürlich auch bestrebt waren, das Thema, das für alle Langlaufdisziplinen interessant ist, mit Athleten aus dem paralympischen Bereich zu untersuchen.

Der Test war vordergründig auf die Messung von Effekten infolge der Laufbedingungen ausgerichtet. Dazu sind die Läufer Testrunden auf Ski (Schnee), auf Skiroller (Asphalt) und bei Simulation des Testrundenprofils auf dem Laufband gelaufen. Dies wurde bei adäquatem Ablauf mit niedriger (GA), mittlerer (EB) und hoher Intensität (GB) durchgeführt.

Je nach Läuferklasse liefen die Läufer in der Skating-Technik (v. a. sehbehinderte Läufer) bzw. im Doppelstockschub (v. a. Sitzschlittenläufer).

Die Testbedingungen bei den Läufen waren sowohl im Winter als auch im Sommer anspruchsvoll. Die Läufe auf Schnee fanden bei  $-10^{\circ}\text{C}$  Lufttemperatur statt. Alle Läufer verwendeten dabei denselben Ski-Typ mit jeweils gleichem Schliff. Ebenso wurde wie bei Wettkämpfen mit optimaler Struktur und den Verhältnissen angepasster bestmöglicher Wachs-kombination gelaufen, so dass es vergleichbare Bedingungen gab. Die Testläufe auf Rollski fanden im Juli bei  $28^{\circ}\text{C}$  Lufttemperatur statt. Hier verwendeten alle Läufer den gleichen Rollertyp mit identischen Lagern und Laufrollen. Diese wurden auch bei den abschließenden Tests auf dem Laufband wiederverwendet und in der Zwischenzeit nicht nennenswert benutzt, so dass vergleichbare Rollreibungsbedingungen bezüglich der Rollereigenschaften gegeben waren.

Die Läufer liefen mit instrumentierten Skistöcken (Abb. 3, Seite 4), die jeweils auf ihre individuelle Stocklänge eingestellt waren. Die Stöcke waren mit Sensoren zur axialen Stockkraftmessung, mit einem Inertialsensor (IMU) und mit einem Datenlogger ausgestattet. Der Datenlogger wurde über USB (Klinkenstecker, Abb. 2) gestartet. Die über den Messzeitraum erfassten Daten wurden per USB an einen Messrechner übertragen. Die Stockkräfte wurden sowohl vom linken als auch vom rechten Stock mit einer Frequenz von je 1600 Hz aufgezeichnet.

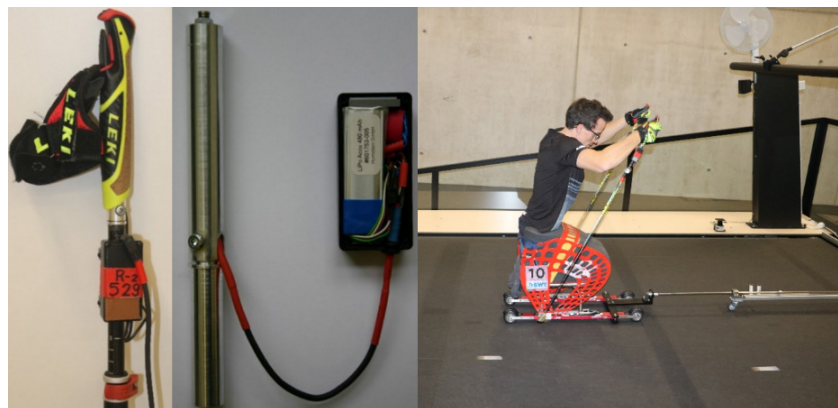


Abb. 2: Sensorstöcke mit im Griff integrierten Axialkraftsensoren (links) und einer Messbox mit IMU, Datenlogger und Stromversorgung (links) und Sitzschlittenläufer auf dem Band

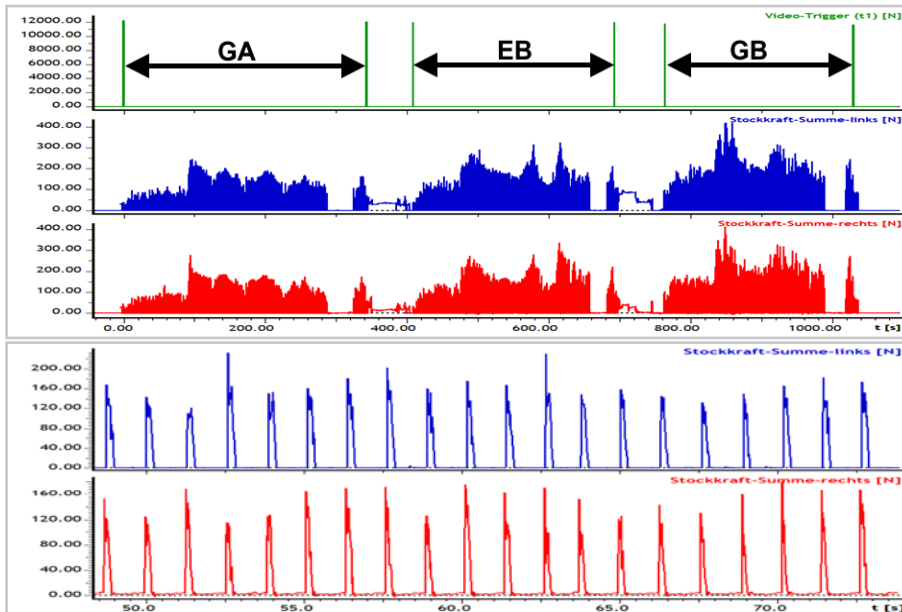


Abb. 3: Zeitverläufe der axialen Stockkräfte bei einem Sitzskiläufer bei den drei Testläufen bei mit unterschiedlicher Intensität auf dem Laufband (oben) mit vergrößertem Ausschnitt der Stockkräfte (unten)

Zur Auswertung der Stockdaten wurden die einzelnen Testrunden aus der Gesamtmessung ausgeschnitten (siehe Abb. 3 oben). Als Auswerteparameter wurden die Zahl der Stockschübe und das Gesamtintegral der axialen Stockkräfte erfasst. Für die Berechnung der Kraftstoß-Summen wurden die Stockkräfte während der Schwungphasen mittels eines Schwellwertalgorithmus auf 0N gesetzt, so dass keine Artefakt-Kräfte in die Berechnung des Gesamtintegrals eingingen. Parallel zur Erfassung der axialen Stockkräfte liefen die Probanden im Gelände und auf dem Laufband mit einer GPS-Pulsuhr (POLAR), über die die Zeitverläufe der Herzfrequenz (Brustgurt) des Höhenprofils, der Laufgeschwindigkeit und der Streckenlänge (nicht auf dem Band) erfasst wurden.

Die Daten der Rollskiläufe wurden zur individuellen Programmierung des Gelände- und Geschwindigkeitsprofils für die Steuerung des Rollskilaufbandes verwendet, so dass die Läufer auf dem Band im Prinzip ihren Rollskilauflauf auf Asphalt nachfahren.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Beim Vergleich der Zeitverläufe der axialen Stockkräfte beim Laufen auf dem Laufband mit dem Laufen auf Rollski im Gelände wurde deutlich, dass, es zwischen den Läufen mit Doppelstockschub (insbesondere Sitzskiläufer) und der Skating-Technik größere Unterschiede im Stockeinsatz gab. Dies ist vor allem dem gegebenen Geländeprofil und den limitierten Möglichkeiten, dieses auf einem Laufband zu simulieren, zuzuschreiben. In der leicht abschüssigen Passage zu Beginn der Testrunde haben alle Läufer im Gelände bei allen Intensitätsstufen den Stockeinsatz genutzt, um Vortrieb zu erzeugen. Auf dem Laufband hingegen, wo diese Passage mit einer ebenen Bandstellung bei vergleichbarer Bandgeschwindigkeit simuliert wurde, hätte der Stockeinsatz bei den Skatern zusätzlich zum Skating-Vortrieb durch die Beine so viel Geschwindigkeit erzeugt, dass die Läufer an die vordere Begrenzung der Bandfläche gerollt wären.

Somit haben die Läufer, die mit der Skating-Technik unterwegs waren, die Stockschübe an dieser Stelle ausgelassen. Im Gelände gab es dieses Limit nicht, weil der zusätzlich durch die Stöcke erzeugte Antrieb ein sehr effizientes Mittel für eine ökonomische Fortbewegung war, die zum Einsparen der Beinaktivität führte. Im Gegensatz dazu konnte der Rollwiderstand zum Bewältigen der vorgegebenen Bandgeschwindigkeit bei den Läufern mit Doppelstockschub nicht ohne Stockschübe bei 0° Bandneigung überwunden werden, denn im Gegensatz zum realen Gelände, wo an dieser Stelle etwa 2° Abwärtsneigung war, konnte auf dem Band die Schwerkraft nicht für den Vortrieb genutzt werden, weil hier keine Abwärtsneigungen eingestellt werden können.

Die beschriebenen Unterschiede im Stockeinsatz führen zwangsläufig auch zu einer deutlichen Verschiebung der Leistungsparameter, die als Kennwerte zum Vergleich der verschiedenen Laufoptionen herangezogen wurden. So ist die Herzfrequenz zu Beginn der Testrunden auf dem Band gegenüber den Läufen im Gelände deutlich flacher angestiegen, was zumindest an dieser Stelle eine objektiv geringere Gesamtbelastung beim Laufen auf dem Band gegenüber dem Asphalt dokumentiert (Abb. 4). Infolgedessen ist der erreichte Maximalpuls auf dem Band gegenüber dem Laufen im Gelände signifikant geringer.

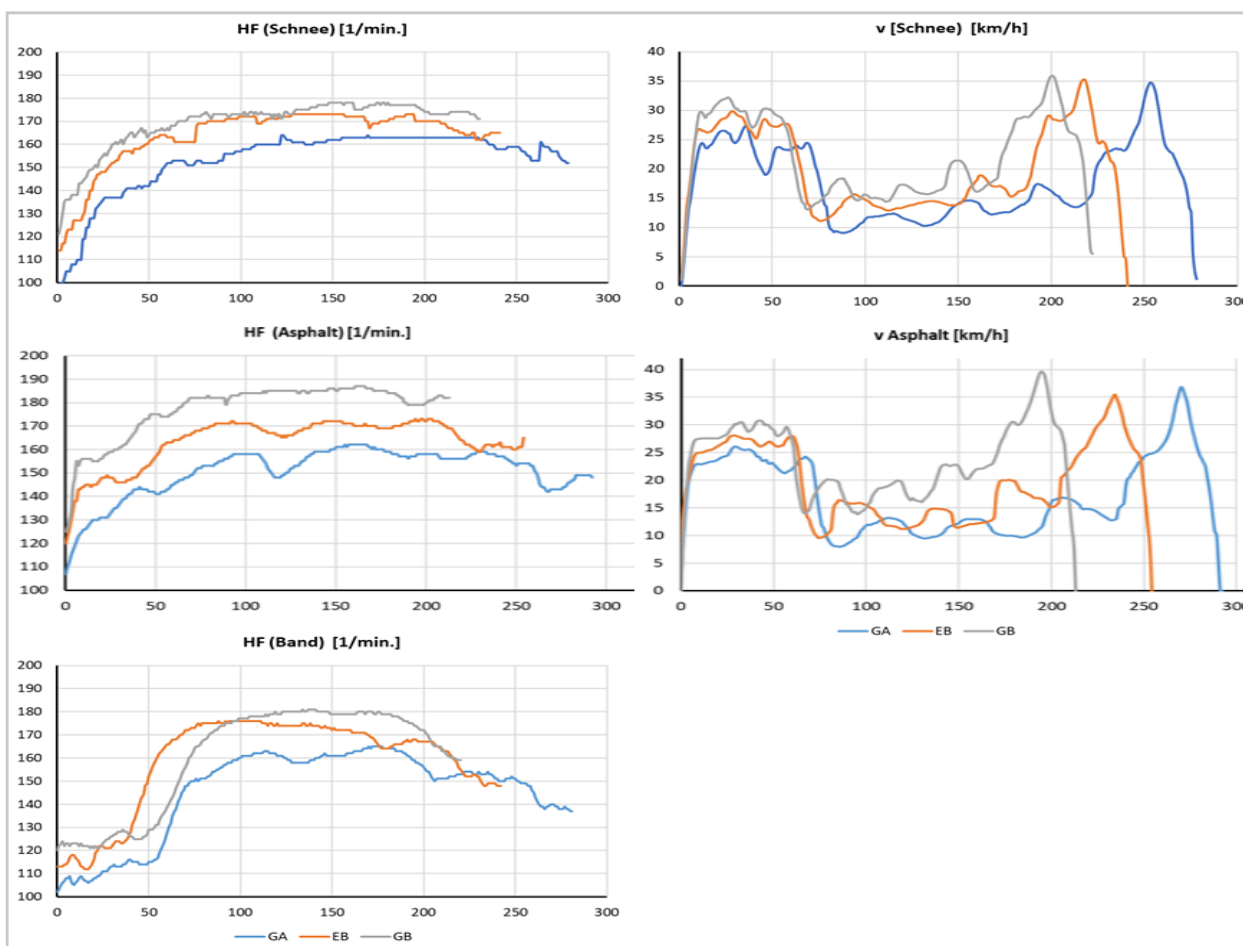


Abb. 4: Exemplarische Zeitverläufe der Herzfrequenz und der Laufgeschwindigkeit bei den Testrunden auf Schnee, Asphalt und auf dem Laufband (ohne v-Messung). Die Daten stammen von einem sehbehinderten Läufer mit Skating-Technik.



		Schnee	Asphalt	Band			Schnee	Asphalt	Band
P1-DP	HF (1/min)	171	157	160	P1-DP	Stockschub (x)	197	145	145
	Laktat (mmol/l)		6,82	8,21		Kraftstoß (Ns)	14304	12046	15330
	Laufzeit (s)	228	214	209					
P2(1A)	HF (1/min)	189	179	150	P2(1A)	Stockschub (x)	172	138	110
	Laktat (mmol/l)		4,14	3,68		Kraftstoß (Ns)	9711	7772	8814
	Laufzeit (s)	215	203	217					
P3-DP-sit	HF (1/min)	163	166	158	P3-DP-sit	Stockschub (x)	251	184	193
	Laktat (mmol/l)		7,06	7,52		Kraftstoß (Ns)	14472	9824	13006
	Laufzeit (s)	268	258	265					
P4-SK	HF (1/min)	166	180	148	P4-SK	Stockschub (x)	335	327	256
	Laktat (mmol/l)		4,21	4,53		Kraftstoß (Ns)	21468	12746	16740
	Laufzeit (s)	402	280	298					
P5-SK	HF (1/min)	174	182	159	P5-SK	Stockschub (x)	143	130	96
	Laktat (mmol/l)		2,38	4,66		Kraftstoß (Ns)	10033	9182	6942
	Laufzeit (s)	212	204	221					

Abb. 5: Gegenüberstellung der erfassten physiologischen und der Stockschubparameter aller untersuchten Probanden (mit unterschiedlicher Lauftechnik) bei den Testläuffern unter verschiedenen Bedingungen (SK=Skating, DP= Doppelstockschub)

Zusammenfassend entstand der Eindruck, dass das Laufen auf dem Band insbesondere bei flachen und bei leicht abschüssigen Passagen in Bezug auf die Gesamtbelastung nur bedingt mit dem Rollskilaufen auf Asphalt vergleichbar ist. Der Vergleich zwischen Laufen auf Schnee und Rollskilaufen hängt erheblich von den Randbedingungen speziell auf Schnee (Temperatur, Luftfeuchte, Schneebeschaffenheit) ab. Bei unseren Tests waren aufgrund der tiefen Temperaturen keine besonders guten Gleitbedingungen. Die Läufe auf Ski waren langsamer als die mit Rollski, wobei die Maximalgeschwindigkeit bei der Abfahrt auf Ski eindeutig höher war als jene auf Rollski, die bei unseren Tests bei einer Lufttemperatur von 28° C ebenfalls keine optimalen Rollbedingungen vorfanden.

## 4 Literatur

- Halonen, J., Ohtonen, O., Lemmettylä, T., Lindinger, S., Rapp, W., Häkkinen, K., & Linnamo, V. (2014). Biomechanics of double poling when skiing on snow and using an ergometer. In E. Müller et al. (eds.), *Science and Skiing VI*. Meyer and Meyer Sport, 387-395.
- Lindinger, S. J., Holmberg, H. C., Müller, E., & Rapp, W. (2009). Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology*, 106(3), 353-363.
- Rapp, W., Wank, V.; Lindinger, S., Göpfert, C., Ohtonen, O., Lemmettylä, T., & Linnamo, V. (2012). Pole force measurement and inertial sensor technology in cross-country skiing. In A. Hakkarainen, V. Linnamo, & S. Lindinger (eds.), *Science and Nordic Skiing – ICSNS 2012* (S. 243-251). University Press Jyväskylä (Fin).
- Swarén, M., Supej, M., Eriksson, A., & Holmberg, C. H. (2012). Treadmill simulation of Olympic cross-country ski tracks. In A. Hakkarainen, V. Linnamo, & S. Lindinger (eds.), *Science and Nordic Skiing – ICSNS 2012* (S. 237-242). University Press Jyväskylä (Fin).
- Wank, V., Heger, H., & Rapp, W. (2014). Optimierung der Lauftechnik entsprechend den individuellen Voraussetzungen der Athleten im Sitzschlitten-Skilanglauf (AZ 070403/13). In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2012/13* (S. 141-146). Sportverlag Strauß.
- Wank, V., Rapp, W., & Rombach, R. (2017). Streckenprofiltraining und Doppelstocktraining für die Optimierung der Vorschubleistung im nordischen Skisport von paralympischen Athletinnen und Athleten (AZ 070401/16). In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2016/17* (S. 33-39). Sportverlag Strauß.



# Kinematische Analyse der Schwung-Zug-Technik mit Akzentuierung der Schwungbeinbewegung in verschiedenen Leistungsklassen und in Sprintserien bei LangsprinterInnen

(AZ 071602/19)

Klaus Mattes (Projektleitung), Martin Reischmann, Stefanie Wolff & Björn Losekamm  
Universität Hamburg, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft

## 1 Problemstellung

Die maximale Sprintgeschwindigkeit und deren kinematische Schrittmerkmale wurden in den letzten Serviceprojekten (2016-2018) auf der Grundlage eines eigens entwickelten Modells der Schwung-Zug-Technik in verschiedenen Stichproben von weiblichen und männlichen Nachwuchs- und Topsprinterinnen und -sprintern untersucht (Mattes, Manzer & Buckwitz, 2018; Mattes & Manzer, 2017). Innerhalb der Gruppen der untersuchten Sprinterinnen und Sprinter konnten zwei Schwungvarianten identifiziert werden, die sich durch die Differenzierung des Knie- und Oberschenkelwinkels zur Waagerechten zu Beginn des Kniehubschwungs ergeben. Das hohe Anfersen (AF) erfolgt hinter dem Körper mit dem Schwungbeinfuß nahe am Gesäß. Das Unterfersen (UF) wird mit hän-

gendem Fuß bei geringerem Hüftwinkel mehr unter dem Körper ausgeführt (Abb. 1a). Die Varianten der Schwungbewegung treten jedoch auch in unterschiedlichen Kombinationen von An- und Unterfersen auf und lassen sich mit den bisherigen Ergebnisdaten (Hüft- und Kniewinkel sowie Hüftwinkelgeschwindigkeit) nicht eindeutig bewerten. Dieses Manko kann durch eine vertiefende Auswertung behoben werden, die die Drehbewegung der Teilkörpermasse des Schwungbeines in Bezug zur Hüfte bestimmt. Dabei berücksichtigt das Massenträgheitsmoment des Beines die jeweilige Position von Ober-, Unterschenkel und Fuß inklusive Spikes und charakterisiert den resultierenden „Drehwiderstand“. Die Gesamtwirkung der Schwungbewegung kann über die Winkelgeschwindigkeit des Beines umfassender bewertet werden.

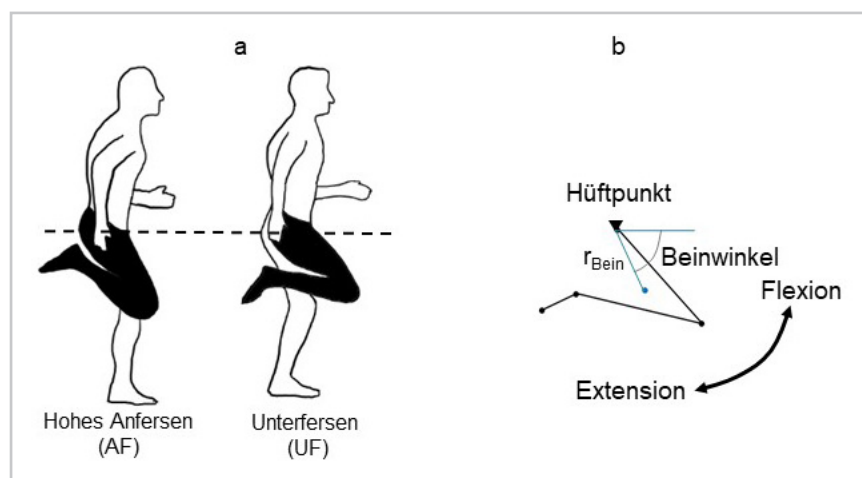


Abb. 1a: Zwei Varianten der Schwungbeinbewegung beim Sprinten. 1b. Markermodell zur Bestimmung von Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Massenträgheitsmoment und Drehimpuls des Schwungbeines, der blaue Punkt markiert den Teilkörperschwerpunkt des Beines.

Die Schwungbeinbewegung gliedert sich in den Kniehubschwung und den Schwungzug. Der Kniehubschwung startet mit dem minimalen Kniewinkel während des Anfersens und endet bei maximalem Kniehub des Schwungbeines (Abb. 2). Der Kniehubschwung verläuft zeitgleich mit der Bodenkontaktphase des gegenseitigen Stützbeines und unterliegt somit einer zeitlichen Limitierung (kurze Bodenkontaktzeit des gegenseitigen Stützbeines). Zudem wirkt die Schwungbeschleunigung reaktiv auf das Stützbein, wobei zwischen Beschleunigung und Abbremsen des Schwungbeines zu Beginn und am Ende des Kniehubschwungs unterschieden werden muss. Die Schwungbeschleunigung erzeugt eine beugende Reaktivkraft im Stützbein, die durch die Kniestreckmuskulatur abgefangen werden muss, um die Knieflexion zu minimieren. Das Abbremsen des Schwungbeines am Ende des Kniehubschwungs verursacht eine entgegengesetzt gerichtete Wirkung, indem es das Stützbein von der darüber liegenden Körpermasse teilentlastet. Die reaktive Wirkung der Schwungbeinbewegung wird durch das Massenträgheitsmoment und die Winkelgeschwindigkeit des Teilssegmentes Bein und Spikes beeinflusst. Ein geringeres Massenträgheitsmoment verringert den Bewegungswiderstand für die Schwungbeschleunigung. Dagegen erleichtert ein großes Massenträgheitsmoment während der Schwungbeinverzögerung die Streckung des gegenseitigen Stützbeines.

Der Schwungzug startet mit dem maximalen Kniehub und endet mit dem Bodenkontakt des Schwungbeines (Abb. 2). Diese den Stützbein unmittelbar vorbereitende Phase wird durch eine schnelle Hüftextension charakterisiert und muss eine hohe Rückschwunggeschwindigkeit

des Fußes vor Bodenkontakt erzeugen. Das Massenträgheitsmoment des Beines beeinflusst diese Merkmale, da es den Drehwiderstand für die Hüftextension determiniert.

Es wurde erwartet, dass (1) Sprinterinnen und Sprinter, die Unterfernen während des Kniehubschwunges und des Schwungzuges ein geringeres Massenträgheitsmoment und eine höhere Winkelgeschwindigkeit des Schwungbeines realisieren, im Vergleich zu Sprinterinnen und Sprintern, die mit hohem Anfersen laufen sowie (2) dass die Sprintergruppen sich in der maximalen Sprintgeschwindigkeit und in der Bodenkontaktzeit unterscheiden.

## 2 Methoden

Für die Untersuchung zur Schwungbeinbewegung setzte sich die Stichprobe aus 30 Junioren-Bundeskaderathletinnen und -athleten ( $N = 30$ ) zusammen, deren Daten im Jahr 2018 und 2019 erhoben wurden. Zum Zeitpunkt der Messungen befanden sich die Athletinnen und Athleten in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung auf die Hallensaison. Die Gesamtstichprobe wurde anhand des Beinwinkels zur Waagerechten des Schwungbeines zum Zeitpunkt des minimalen Kniewinkels während des Anfersens in zwei Gruppen von je 15 Athletinnen und Athleten unterteilt. Die Gruppe mit kleinem Beinwinkel zur Waagerechten ( $60$  bis  $74^\circ$ ) wird im Folgenden als „Unterfernen“ (UF) bezeichnet. Die Gruppe mit großem Beinwinkel zur Waagerechten realisierte einen Beinwinkel zwischen  $75$  und  $88^\circ$  und wird im Folgenden als „Anfersen“ (AF) bezeichnet. Tab. 1 zeigt die anthropometrischen Daten der Stichprobe.

Tab. 1: Stichprobe zur Untersuchung der Schwungbeinvarianten, Gruppeneinteilung nach dem Beinwinkel und anthropometrische Daten

Gruppe	Beinwinkel [°]	Anzahl	Alter [Jahre]	Körperhöhe [m]	Körpermasse [kg]	Beinlänge [cm]*
Unterfernen (N = 15)	69,0	15	17,8	1,85	72,2	95,3
Anfersen (N = 15)	80,	15	18,1	1,83	75,4	95,3

\* Abstand des Trochanter Majors zum Boden

Nach Erhebung der anthropometrischen Daten (Körperhöhe, Körpermasse und Beinlänge (von Trochanter Major bis Boden)) und einer allgemeinen Erwärmung wurden die Athletinnen und Athleten mit gut sichtbaren Markern beklebt (Abb. 1b). Danach erfolgte die spezifische Sprinterwärmung. Die Sprinttests wurden als fliegender Sprint über 30 m durchgeführt. Alle Sprints erfolgten auf Trainings- bzw. Wettkampfbahnen mit Tartanbelag. Jeweils ein Doppelschritt wurde aus sagittaler Position gefilmt. Die Videoaufnahmen der Sprinttechnik wurden mit einer Videokamera (Photonfocus AG, Switzerland) mit einer Bildauflösung von 1760x448 Pixel und 200 bzw. 250 Hz Bildwechselfrequenz angefertigt. Die mittlere Laufgeschwindigkeit wurde mit einer Dreifach-Lichtschranke (Wilhelm Köster, Ditzingen) gemessen. Die kinematische Auswertung (Punktverfolgung und Rohdatenerstellung) erfolgte mit Peak Motus 10.1 (Vicon). Die Rohdaten wurden mit einem Butterworth Filter (Cutoff Frequency 10 Hz) geglättet und die Winkel vor Eventdetektion auf 1° gerundet.

Die Bestimmung des Schwerpunktes des Schwungbeines erfolgte Mithilfe der von Hochmuth (1982) beschriebenen analytischen Schwerpunktberechnung. Für die Teilsegmente wurden folgende relative Gewichtsanteile für das Gesamtgewicht eines Beines (1,0) festgelegt (Oberschenkel (0,66), Unterschenkel (0,25), Fuß

mit Spikes (0,09). Dabei wurde die Masse des Beines mit 19 % der Gesamtkörpermasse angenommen. Der Beinwinkel war als Winkel zwischen einer Waagerechten durch den Hüftpunkt und dem Schwerpunkt des Beines definiert (Abb. 1b). Anhand der Werte wurden das Massenträgheitsmoment, die Winkelgeschwindigkeit und der Drehimpuls des Schwungbeines berechnet. Die weitere Datenanalyse umfasste eine beschreibende Statistik der Stichprobendaten (arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung). Für die Gruppenvergleiche wurden eine einfaktorische Varianzanalyse (Querschnittsvergleiche) herangezogen.

### 3 Ergebnisse

Zwischen den Zeitpunkten t2 und t5 konnten signifikante Unterschiede in der Stellung des Schwungbeines zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Das Bein der Gruppe UF pendelte beim Event t2 weniger hoch nach hinten aus. Das Knie war bei t3 bereits weiter unter dem Körper und bei t4 höher angehoben. Bei t5 war das Bein der Gruppe UF weniger gestreckt, als das der Gruppe AF. Die Beinwinkel waren bei Gruppe UF im Event t2, t3, t4 und t5 geringer. Zum Zeitpunkt t6 setzten beide Gruppen das Beine gleichermaßen gestreckt auf dem Boden auf. In diesem Event war keine Differenz mehr zu beobachten (Abb. 2).

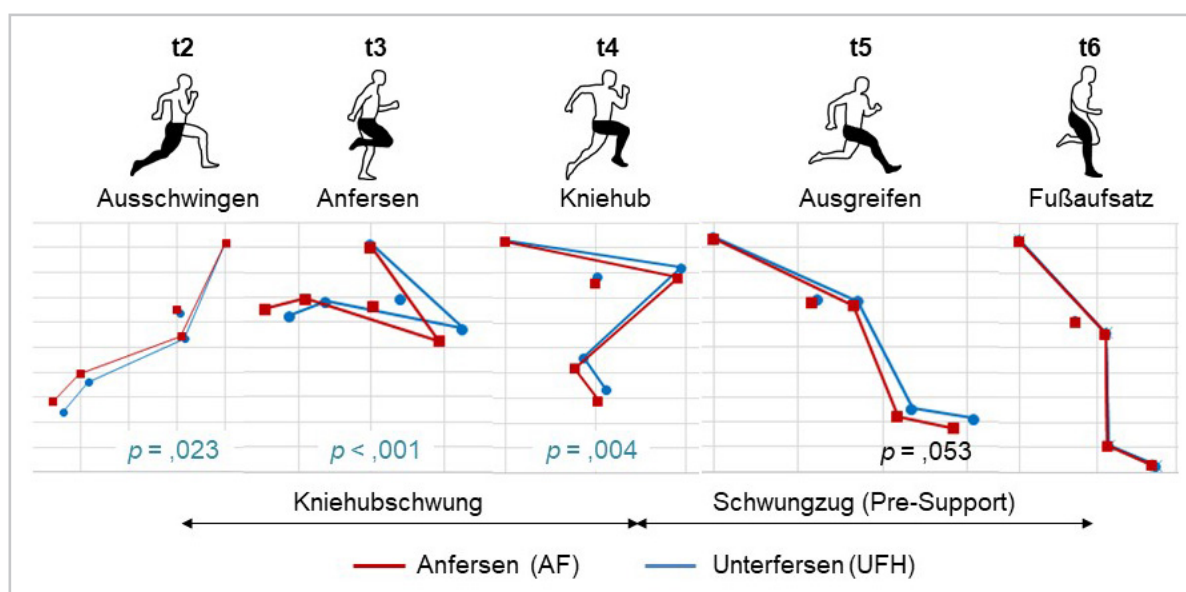


Abb. 2: Vergleich der Stellung des Schwungbeines und der Lage des Teilkörperschwerpunktes des Schwungbeines bezogen auf den Hüftpunkt in den Events t2 - t6. Die p-Werte zeigen Unterschiede im Beinwinkel.

Die mittlere Winkelgeschwindigkeit des Beines differierte in den verschiedenen Teilphasen der Schwungbeinbewegung beider Gruppen. Die Gruppe UF realisierte während des Anfersens und Pre-supports eine größere Winkelgeschwindigkeit, aber geringere Werte während des Kniehubs als die Gruppe AF (Tab. 2).

gen Kniewinkel in die Ausgangsposition vor dem Körper zurückzubringen (Strüder, Jonath & Scholz, 2017). Diese Anforderungen können widersprüchlich für die Schwungbeinbewegung gedeutet werden. Die Schwungbeinbewegung ist sowohl Teil der Back-side als auch der Front-side Mechanics und verbindet die beiden Pha-

Tab. 2: Vergleich der Winkelgeschwindigkeit des Schwungbeines beider Gruppen in den Phasen der Schwungbeinbewegung, negative Werte der Winkelgeschwindigkeit = Flexion, positive Werte der Winkelgeschwindigkeit = Extension.

Phase	Winkelgeschwindigkeit des Schwungbeines [°/s]		p-Wert	Cohens d
	Unterfersen (N = 15)	Anfersen (N = 15)		
Anfersen (t2 - t3)	-463 ± 42	-430 ± 37	,032	-0,770
Kniehub (t3 - t4)	-432 ± 36	-464 ± 39	,030	0,780
Pre-Support (t4 - t6)	264 ± 32	241 ± 24	,039	0,750

Für das Massenträgheitsmoment sowie den Drehimpuls wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Schwungbeinvarianten gefunden.

Im Vergleich der Sprintgeschwindigkeit unterschieden sich beide Gruppen knapp nicht signifikant ( $p = 0,051$ ), wobei die Gruppe AF höhere Werte ( $10,23 \pm 0,24$  vs.  $10,03 \pm 0,3$  m/s) erreichte. Weder bei der Schrittlänge und Schrittfrequenz, noch bei der Bodenkontakt- und Flugzeit bestanden Gruppenunterschiede.

Die im Durchschnitt geringere Sprintgeschwindigkeit der Gruppe UF musste insofern relativiert werden, weil die sechs schnellsten Athletinnen und Athleten sich auf beide Gruppen (UF und AF) mit je drei Personen gleichermaßen verteilten. In der Gruppe UF waren jedoch mehr Athletinnen und Athleten mit „geringer“ Sprintgeschwindigkeit enthalten, sodass die mittlere Geschwindigkeit insgesamt geringer war.

## 4 Diskussion

In der Literatur wird mehrfach die Leistungswirksamkeit der Maximierung der Front-side Mechanics und der Minimierung der Back-side Mechanics betont (Mann & Murphy, 2018). Der Schwungbeinbewegung wird ebenfalls ein hohes Maß an Bedeutung zugewiesen, da es vorteilhaft ist, das Bein möglichst schnell mit einem gerin-

gen Kniewinkel in die Ausgangsposition vor dem Körper zurückzubringen (Strüder, Jonath & Scholz, 2017). Diese Anforderungen können widersprüchlich für die Schwungbeinbewegung gedeutet werden. Die Schwungbeinbewegung ist sowohl Teil der Back-side als auch der Front-side Mechanics und verbindet die beiden Pha-

sen miteinander. Dabei stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen einer Minimierung der Back-side Mechanics und Optimierung der Front-side Mechanics. Die Hypothese 1 zu den Varianten der Schwungbeinbewegung konnte nur zum Teil verifiziert werden. Wie erwartet, führte das Unterfersen zu einem geringeren Beinwinkel während der Schwungbeinbewegung und war mit einer höheren Flexionsgeschwindigkeit während des Anfersens assoziiert. Jedoch realisierte die Gruppe AF trotz größerem Beinwinkel eine höhere Flexionsgeschwindigkeit des Beines während des Kniehubschwunges. Diese höhere Flexionsgeschwindigkeit wurde so nicht erwartet. Die Gruppe AF kompensierte den größeren Drehwiderstand, indem sie die Amplitude der Beinbewegung verringerte und einen tendenziell größeren Drehimpuls erzeugte. Dabei wurde der Oberschenkel am Ende des Kniehubschwunges nicht soweit nach oben geführt wie bei der Gruppe UF.

Im Pre-Support erreichte, wie hypothetisch angenommen, die Gruppe UF die höhere Beinextensionsgeschwindigkeit mit tendenziell höherem Drehimpuls und damit günstigere Bedingungen für die Erzeugung einer hohen Rückschwunggeschwindigkeit des Fußes vor dem Bodenkontakt. Hier wirkte sich die größere



Bewegungsamplitude des Schwungbeines auf die Beinextension aus, sodass über den längeren Winkelweg höhere Winkelgeschwindigkeiten realisiert werden, ohne die Zeitdauer für den Pre-Support zu verlängern.

Die Hypothese 2 wurde nicht bestätigt, denn es bestanden keine signifikanten Unterschiede in der Sprintgeschwindigkeit und der Bodenkontaktzeit zwischen den beiden Gruppen. Die sechs schnellsten Sprinterinnen und Sprinter teilten sich gleichermaßen auf die beiden Gruppen (jeweils drei Athletinnen und Athleten) auf. Die tendenziell geringere mittlere Sprintgeschwindigkeit der Gruppe UF erklärte sich aus der höheren Anzahl an Sprinterinnen und Sprintern mit einer „geringen“ Geschwindigkeit. Für die „Spitzengeschwindigkeit“ der Juniorensprinterinnen und -sprinter konnte somit kein klarer Vorteil einer Schwungbeinvariante gezeigt werden.

Mit dem Betreuungsprojekt 2018/19 wurde das Modell der Schwung-Zug-Technik mit der Analyse des Schwungbeines erweitert. Obwohl das Unterfernen aus biomechanischer Sicht Vorteile gegenüber dem Anfernen zeigt, treten beide Varianten bei den schnellsten Nachwuchssprinterinnen und -sprintern auf. Ein wesentlicher Ansatz zur Veränderung der Schwungbeinbewegung liegt in der Minimierung des Ausschwingens des Schwungbeines hinter dem Körper (Back side) zugunsten der Schwungbeinbewegung vor dem Körper (Front side) mit einem schnellen Vorhoch-Schwingen des Schwungbeines.

Handlungsbedarf zur Veränderung der Schwungbeinbewegung besteht bei Vorliegen einer Kombination von hohem Anfernen mit großem Massenträgheitsmoment, geringer Winkelgeschwindigkeit (Flexion und Extension) des Schwungbeines und geringer Fußaufsatzgeschwindigkeit im Schwungzug.

Bei Ausführen des Unterfernsens ist darauf zu achten, dass die Bewegungsumkehr vom Kniehub in den Schwungzug ohne Pause erfolgt. Das Schwungbeinknie darf nicht am Ende des Kniehubs verharren. Die Unterschiede zwischen beiden Schwungbeinvarianten lassen sich im Video gut beobachten und dadurch eine Zuordnung der einzelnen Athletinnen und Athleten zur jeweiligen Gruppe hohes Anfernen oder Unterfernen vornehmen.

## 5 Literatur

- Hochmuth, G. (1982). *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. (5. Aufl.). Sportverlag.
- Mann, R., & Murphy, A. (2018). *The mechanics of sprinting and hurdling*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Mattes, K., Winnicker, C., & Wolff, S. (2019). Hohes An- oder Unterfernen? Vergleich der Schwungbeinbewegung bei Nachwuchssprintern. *Leichtathletiktraining*, 1(19).
- Mattes, K., Manzer, S., & Buckwitz, R. (2018). Überprüfung eines Modells zur „Schwung-Zug-Technik“ mit maximaler Sprintgeschwindigkeit. In K. Isermann, & P. Wastl (Hrsg.), *Leichtathletik in Training, Wettkampf und Ausbildung*, 12. Tagung der dvs-Kommission Leichtathletik (17.-18.06.16, Kassel, Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft), Czwalina.
- Mattes, K., & Manzer, S. (2017). Was zeichnet schnelle Sprinter aus? *Leichtathletiktraining*, 12(18).
- Strüder, H. K., Jonath, U., & Scholz, K. (2017). *Leichtathletik: Trainings- und Bewegungswissenschaft – Theorie und Praxis aller Disziplinen*. Sportverlag Strauß.





# Konditionelles Anforderungsprofil Blindenfußball

(AZ 071604/19)

Lucas Röleke<sup>1</sup>, Renate M. Leithäuser<sup>1</sup>, Martin Mania<sup>1</sup>, Daniel Jacko<sup>2</sup>  
& Ralph Beneke<sup>1</sup> (Projektleitung)

<sup>1</sup>Philipps-Universität Marburg, Institut für Sportwissenschaften und Motologie,  
Bereich Medizin, Training und Gesundheit

<sup>2</sup>OSP Rheinland

## 1 Problem / Hintergrund des Transferprojekts

Blindenfußball wird in einer Form des 5-a-side Kleinfeldfußballs gespielt. Im internationalen Wettbewerb darf diese paralympische Sportart nur von blinden Athletinnen und Athleten der Klassifizierung B1 gespielt werden (IBSA Blind Football Rulebook). Im nationalen Kontext sind auch Sportlerinnen und Sportler mit einer Klassifizierung von B2-B4 zugelassen. Der Blindenfußball weist im internationalen Vergleich mit anderen Sportarten im Zuge der Vorbereitung auf die paralympischen Spiele 2020 in Tokyo einen sehr hohen Forschungsbedarf auf (Magness, 2017).

Kenntnisse der sportartspezifischen Belastung und Beanspruchung sind eine wesentliche Voraussetzung zur gezielten konditionellen Vorbereitung von Sportlern bzw. Sportlerinnen. In kontinuierlichen Teamsitzungen im Rahmen von und auch außerhalb von Leistungslehrgängen der Blindenfußball Nationalmannschaft wurde mit Cheftrainer Peter Gößmann, seinem Assistententrainerteam, dem Teammanager und der Projektleitung der Bedarf eines konditionellen Anforderungsprofils für die Sportart Blindenfußball aufgezeigt. Somit verfolgte dieses Projekt die konkrete Ausarbeitung konditioneller Anforderungsprofile zur besseren Steuerung der konditionellen Vorbereitung. Außerdem wird ein Einfluss auf spieltaktische Aspekte erwartet.

In diesem Kontext beinhaltet das Projekt die folgenden Inhalte:

- › Analyse von Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofilen beim Blindenfußball auf internationalem und nationalem Niveau,
- › Situative Einordnung dieser Befunde durch zusätzliche, zeitgleiche Videodokumentation der Spiele.

## 2 Methode

Die Zielgruppen des Gesamtprojektes sind primär der Kader der Blindenfußball Nationalmannschaft sowie sekundär die Mannschaften der Blindenfußballbundesliga. Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofile wurden via hochfrequenter GPS-Messungen und Akzellerometrie beim Blindenfußball auf internationalem (Länderspiele) und nationalem Niveau (Bundesligaspiele) gemessen. Zur situativen und mannschaftstaktischen Einordnung dieser Befunde wurden zusätzlich zeitsynchrone Videodokumentationen genutzt.

Internationale Daten wurden bei Spielen der deutschen Blindenfußballnationalmannschaft im Rahmen der Vorbereitung auf die Blindenfußball Europameisterschaft 2019 sowie bei der Europameisterschaft selbst erhoben. Nationale Befunde wurden bei Spielen der Blindenfußballbundesliga gemessen. Das methodische Vorgehen entspricht internationalen Standards im Sehenden-Fußball und Rugby.

Im Zeitraum 05-08/19 wurden Daten an 5 Bundesligaspieltagen (in Turnierform) sowie bei 5 Nationalmannschaftsspielen gegen Russland, Spanien, Italien, Rumänien und Marokko erhoben. Die Geschwindigkeitsdaten wurden mittels GPS (EXELIO srl, GPEXE PRO, Version M03, Udine, Italy) mit 18,18 Hz erfasst. Die Full-HD Videodokumentation erfolgte mittels Canon (Legria HF G30, Tokio, Japan) mit 50 FPS. In dieser Phase erfolgte eine Rückmeldung der im Spiel gelaufenen Strecken an Trainer und teilnehmende Spieler der Bundesligaverein. Innerhalb des Projektteams wurden im Hinblick auf die EM 2019 mannschaftstaktische Maßnahmen sowie Handlungsweisen (Maßnahmen) zur zielgerichteten konditionellen Vorbereitung erarbeitet.

In der zweiten Projektphase lag der Schwerpunkt auf der Anwendung der soeben beschriebenen Maßnahmen. Dies erfolgte vor und während der EM 2019. Außerdem wurde die Datenaufnahme während der EM 2019 fortgesetzt. Nach der EM befasste sich das Projektteam mit der Verbesserung von Auswertungsalgorithmen und der weiteren Datenauswertung.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

In der Blindenfußballbundesliga legen Nationalspieler pro Spiel eine mittlere Strecke von  $3,3 \pm 0,37$  km (Spanne 1,7-4,4 km) zurück. In diese Analyse wurden nur Datensätze von Spielen einbezogen, in denen die Spieler die gesamte Spielzeit, d. h. 2 x 20 Minuten Nettospielzeit, absolviert haben.

Auf der Position des zentralen Verteidigers wurden insgesamt 26 Datensätze von 3 verschiedenen Spielern ausgewertet. Auf der Position des zentralen Mittelfeldspielers 16 Datensätze von 2 verschiedenen Spielern und bei den Flügelspielern 26 Datensätze von 4 verschiedenen Spielern. Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte, dass sich die gelaufenen Strecken der verschiedenen Spielpositionen unterschieden ( $p < .05$ ). Die Post-hoc Analyse ergab, dass die gelaufene Strecke bei den zentralen Verteidigern ( $MW \pm SD = 2,9 \pm 0,41$  km, Spanne 1,7-3,6 km) signifikant geringer ist als bei den zentralen Mittelfeldspielern ( $MW \pm SD = 3,7 \pm 0,43$  km, Spanne 3,1-4,4 km;  $p < .05$ ) und Flügelspielern ( $MW \pm$

$SD = 3,4 \pm 0,28$  km, Spanne 2,9 – 4,4 km;  $p < .05$ ). Ein signifikanter Unterschied zwischen zentralen Mittelfeldspielern und den Flügelspielern ( $p > .05$ ) war hingegen nicht nachweisbar.

Ein klarer Unterschied ist zwischen der durchschnittlichen Laufleistung der Nationalspieler in der Bundesliga und der Nationalspieler bei der EM 2019 zu erkennen. Bei der EM legten die Spieler über alle Positionen hinweg eine mittlere Laufstrecke von  $4,5 \pm 0,4$  km zurück (Spanne 3,8-5,2 km). Diese Strecke ist signifikant höher als die Strecke in der Blindenfußballbundesliga ( $p < .05$ ). In die Auswertung sind insgesamt nur 11 Datensätze eingeflossen (4 zentraler Verteidiger, 2 zentraler Mittelfeldspieler, 5 Flügelspieler). Die geringe Anzahl an Datensätzen ist zum einen mit nur insgesamt 5 Spielen der deutschen Blindenfußballnationalmannschaft bei der EM 2019 zu begründen. Zum anderen wurde insbesondere im zentralen Mittelfeld und auf den Flügeln viel gewechselt, wodurch nur wenige Spieler durchgespielt haben (Die Begründung für das erhöhte Wechselaufkommen ist in Abschnitt 4 unter mannschaftstaktischen Maßnahmen zusammengefasst). Auf der Position des zentralen Verteidigers wurde während der EM 2019 eine deutlich höhere Strecke zurückgelegt als in der Bundesliga ( $p < .05$ ), die Spannweite der zurückgelegten Strecke liegt hier bei 3,8-4,4 km. Mit der größten gelaufenen Distanz von 5,2 km sticht die Position des Flügelspielers klar heraus. Tab. 1 zeigt, dass die Gesamtdistanz auf den einzelnen Spielpositionen in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen zurückgelegt wird. Die Laufstrecken nach Geschwindigkeiten geordnet unterschieden sich in allen Geschwindigkeiten zwischen zentralen Verteidigern und zentralen Mittelfeldspielern (Ausnahme 0,5-1,5 m/s) sowie zwischen zentralen Verteidigern und Flügelspielern signifikant. Zwischen den zentralen Mittelfeldspielern und den Flügelspielern unterscheiden sich nur die Laufstrecken der Geschwindigkeiten 0-0,5 m/s und 0,5-1,5 m/s signifikant voneinander. Auf allen Positionen wird in der Geschwindigkeit von 0,5-1,5 m/s die größte Strecke zurückgelegt. Die geringste Strecke wird in einer Geschwindigkeit von über 6,5 m/s zurückgelegt; diese liegt bei den zentralen Verteidigern im Mittel bei 4 m, bei den zentralen Mittelfeldspielern im Mittel bei 7 m und

bei den Flügelspielern im Mittel bei 5 m. Diese Strecken sind zu vernachlässigen und wurden daher in Tab. 1 nicht aufgeführt.

Es ist anzumerken, dass einer der zentralen Mittelfeldspieler keine Strecke über einer Geschwindigkeit von 5,5 m/s gelaufen ist.

kritischen Abwehrsituationen. Diese Erkenntnisse führten dazu, dass während der Spiele der deutschen Nationalmannschaft bei der EM 2019 deutlich häufiger gewechselt wurde als dies bisher der Fall war.

Tab. 1: Laufstrecken der einzelnen Positionen nach Laufgeschwindigkeit geordnet

	Strecke [km] mit v 0 – 0,5 [m/s]	Strecke [km] mit v 0,5 – 1,5 [m/s]	Strecke [km] mit v 1,5 – 2,5 [m/s]	Strecke [km] mit v 2,5 – 3,5 [m/s]	Strecke [km] mit v 3,5 – 4,5 [m/s]	Strecke [km] mit v 4,5 – 5,5 [m/s]
zentrale Verteidiger	0,29 <sup>1,2</sup>	1,26 <sup>2</sup>	0,71 <sup>1,2</sup>	0,44 <sup>1,2</sup>	0,17 <sup>1,2</sup>	0,03 <sup>1,2</sup>
zentrale Mittelfeldspieler	0,27 <sup>2,3</sup>	1,36 <sup>2</sup>	0,86 <sup>3</sup>	0,80 <sup>3</sup>	0,36 <sup>3</sup>	0,05 <sup>3</sup>
Flügelspieler	0,23 <sup>1,3</sup>	1,15 <sup>1,3</sup>	0,94 <sup>3</sup>	0,74 <sup>3</sup>	0,32 <sup>3</sup>	0,07 <sup>3</sup>

1 = signifikanter Unterschied mit  $p < .05$  zu zentralem Mittelfeldspieler

2 = signifikanter Unterschied mit  $p < .05$  zum Flügelspieler

3 = signifikanter Unterschied mit  $p < .05$  zu zentralem Verteidiger

Trotz vorläufiger Auswertung ist ein wesentlicher Unterschied zwischen den Laufstrecken der Nationalspieler in der Blindenfußballbundesliga und der EM 2019 zu erkennen. Dieser ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das höhere Niveau internationaler Wettkämpfe zurückzuführen. Es könnte allerdings auch motivationale und konditionelle Aspekte beinhalten, da die Blindenfußballbundesliga in der Regel in Turnierform stattfindet. Hier hat jede Mannschaft in 2 Tagen 3 Spiele.

## 4 Transfermaßnahmen

Die bisherigen Ergebnisse führten bereits zu umfangreichen Transfermaßnahmen hinsichtlich der konditionellen Vorbereitung sowie mannschaftstaktischer Maßnahmen.

### 4.1 Mannschaftstaktische Maßnahmen

Die Forschung zum Anforderungsprofil Blindenfußball hat gezeigt, dass die Fitnessanforderungen an die Spielerinnen und Spieler ziemlich hoch sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in Abhängigkeit von der Spielposition und Mannschaftstaktik, die körperliche Belastung unabhängig vom individuellen Fitnessniveau einzelner Leistungsträger war. Diese extreme Beanspruchung konditionell schwächerer Spieler erklärte in Endphasen einzelner Begegnungen spielentscheidende Fehler speziell in

Die Analyse der Laufstrecken und Videoaufnahmen der Spiele der Blindenfußballbundesliga zeigten, dass einige Nationalspieler nicht in der Lage waren, das gesamte Spiel auf höchstem Niveau zu spielen (dies wurde anhand einer qualitativen Analyse der Schlussphasen der verschiedenen Blindenfußballspiele festgestellt). Daher wurden vom Projektteam in Kooperation mit den verantwortlichen Bundestrainern praktisch Handlungskonzepte entwickelt, in welchen Phasen Spielerwechsel sinnvoll sein könnten. Hier wurde durch das Trainerteam vor allem auf die Gefahr der Neueinstellung auf ein anderes Teammitglied im laufenden Spiel hingewiesen, da im Blindenfußball beispielsweise die Kommunikation untereinander einen entscheidenden Stellenwert für den Spielerfolg besitzt. Daher wurden zu dieser Thematik insbesondere im abschließenden Vorbereitungslehrgang auf die EM 2019 verschiedene Übungsformen und Aufgaben gestellt. Diese bestanden zum einen aus der praktischen Umsetzung in Spielsituationen und dem Spiel selbst, sowie mit der kritischen Auseinandersetzung angewandter Spielstrategien im Nachgang.

### 4.2 Konditionelle Vorbereitung

Die konditionelle Vorbereitung lässt sich in zwei wesentliche Phasen untergliedern. Die 1. Phase begann mit dem Vorbereitungslehrgang im Juli. Hier wurde zu Beginn ein an Blindenfußballer

angepasster YoYo Intermittent Recovery Test 1 durchgeführt, der bereits Bestandteil einer in einem früheren Projekt entwickelten Testbatterie war (AZ 072007/18). Auf der Grundlage dieser Ergebnisse sowie der spezifischen Anforderungen an die Spieler auf den unterschiedlichen Positionen wurden Trainingsempfehlungen für das Training am Wohnort entwickelt. Diese wurden den Spielern während des Trainingslagers in Einzelgesprächen vermittelt.

Die unmittelbaren Trainingsempfehlungen erstreckten sich dabei auf die Verbesserung der Blindenfußballspezifischen Ausdauerleistung in der Phase von Juli 2019 bis zum Beginn der EM 2019 (Mitte September). Bei einigen Spielern mit einem eher geringen Fitnessstand wurde lediglich Training zur Verbesserung der aeroben Ausdauerleistung empfohlen. Für die Flügel- und zentralen Mittelfeldspieler standen zudem einige Lauftrainingsvarianten mit wechselnden Geschwindigkeiten zur Steigerung der Dynamik von Tempowechseln auf dem Trainingsplan. Dies diente der Vorbereitung auf die Strecken, die mit einer Geschwindigkeit von 2,5-4,5 m/s im Spiel zurückgelegt werden.

Die 2. Phase begann mit Abschließen der EM. Ziel war es hier, die lange Phase der Wintervorbereitung gezielt zu nutzen, um die konditionelle Leistung der Spieler nach einer Regenerationsphase in Hinblick auf das Fußballjahr 2020 zu verbessern. Von diesen Maßnahmen erhoffen sich der Trainerstab und das Projektteam eine gezielte Verbesserung der konditionellen Voraussetzungen als Grundlage der Weiterentwicklung der gesamten Mannschaftsleistung.

Insgesamt haben sich aus den bisherigen Ergebnissen weitreichende Maßnahmen zur Umsetzung in die Praxis ergeben. Dies betrifft sowohl mannschaftstaktische als auch konditionelle Aspekte. Aus den konditionellen Aspekten geht auch die klare Notwendigkeit der Erfassung der Ausdauerleistung durch eine blindenfußballspezifische Leistungsdiagnostik hervor.

## 5 Literatur

- IBSA Blind Football Rulebook 2017-2021 (B1-Category) revised 3-1-2017. <http://www.ibsasport.org/sports/football/rules/>
- Magnes, S. (2017). Rio 2016: Olympic and Paralympic Sports Medicine Strategies and Lessons Learned for Tokyo 2020. *ACSM 64th Annual Meeting*, Denver, 01.06.2017.



# Übertragbarkeit digitaler Technologien in die Monoski-Schalenfertigung zur individualisierten Schalen-gestaltung

(AZ 071605/19)

Maren Goll<sup>1</sup>, Volker Junior<sup>2</sup>, Emil Wörgötter<sup>2</sup>, Maïke Hujara<sup>3</sup> & Peter Spitzenpfeil<sup>1</sup>(Projektleitung)

<sup>1</sup>Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften,  
Angewandte Sportwissenschaft

<sup>2</sup>phoenix GmbH & Co. KG

<sup>3</sup>Deutscher Behindertensportverband (DBS) /Deutsches Para Skiteam Alpin

## 1 Problem

Basierend auf den Erfahrungen, die durch das vorausgegangene Innovationsprojekt „Entwickeln einer digitalen Prozesskette für das Anfertigen von Monoski-Sitzschalen auf Basis von 3D-Scan und 3D-Druck“ gesammelt werden konnten, ergaben sich neue Ansätze, die durch Transfer die Weiterentwicklung der Schalenanpassung verfolgten und sich dabei an den individuellen Körperformen der Athleten ausrichten.

Die Bedeutung der passenden Sitzschale als essentieller Faktor für erfolgreiches Monoskifahren ist bereits im vorangegangenen Projekt erläutert worden, da sie die Schnittstelle von Mensch und Sportgerät darstellt, deren Wichtigkeit am besten durch folgendes Zitat beschrieben wird:

*„Assistive equipment is fundamental for a person with a disability to participate and compete in winter sport activities. Although there have been improvements in the mechanical function of some assistive devices, the key issue is matching the residual function of the person with the assistive equipment.“*

(Burkett, 2012)

Im Bereich Para Ski alpin stellt die Sitzschale des Monoskis das Äquivalent zum Skischuh der stehenden Skirennläufer dar. In beiden Fällen ist die wichtigste Anforderung an die Schalen, dass sie die Bewegung der Aktiven direkt auf das Sportgerät übertragen.

Bei den Para-Aktiven der sitzenden Klasse mit individuell unterschiedlichen Funktionseinschränkungen der Bauch- und Rückenmuskulatur kommt der Sitzschale die gleiche Bedeutung zu. Hier ist es sogar noch wichtiger, die erzeugten Bewegungsimpulse direkt auf das Sportgerät zu übertragen. Die genaue Passform und die daraus resultierende direkte Kraftübertragung stellen demnach das wesentliche Kriterium der Sitzschale dar.

Obwohl das Problem der identischen Reproduktion einer bestehenden Schale durch das vorangegangene Projekt gelöst werden konnte, so bleibt dennoch die Frage offen, wie die Athletinnen und Athleten ursprünglich zu der Form ihrer momentanen Sitzschalen gelangt sind.

Aus Berichten der Aktiven geht hervor, dass viele Anpassungen durch Gipsabdrücke, gefolgt von einem iterativen Prozess des Auf- und Abtragens von Ausfüll-Schaum, realisiert wurden.

Kommerziell erhältliche Sitzschalen bieten Schalen symmetrischen Aufbaus in vordefinierten Breiten und Längen in 2-cm-Schritten an. Alle weiteren Anpassungen müssen durch ein Auffüllen mit Schaummaterial ausgeglichen werden. Somit ist Schaum letztendlich ein Kompensator für unzureichende Passform, was an sich noch nicht problematisch ist. Da das Füllmaterial allerdings die Kraftimpulse der Aktiven abdämpft und so einer effektiven Ansteuerung des Sportgeräts entgegensteht, sollte diese Art der Anpassung im Leistungssport vermieden werden.

Nach der erfolgreichen Unternehmung der digitalen Schalenreproduktion im vergangenen Projekt, ist der nächste logische Schritt die Fertigung von Schalen mittels digitaler Methoden 3D-Scan und 3D-Druck unter Miteinbeziehung der Körperformfassung im Hinblick auf eine individualisierte Schalengestaltung.

## 2 Methode

### 2.1 Körperformfassung durch Abformung in Versuchstand

Es wurde nach Analyse der Rahmengeometrie des Monoskigerätes ein individuell verstellbarer Versuchsstand angefertigt, der die Winkel in Hüfte und Knie des Athleten in sitzender Position im Sportgerät nachbilden kann. Zudem wurden verstellbare Seitenwände angebracht, die als Seitenbegrenzung und somit Widerstand für die Vakuumkissen (Mc Lean Rehathechnik, Duderstadt) dienen. Danach erfolgte die Positionierung des Athleten in Vakuumkissen in Versuchsstand.

### 2.2 Kontaktflächenerfassung bzw. Oberflächenerfassung digital

Es wurde ein digitaler Scan mit manuellem 3D-Scanner erstellt (Thor3D, Varshavskoe Sh. 33, Moscow, Russia), Auflösung in Software (Software Calibry Nest, Thor3D, Varshavskoe Sh. 33, Moscow, Russia).

### 2.3 Isolierung der Kontaktfläche als „Schale“

Es folgte das Post-processing der Daten (Gemoagic Wrap, 3D Systems (Rock Hill, South Carolina, USA) zu CAD-Modell.

### 2.4 Ableiten der Schalengeometrie und Bezug zum Sportgerät

Eine Schale wurde digital um die bestehende Körperform angepasst (Geomagic Wrap) gefolgt von der digitalen Anbindung an das Sportgerät / Positionierung der Anbindungsoptionen (Bohrungen, Adapter).

## 2.5 Digitale Anfertigung von Schalenteilen

Es folgten eine digitale Trennung der Anteile der Schalenwerkzeuge im Bereich Sitz-, Rücken-, Beinschale sowie die digitale Anbringung der Verbindungselemente der Schalenteile (Scharniere, fixe Verbindungen, etc.) der Werkzeugform (Schalenmodell.)

## 2.6 Fertigung Schalenwerkzeug

Abschließende Schritte waren der 3D-Druck des Schalenwerkzeugs in additivem Filamentdruckverfahren und das Umlaminieren mit geeignetem Werkstoff.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Körperformfassung durch Abformung in Versuchstand

Die Positionierung im Versuchsstand und in den Vakuumkissen wurde realisiert und so die Körperform im Vakuumkissen festgehalten (Abb. 1).



Abb.1: Versuchsstand mit Vakuum Kissen und Athlet (oben) und Abdruck nach Entfernung einer Seitenwand und Herausheben des Athleten (unten)

### 3.2 Kontaktflächenerfassung bzw. Oberflächenerfassung digital

Die abgebildete Körperform wurde im Anschluss mit dem verwendeten manuellen 3D-Scanner erfasst (Abb. 2).

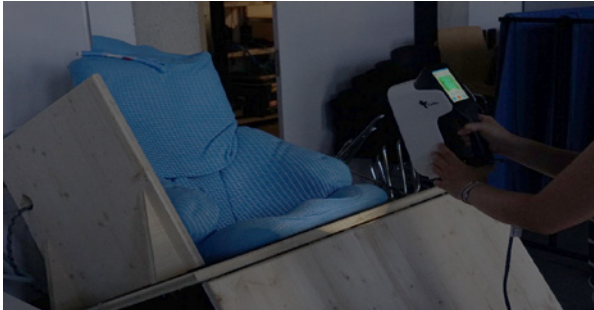


Abb. 2: Scanvorgang mit manuellem 3D-Scanner

### 3.3 Isolierung der Kontaktfläche als „Schale“

Ein Scan wurde erstellt mit und ohne Versuchsperson mit Bezugspunkten in der Vakuumform zum Abgleich der Abformung im Zustand mit (Abb. 3) bzw. ohne Athlet (Abb. 4).

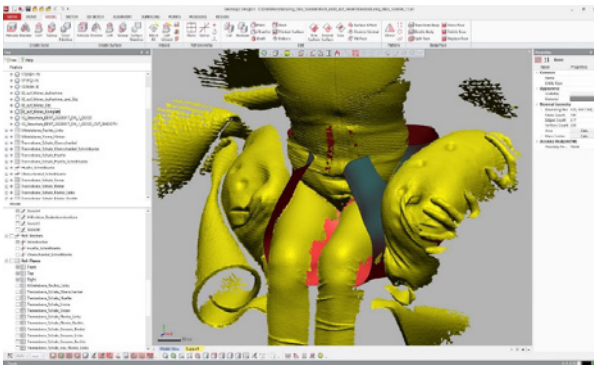


Abb. 3: Komplettscan mit Athlet

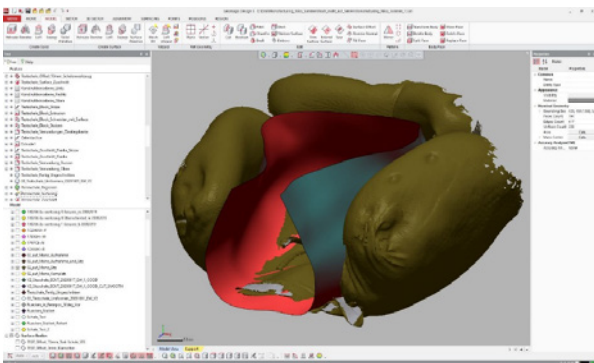


Abb. 4: Scan ohne Athlet, Darstellung der Kontaktfläche

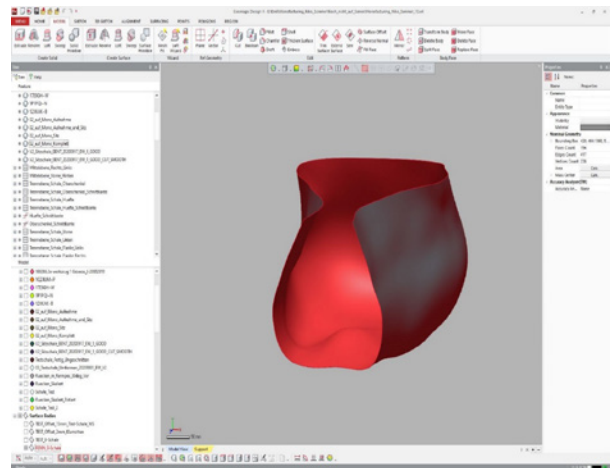


Abb. 5: Isolierung der resultierende Kontaktfläche als Schengeometrie

### 3.4 Ableiten der Schengeometrie und Bezug zum Sportgerät

In AP 4 wurden die computergestützten Konstruktionsschritte getätigt, die die Anbindungspunkte des Rückenteils (Rückenlehne) der Schale, sowie die Anbindungspunkte der Schale auf dem Sportgerät definieren. Orientierung gaben hierfür die jeweiligen Drehachsen, sowie die Begrenzung durch die Oberschenkelänge und das Sportgerät des Athleten (Abb. 6).

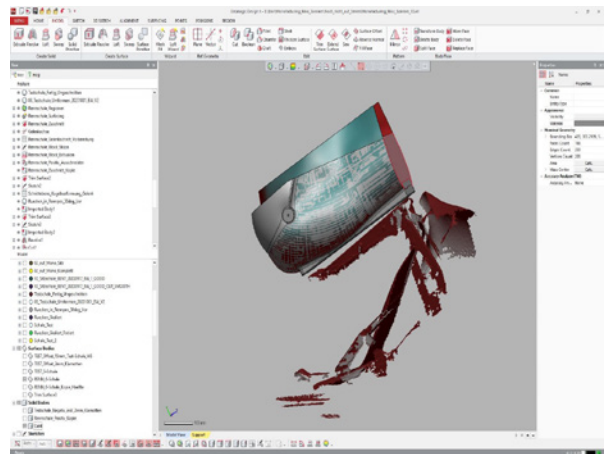


Abb. 6: Schengeometrie-Positionierung in Bezug zum Sportgerät



### 3.5 Digitale Anfertigung von Schalen- teilen

Die Feinanpassung wurde mit Hilfe von digitaler Modellierung (Geomagic Design X 3D-Systems, Rock Hill, South Carolina, USA) realisiert. Die Daten dieses so entstandenen digitalen Modells wurden in einen 3D-Drucker eingespeist (Abb. 7).

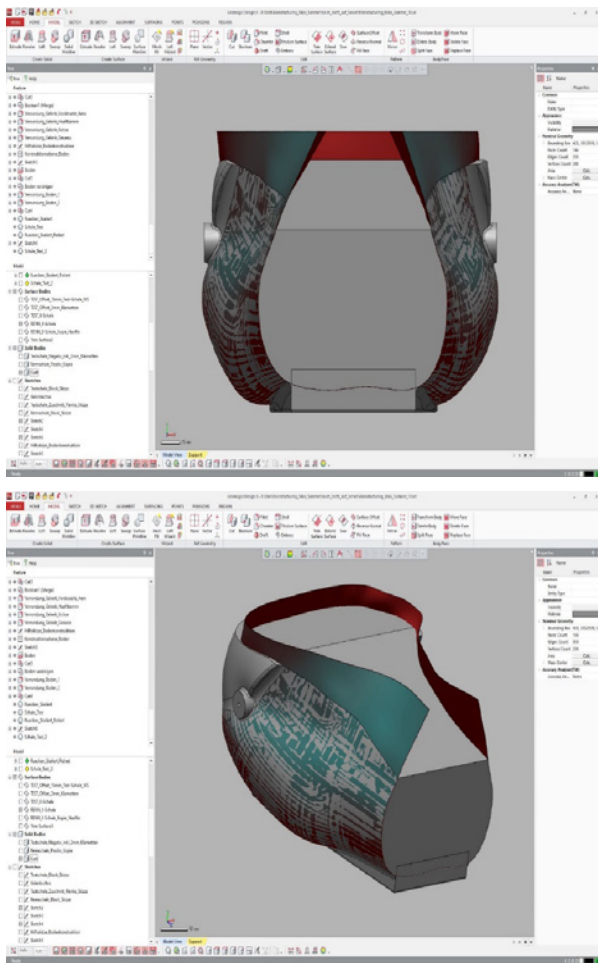


Abb. 7: Anbindungspunkte Rückenlehne (oben) und Definition der Höhe der Seitenwände, um ein Einsteigen noch zu gewährleisten (unten)

### 3.6 Fertigung Schalenwerkzeug zur weiteren Anlaminierung mit Carbon

Mit den eingespeisten Daten des digitalen Modells erfolgte der 3D-Druckvorgang, um das physische Schalenmodell zu erhalten.

Die Fertigung des Schalenwerkzeugs für ein Anlaminieren wurde abgeschlossen und dem Athleten zum Testen übergeben. Nach Probesitzen und Test auf Passform erfolgte die endgültige Fertigung der Schalenwerkzeuge (Abb. 8 und 9).

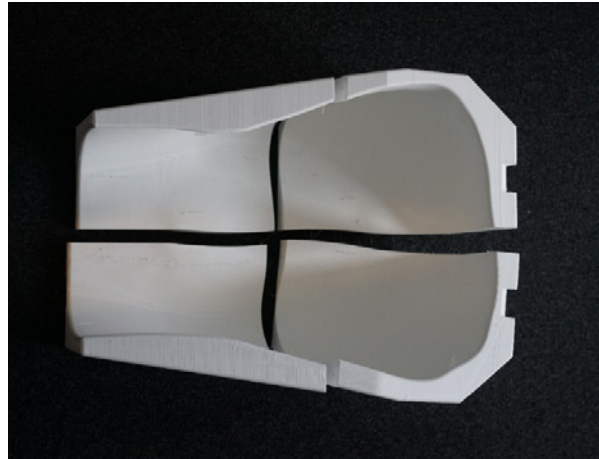


Abb. 8: Prototyp Schalenwerkzeug



Abb. 9: Fertiges Set an Schalenwerkzeug zur Carbonanlaminierung

## 4 Diskussion

Das Verfahren der 3D-Scan- und 3D-Druckbasierten Sitzschalenfertigung wurde erfolgreich umgesetzt und beinhaltet vielversprechende weitere Möglichkeiten der Anwendung. Deutlich wurde vor allem, dass der menschliche Körper in seinem Aufbau nicht symmetrisch ist. Diese Tatsache zeigte sich noch deutlicher bei der Betrachtung der Abformung des Sitzabdrucks. Athleten mit eingeschränkter Muskelfunktion können hierbei ganz erhebliche Unterschiede zwischen rechter und linker Seite aufweisen, allerdings auch in der Tiefe des Abdrucks, bspw. durch Rotation des Beckens.

Die hier verwendete Methode kann diesen Aspekt erfassen, darstellen und im anschließenden Druck passend anfertigen, was für den Bereich des Leistungssportes von Interesse ist, da der Bereich der Kraftübertragung ein ganz wesentlicher Punkt ist bei allen Sportarten, die mit einem Sportgerät verbunden sind. Auch die individuelle Gestaltung der Sitzfläche (in ebenen Schalen verbleiben Hohlräume z. B. zwischen den Oberschenkeln) scheint sich sehr positiv auszuwirken, da die Kontaktfläche vergrößert wurde und damit Widerstandsflächen bzw. Widerlager (zum Beispiel hier in gekanteter Position) entstanden sind.

Insbesondere die Sportarten, in denen Sportgeräte mit Sitzschalen zum Einsatz kommen, können in hohem Maße von einer individualisierten Schalenfertigung profitieren. Ein Transfer des hiermit entwickelten Konzepts könnte neue Optionen für die betreffenden Sportarten aufzeigen.

## 5 Literatur

Burkett, B. (2012). Paralympic sports medicine – current evidence in winter sport: considerations in the development of equipment standards for paralympic athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(1), 46-50.





# Biomechanische Diagnostik mit dem neuen Mobil- Messsystem 2020 und Sonifikation von Parametern der dreidimensionalen Boots- bewegung im Nach- wuchstraining (U23 und U19-Juniorennational- mannschaft 2019)

(AZ 071603/19-20)

Klaus Mattes (Projektleitung), Martin Reischmann, Stefanie Wolff, Nina Schaffert  
& Björn Losekamm

Universität Hamburg, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft

## 1 Problemstellung

In Vorbereitung auf die Juniorenweltmeisterschaften (JWM) finden jährlich Selektionsuntersuchungen zur Auswahl der Crewbesatzungen für die Groß- und Mittelboote (Vierer und Achter) statt. Die individuelle Ruderleistung und -technik wird dabei mittels eines standardisierten Testprotokolls (Schlagfrequenzstufentest und simuliertes 2000-m-Rennen) im Rennboot erhoben und nach bootklassenspezifischen Kriterien bewertet. Auf dieser Basis wird ein Ranking zur Ruderleistung und -technik im Rennboot erstellt, das neben Regattaergebnissen sowie Befunden aus leistungsphysiologischen Tests eine Grundlage für die Auswahlentscheidung durch die Trainer bildet.

In der anschließenden unmittelbaren Wettkampfvorbereitung (UWV) auf die JWM müssen in vergleichsweise kurzer Zeit die Ruderleistung und -technik optimiert und im Mannschaftsgefüge fein eingestellt werden, um international konkurrenzfähige Bootsbesatzungen zu formen. Mittels biomechanischen Feedbacktrainings im Rennboot kann dieser Prozess schnell und zielgerichtet gesteuert (Böhmert & Mattes, 2003; Schaffert & Mattes, 2015) und die Arbeit der Trainerrinnen und Trainer unterstützt werden. In die Diagnostik und das anschließende Feedbacktraining fließen die Ergebnisse vorangegangener Forschungsprojekte zur Sonifikation und dem akustischen Feedback im Wassertraining (Schaf-

fert & Mattes, 2016; Schaffert & Mattes, 2015) sowie zum Einfluss der Windrichtung (Mattes, et al., 2017) unmittelbar in die Trainingspraxis ein. Im Transferprojekt 2018-19 lag ein Schwerpunkt auf der Diagnostik der Boots-  
bewegung mit der sogenannten Basisstation des neuen mobilen Messsystem 2020 (MMS 2020) (Mattes et al., 2018). Im Weiteren werden sowohl Messergebnisse als auch Erfahrungen aus der Anwendung des Bootsgerätes als eigenständiges Messsystem zur Diagnostik von Stampfen, Gieren und Rollen des Bootes dargestellt.



Abb. 1: Basisstation (Bootsgerät) des MMS 2020

Die Basisstation (Synonym Bootsgerät) des MMS 2020 kann als eigenständiges Messsystem im Rennboot eingesetzt werden (Abb. 1). Das Bootsgerät verfügt über einen integrierten Bewegungssensor, der die 3-D Bootsbelegung erfasst. Dabei wird zwischen der Translation (Parallelverschiebung) des Bootes mit Bootsgeschwindigkeit und Bootsbeschleunigung sowie der Rotation des Bootes (Kreisbelegung um die drei Bootsachsen) mit Rollen (Rotation um die Längsachse), Gieren (Rotation um die Tiefenachse) und Stampfen (Rotation um die Breitenachse) unterschieden.

## 2 Methode

Trainingsfahrten mit dem neuen Bootsgerät wurden mit sämtlichen Groß- und Mittelbooten der Juniorennationalmannschaft durchgeführt (Tab. 1).

Tab. 1 Übersicht über die Stichprobe

Bootsklasse	Juniorinnen	Junioren		
	Boote	Platzierung JWM 2018	Boote	Platzierung JWM 2018
Riemenvierer mit Steuermann	-	-	JM4+	8. Platz
Riemenvierer ohne Steuermann	JF4-	7. Platz	JM4-	4. Platz
Doppelvierer	JF4x	2. Platz	JM4x	3. Platz
Achter	JF8+	4. Platz	JM8+	3. Platz

Die Bootsbesetzungen absolvierten innerhalb der Trainingseinheit ein festgelegtes Testprogramm von zweimal 1000 m mit Schlagfrequenz  $20 \pm 0,5$  Schl./min. Das neue Bootsgerät registrierte den Bootsweg mittels GPS ( $\pm 2$  cm), die Bootsbeschleunigung ( $\pm 0,05$  m/s<sup>2</sup>) sowie den Stampf-, Roll- und Gierwinkel (jeweils  $\pm 0,01^\circ$ ). Für die Schlagerkennung sowie die Detektion von Durchzug und Freilauf wurde die Bootsbeschleunigungs-Zeitkurve verwendet.

Zur Bestimmung der relativen und absoluten Reproduzierbarkeit wurde die erste 1000-m-EXA-Etappe herangezogen. Die relative Reproduzierbarkeit wurde mittels ICC(3.1) und die absolute Reproduzierbarkeit als Differenz der Einzelwerte der Messwiederholung berechnet. Die Normalverteilung und Varianzhomogenität wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test bzw. Levene-Test geprüft. Die mathematisch-statistische Auswertung erfolgt mit SPSS Version 21.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA.

## 3 Ergebnisse und Erfahrungen aus der Diagnostik

### 3.1 Stampfwinkel (Rotation des Bootes um die Breitenachse)

Die Stampfbewegung war abhängig von der Massenverschiebung der Sportlerin bzw. des Sportlers relativ zum Boot sowie von vertikalen Stemmbrett- und Blattkräften, wobei in der Vorlageposition das Heck und in der Rücklageposition der Bug des Bootes tiefer ins Wasser eintauchte. Die Stampfbewegung veränderte die benetzte Außenhaut des Bootes und erhöhte dadurch den Wasserwiderstand und die innerzyklische Schwankung der Bootsgeschwindigkeit. Die Reduktion der Stampfbewegung des Bootes stellt somit ein wesentliches Ziel des Wassertrainings dar.

Die Minima, Maxima und der Mittelwert des Stampfwinkels variierten über die Zyklenfolge der 1000-m-Strecke mit Schlagfrequenz 20 Schl./min. Trotz dieser permanenten Änderung des Stampfwinkels über die Zyklenfolge wurde ein typischer intrazyklischer Verlauf reproduziert (Abb. 2). Einzelne Ruderzyklen konnten jedoch von der typischen Charakteristik abweichen.

Da sich der Sensor auf dem Heck befand und aufgrund der Kalibration auf eine 0-Lage des Bootes an Land, zeigten positive Werte ein Anheben des Hecks und negative Werte ein Eintauchen (Absinken) des Hecks an. Das Maximum des Stampfwinkels wurde in der hinteren Bewegungsumkehr erreicht. Das Minimum des Stampfwinkels lag in der vorderen Bewegungsumkehr. Der Verlauf des Stampfwinkels erfolgte sowohl im Freilauf als auch im Durchzug nicht stetig, sondern wurde durch Plateaus unterbrochen. Die Ausprägung dieser Plateaus war mannschaftsspezifisch.

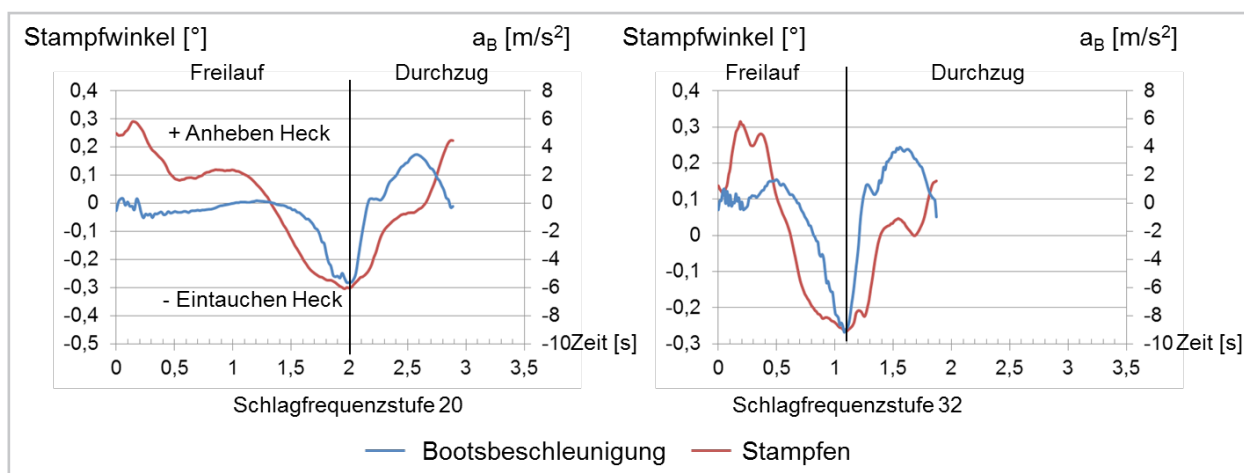


Abb. 2: Stampfwinkel-Zeit-Verlauf in zwei Schlagfrequenzstufen (20 und 32 Schl./min) als Mittelwert über 10 Ruderzyklen mit Kennzeichnung wichtiger Merkmale des Stampfwinkels.

Den wichtigsten Kennwert des Stampfwinkels bildet die Stampfwinkelamplitude während des Ruderzyklus, die möglichst klein ausfallen sollte. Die Stampfwinkelamplitude lag im Bereich von  $0,3$  bis  $1,0^\circ$  in Abhängigkeit von der Bootsklasse und Schlagfrequenz. Der Betrag der Stampfwinkelamplitude zeigte eine hohe absolute Reproduzierbarkeit von  $0,001$  bis  $0,02^\circ$ . Bei vergleichbaren Wetterbedingungen können Reduktionen der mittleren Stampfwinkelamplitude von größer als  $0,1^\circ$  als Verbesserung des Stampfens interpretiert werden.

### 3.2 Gierwinkel (Rotation des Bootes um die Tiefenachse)

Das Gieren wurde durch Seitenwind, asymmetrische Blattkräfte auf Back- und Steuerbord während des Durchzugs und bei Booten mit Steuerruder durch Kurskorrekturen mit dem Steuer verursacht. Das Gieren als Kursabweichung verlängerte die Fahrtstrecke bis zum Ziel und beeinträchtigte direkt die mittlere Bootsgeschwindigkeit. Eine falsche Trimmung des Bootes begünstigte ein ungewolltes Gieren. Zielstellung des Trainings ist folglich die Minimierung der Gierwinkelamplitude.

Besonders in steuerruderlosen Booten (1x, 2x und 4x) aber auch in den anderen Bootsklassen bedingten Seitenwind-Kurskorrekturen ein „Überziehen“ mit höheren Innenhebelkräften auf einer Bootsseite und führten zur asym-

metrischen Belastung der Sportlerin bzw. des Sportlers auf der Back- oder Steuerbordseite. Besonders bei Gegenwind traten solche asymmetrischen Belastungen auf. Lange Fahrstrecken mit permanentem Gegenwind von einer Bootsseite sollten folglich im Wassertraining vermieden werden. Bei solchen Bedingungen sollte häufiger die Fahrtrichtung gewechselt werden, um einseitige Mehrbelastungen zu mindern.

Der zyklische Verlauf des Gierwinkels zeigte Abschnitte mit Schrägfahrt, d. h. die Fahrt- oder Gierrichtung nach Steuer- oder Backbord blieb über mehrere Ruderzyklen gleich, um anschließend infolge von Kurskorrekturen in die andere Richtung zu drehen. Kurskorrekturen erfolgten über wenige Ruderzyklen (1-3).

Aufgrund der hohen Variabilität des zyklischen Verlaufs des Gierwinkels war eine Mittelwertbildung von begrenzter Aussagekraft und kann unter Umständen zu Fehlinterpretationen führen. Entsprechend empfiehlt es sich, die Lage von Minimum und Maximum des Gierwinkels von repräsentativen Ruderzyklen zu identifizieren und dieses Ergebnis mit der gemittelten Kurve zu vergleichen (Abb. 3). Im Beispiel zeigte der intrazyklische Verlauf des Gierwinkels ein Maximum mit Gierrichtung nach Backbord im Freilauf und ein Minimum mit Gierrichtung nach Steuerbord im Durchzug.

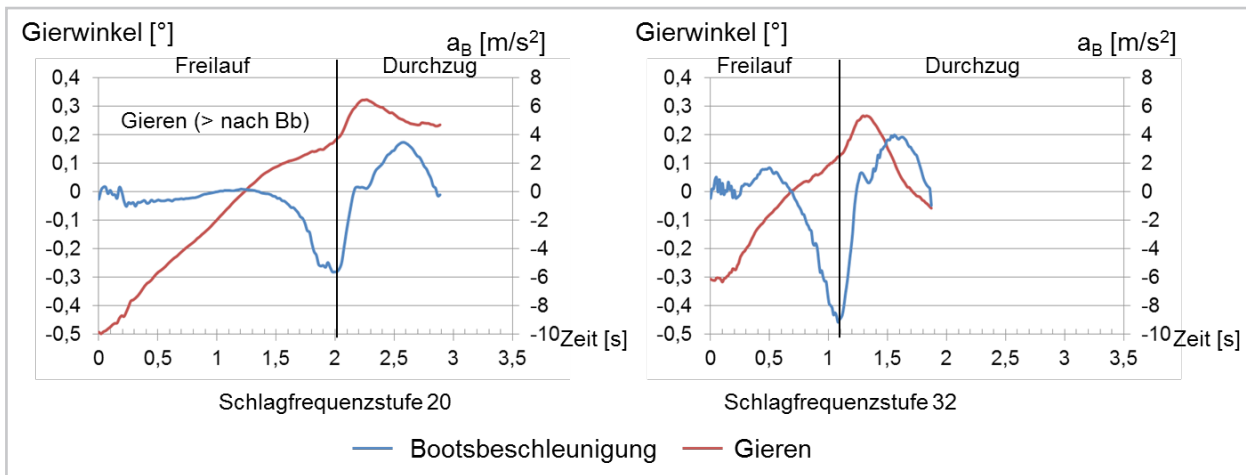


Abb. 3: Gierwinkel-Zeit-Verlauf in zwei Schlagfrequenzstufen (20 und 32 Schl./min) als Mittelwert über 10 Ruderzyklen.

Die Gierwinkelamplitude stellte den wichtigsten Kennwert des Gierwinkels dar und sollte möglichst klein ausfallen. Die Gierwinkelamplitude lag im Erwartungsbereich von  $0,5$  bis  $> 1,6^\circ$  in Abhängigkeit von der Bootsklasse und Schlagfrequenz. Der Betrag der Gierwinkelamplitude zeigte eine gute absolute Reproduzierbarkeit von  $< 0,01$  bis  $0,1^\circ$ . Bei vergleichbaren Wetterbedingungen können Reduktionen der mittleren Gierwinkelamplitude von größer als  $0,1^\circ$  als Verbesserung des Gierens interpretiert werden.

### 3.3 Rollwinkel (Rotation des Bootes um die Längsachse)

Das Rollen war abhängig von der Höhe der Körpermasse über dem Metazentrum des Bootes sowie dem Abweichen der Körpermasse der Sportlerinnen bzw. Sportler aus der Symmetrielinie des Bootes. Ungleiche Tauchtiefen der Blätter auf Back- und Steuerbord sowie ein „Hängebleiben“ beim Ausheben begünstigten ein Rollen des Bootes. Seitliche Wellen und Seitenwind trugen ebenfalls zur Rollbewegung bei. Die Rollbewegung des Bootes beeinflusste im Durchzug die Stellung der Ruderblätter im Wasser. Rollte das Boot nach Steuerbord, konnte das Ruderblatt auf der Backbordseite zum Teil aus dem Wasser gehoben werden, wodurch eine geringere Blattkraft resultierte. Umgekehrt wurden auf der Gegenseite die Tauchtiefe des Blattes und somit der Widerstand erhöht, wodurch die Gefahr des „Hängebleibens“ resultierte. Im

Freilauf konnte eine Rollbewegung des Bootes ein Aufschlagen der Blätter auf das Wasser verursachen und die Bootsgeschwindigkeit verringern.

Die Minima, Maxima und der Mittelwert des Rollwinkels variierten unsystematisch über die Zyklenfolge. Aufgrund der hohen Variabilität des zyklischen Verlaufs des Rollwinkels war eine Mittelwertbildung von begrenzter Aussagekraft und konnte unter Umständen zu Fehlinterpretationen führen. Entsprechend empfahl es sich, die Lage von Minimum und Maximum des Rollwinkels von repräsentativen Ruderzyklen zu identifizieren und dieses Ergebnis mit der gemittelten Kurve zu vergleichen (Abb. 4). Im Beispiel zeigte der intrazyklische Verlauf des Rollwinkels ein Minimum mit Rollen des Bootes nach Backbord im Freilauf und ein Maximum mit Rollen nach Steuerbord im Durchzug.

Den wichtigsten Kennwert des Rollwinkels bildete die Rollwinkelamplitude während des Ruderzyklus, die möglichst klein ausfallen sollte. Die Rollwinkelamplitude lag im Bereich von  $1,5$  bis  $> 3^\circ$  in Abhängigkeit von der Bootsklasse und Schlagfrequenz. Der Betrag der Rollwinkelamplitude zeigte eine geringe relative Reproduzierbarkeit, aber eine gute absolute Reproduzierbarkeit von  $< 0,001$  bis  $0,3^\circ$ . Bei vergleichbaren Wetterbedingungen können Reduktionen der mittleren Rollwinkelamplitude von größer als  $0,3^\circ$  als Verbesserung des Rollens interpretiert werden.



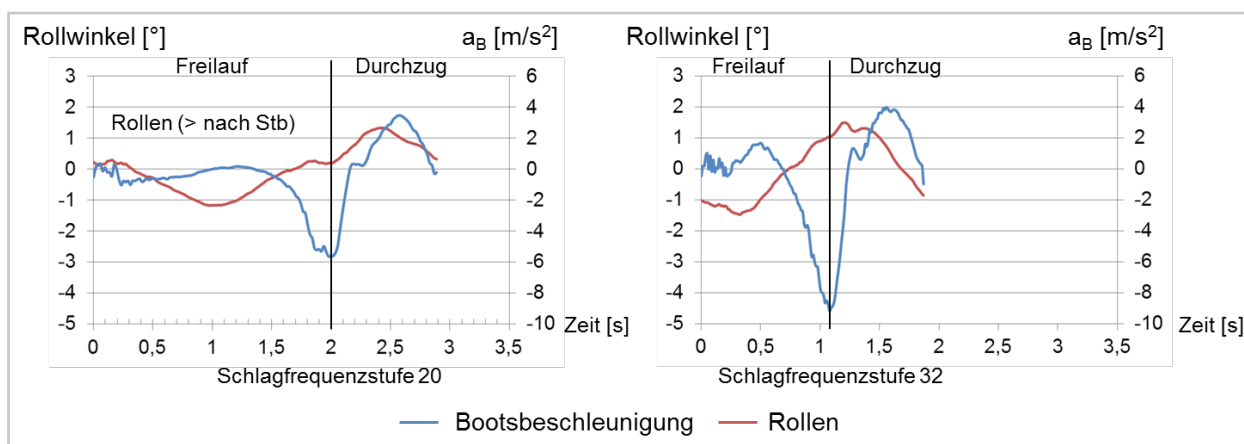


Abb. 4: Rollwinkel-Zeit-Verlauf in zwei Schlagfrequenzstufen (20 und 32 Schl./min) als Mittelwert über 10 Ruderzyklen.

## 4 Diskussion

Die Erfahrungen der vergangenen Jahre zeigen, dass sich die biomechanische Betreuung mit den eingesetzten Mess- und Feedbacksystemen im Deutschen Ruderverband bei der Selektion der Bootsbesetzungen und im Feedbacktraining bewährt hat und zu einem unverzichtbaren Bestandteil in der Formierung der Großboote und der Entwicklung leistungsfähiger Bootsklassen in Vorbereitung auf die JWM und internationalen Wettkampfhöhepunkte geworden ist. Der biomechanisch-trainingswissenschaftliche Hintergrund dieser Entwicklungen basiert auf Ergebnissen, die im Rahmen von Forschungsprojekten an der Universität Hamburg generiert wurden und deckt sich mit internationalen Ergebnissen (Baudouin & Hawkins, 2004; Hofmijster, Landmann & Van Soest, 2002; Kleshnev, 2010; Nolte, 2011). Die Erprobung und Evaluation der technischen Entwicklungen und deren Wirkung auf die Rudertechnik und -leistung erfolgten in der Trainingspraxis.

Im Transferprojekt 2019-20 wurde das Bootsggerät des MMS 2020 als eigenständiges Mess- und Auswertesystem verwendet. Die automatische Detektion der Ruderzyklen erfolgte anhand der Bootsbeschleunigungs-Zeitkurve (globales Minimum) und nicht über den Ruderwinkel bzw. die Ruderkraft. Auf dieser Grundlage wurden die Kennwerte (Minimum, Maximum, Amplitude oder Mittelwert) der Rotationsbewegungen des Bootes (Rollen, Gieren und Stammphen) für den jeweiligen Ruderschlag errechnet.

Die Ergebnisse erbrachten eine sehr hohe bis hohe absolute Reproduzierbarkeit der Testergebnisse für die mittlere Stampfamplitude. Ein Erklärungsansatz für dieses Ergebnis liegt in der Robustheit dieser Werte gegenüber Störgrößen. Das betrifft das zyklische Wiederholen der Stampfminima und -maxima im Ruderschlag infolge der Massenverschiebung der Mannschaft relativ zum Boot.

Dagegen erreichten der Roll- und Gierwinkel eine sehr hohe bis nur geringe Reproduzierbarkeit über die 1000-m-Testdistanz in Abhängigkeit von der Bootsbesetzung. Für den Gierwinkel kann als wesentliche Ursache für diese große Spannweite die Überlagerung von innerzyklischen und extrazyklischen Kursabweichungen angenommen werden. Dabei überlagern sich Kursabweichung und -korrektur innerhalb des Ruderzyklus mit Kurskorrekturen über mehrere Ruderschläge, um eine vorliegende Schrägfahrt auszugleichen. Die untersuchten Bootsbesetzungen realisierten dieses „Kurshalten“ unterschiedlich, sodass im Einzelfall eine sehr hohe oder nur geringe Reproduzierbarkeit resultierte. Das Rollen war durch einen typischen innerzyklischen Verlauf gekennzeichnet, der jedoch durch starke Rollamplituden einzelner Ruderzyklen unsystematisch überlagert wurde. Das Rollen des Bootes zu einer Seite bedingt Ausgleichsbewegungen, bis sich die Lage des Bootes wieder einschwingt („normalisiert“). Auch hier unterschieden sich die Bootsbesetzungen und damit auch die Reproduzierbarkeit der Rollwinkel.

Folglich dürfen in der Leistungsdiagnostik nicht nur die Mittelwerte insbesondere von Roll- und Gierwinkel über Etappen betrachtet werden, sondern zudem müssen der Verlauf über die Zyklenfolge sowie geeignete Streuungsmaße Berücksichtigung finden.

Die Ergebnisse belegen, dass die Basisstation als eigenständiges Mess- und Trainingssystem verwendet werden kann, insbesondere da sich die Schlägerkennung über markante Ereignisse im Beschleunigungs-Zeitverlauf als informativ und praktikabel erwies.

## 5 Literatur

- Baudouin, A., & Hawkins, D. (2004). Investigation of biomechanical factors affecting rowing performance. *Journal Biomechanics*, 37(7), 969-976.
- Böhmert, W., & Mattes, K. (2003). Biomechanische Objektivierung der Ruderbewegung im Rennboot. In W. Fritsch (Hrsg.), *Rudern – erfahren, erkunden, erforschen* (S. 163-172). Wirth-Verlag (Sport Media).
- Böhmert, W. (2009). Projektbeschreibung Ruder-messsystem des Instituts FES. Projektbeschreibung für das BISp. Berlin: FES.
- Hofmijster M. J., Landman, E. H., & Van Soest, A. J. (2007). Effect of stroke rate on the distribution of net mechanical power in rowing. *Journal of Sports Science*, 25(4), 403-411.
- Kleshnev, V. (2010). Boat acceleration, temporal structure of the stroke cycle, and effectiveness in rowing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, 224, 63-74.
- Mattes, K., Manzer, S., Reischmann, M., & Schaffert, N. (2017). Der Einfluss der Windrichtung auf das Gieren beim Skullen. *Leistungssport*, 47(4), 36-41.
- Mattes, K., Reischmann, M., Wolff, S., & Schaffert, N. (2018). Evaluation von Komponenten des neuen Mobilien Messsystems 2020 im Rennrudern. Teilbericht zur Evaluation der Bootsstation (Bootsgerät) zum BISp-Projekt IIA1-070801/18-19.
- Nolte, V. (2011). (Ed.) *Rowing faster. Serious Training for serious rowers*. 2nd ed. Human Kinetics.
- Schaffert, N., & Mattes, K. (2016). Influence of acoustic feedback on boat speed and crew synchronization in elite junior rowing. *International Journal of Sports Coaching*, 11(6), 832-845.
- Schaffert, N., & Mattes, K. (2015). Interactive Sonification in Rowing: An Application of Acoustic Feedback for On-Water Training. *IEEE MultiMedia*, 22(1), 58-67.

# Krafttraining im Nachwuchsleistungssport (KINGS-Studie)

(AZ 081901 14-18)

*Urs Granacher<sup>1</sup> (Projektleitung), Adamantios Arampatzis<sup>2</sup>, Michael Kellmann<sup>3</sup>, Bernd Wolfarth<sup>4</sup>, Georg Duda<sup>5</sup>, Holger Gabriel<sup>6</sup> & Christian Puta<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> Universität Potsdam, Forschungsschwerpunkt Kognitionswissenschaften,  
Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft

<sup>2</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Sportwissenschaft,  
Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften

<sup>3</sup> Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sportwissenschaft,  
Lehr- und Forschungsbereich Sportpsychologie

<sup>4</sup> Charité – Universitätsmedizin Berlin, Abteilung Sportmedizin

<sup>5</sup> Charité – Universitätsmedizin Berlin,  
Julius-Wolff-Institut für Biomechanik und Muskuloskelettale Regeneration

<sup>6</sup> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Sportwissenschaft,  
Lehrstuhl für Sportmedizin und Gesundheitsförderung

## 1 Problem

Die Relevanz des Krafttrainings im Nachwuchsleistungssport ist in der Sportpraxis seit vielen Jahren unbestritten. Insbesondere während des langfristigen Leistungsaufbaus zeigt sich, dass die Muskelkraft für die Leistungsentwicklung einerseits und die Sicherung der Belastungsverträglichkeit andererseits von zentraler Bedeutung ist (Faigenbaum et al., 2016; Lloyd & Oliver, 2012). Gemäß Faigenbaum und Kollegen (2013) versteht man unter Krafttraining (engl. strength oder resistance training) eine spezifische Trainingsmaßnahme zur körperlichen Leistungsentwicklung durch Verbesserung der Muskelkraft. Krafttraining kann als ein wichtiger Bestandteil des neuromuskulären Trainings angesehen werden, welches allgemeine und spezifische Aktivitäten zur Kräftigung und Konditionierung umfasst; wie z. B. Maximal- und Schnellkraft inklusive Reaktivkraft (Plyometrie), dynamische Stabilität, Gleichgewicht und Gewandtheit (Myer, Faigenbaum, Ford et al., 2011). Diese allgemeinen und spezifischen Aktivitäten haben das Ziel, gesundheits- und fertigungsbezogene körperliche Fitnesskomponenten zu verbessern und Verletzungen vorzubeugen.

Neben der Muskelkraft stellen auch morphologische Eigenschaften der Sehne wichtige Determinanten der sportlichen Leistung und der Gesundheit von Athletinnen und Athleten dar. Die Sehne als eine kollagene Struktur kann zwar keine Kräfte generieren, erlaubt allerdings die Speicherung von Verformungsenergie und begünstigt die Muskelkraftgenerierung. Die Sehne schafft so optimale Bedingungen für die Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit (Bohm et al., 2019, 2021) und ist daher ein wichtiges Element des muskuloskelettalen Systems, welches in der Sportpraxis berücksichtigt werden sollte. Für die sportliche Leistungsfähigkeit sowie die Gesundheit von jungen Athletinnen und Athleten ist es bedeutsam, dass die mechanischen Eigenschaften der kraftübertragenden bindegewebigen Strukturen auf die Kapazität des Muskels zur Krafterzeugung abgestimmt sind. Nur dadurch lassen sich ein effizienter mechanischer Energieaustausch innerhalb der Muskel-Sehnen-Einheit und optimale Arbeitsbedingungen für die Muskulatur erreichen. Aufgrund der großen Plastizität des Muskels und der unterschiedlichen Responsivität von Muskel und Sehne auf bestimmte Belastungsformen entwickelt sich jedoch die Sehne im Verlauf

eines Trainingsprozesses nicht notwendigerweise entsprechend der muskulären Kapazität (Arampatzis, Karamanidis & Albracht, 2007). Eine unausgewogene Adaptation zwischen Muskel und Sehne kann nicht nur die sportliche Leistung beeinträchtigen, sondern auch die Verletzungsgefahr steigern und dem langfristigen sportlichen Erfolg der Athletinnen und Athleten entscheidend schaden.

Insbesondere wenn es das Ziel ist, Leistung, Gesundheit und Verletzungsprävention bei Kindern und Jugendlichen durch Training zu erwirken, stellt das sog. neuromuskuläre Training eine vielversprechende Methode dar. Die positiven Effekte von neuromuskulärem Training wurden bereits umfassend für die allgemeine Population von Kindern und Jugendlichen erforscht. Erkenntnisse aus Originalarbeiten, systematischen Übersichtsbeiträgen und Metaanalysen belegen eindrücklich die Wirksamkeit von neuromuskulärem Training bei nicht leistungssportlich aktiven Athletinnen und Athleten bezüglich Maximal- und Schnellkraft, sensomotorischen und sportlichen Leistungen, der Verletzungsprophylaxe sowie den gesundheitsfördernden Wirkungen, die sich in einem verbesserten Metabolismus und einem erhöhten psycho-physischen Wohlbefinden ausdrücken (Behringer, vom Heede, Matthews, & Mester, 2011; Faigenbaum et al., 2013; Granacher et al., 2016; Myer, Faigenbaum, Chu, et al., 2011). Demgegenüber sind die Effekte von neuromuskulärem Training im Nachwuchsleistungssport weit weniger erforscht. Dabei gilt es zu beachten, dass die Ergebnisse von Studien zum neuromuskulären Training nicht unmittelbar auf junge Nachwuchsathletinnen und -athleten übertragen werden können, da sich Physiologie und Sensomotorik zwischen nicht leistungssportlich aktiven Kindern und Jugendlichen und Nachwuchsathletinnen und -athleten erheblich unterscheiden können (Mersmann, Charcharis, Bohm, & Arampatzis, 2017; Mersmann, Laube, Bohm, & Arampatzis, 2020; Pentidis et al., 2019; Vieluf et al., 2018). Demzufolge war es notwendig, die Effekte neuromuskulären Trainings im Nachwuchsleistungssport bzgl. physiologischer und gesundheitlicher Anpassungen systematisch zu untersuchen und in einen konzeptionellen Rahmen zu überführen.

Evidenzbasierte Erkenntnisse zum neuromuskulären Training im Nachwuchsleistungssport waren jedoch nur vereinzelt vorhanden. Außerdem zeigten erste fachwissenschaftliche Literaturanalysen, dass Erkenntnislücken in Bezug auf alters-, geschlechts- und sportartspezifische Belastungsnormative bestanden (Behringer, vom Heede & Mester, 2010; Hartmann et al., 2010; Horn et al., 2012). Darüber hinaus wurden die Inhalte der Trainingsmaßnahmen nur unzureichend beschrieben, was eine Replikation der Arbeiten erschwerte und eine Implementierung der Trainingsprogramme in die Sportpraxis nahezu unmöglich machte.

Vor diesem Hintergrund waren die primären Ziele der KINGS-Studie

- › die Förderung der Leistungsentwicklung und Gesundheitserhaltung von Nachwuchsathletinnen und Nachwuchsathleten durch neuromuskuläres Training, insbesondere Krafttraining in Abhängigkeit von Alter, biologischer Reife, Geschlecht und Sportart,
- › die Identifikation interventions-, endpunkt- sowie altersspezifischer Dosis-Wirkungs-Beziehungen und
- › eine differenzierte Diagnostik innerhalb der Muskel-Sehnen-Einheit, um die Beanspruchung im Training zu optimieren und so eine gezielte Leistungsentwicklung und Verletzungsprävention zu fördern.

## 2 Methoden

Zur Aufarbeitung des Forschungsdefizits wurde über Kooperationen des interdisziplinären Forschungskonsortiums mit zahlreichen exzellenten Partnern aus dem Leistungssport (u. a. Eliteschulen des Sports, Olympiastützpunkte Berlin und Brandenburg, Bundesverband Deutscher Gewichtheber, Deutscher Handballbund, Deutscher Judo-Bund, Deutscher Kanu Verband, Deutscher Turner-Bund, Deutscher Verband für modernen Fünfkampf) sowie unter kontinuierlicher Einbindung der Wissenschaftskoordina-

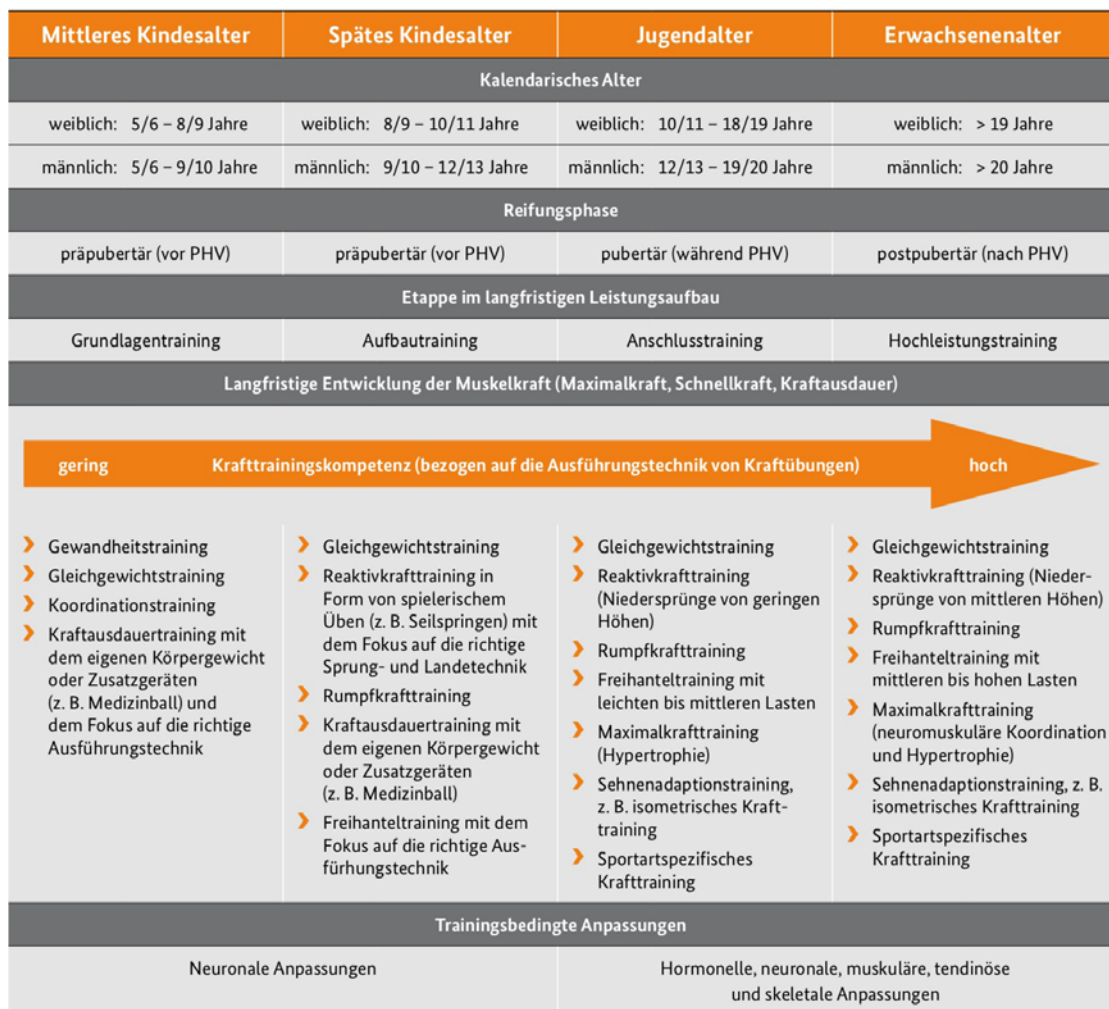


toren ein kontinuierlicher Austausch zwischen Praxis und Wissenschaft gepflegt. Im Laufe der fünf Projektjahre konnten die zu Projektbeginn vorhandenen Kooperationspartner zu einem stabilen KINGS-Netzwerk bestehend aus Praxis- und Wissenschaftspartnern wachsen. Im Rahmen dessen wurden zahlreiche Übersichtsbeiträge (Chaabene et al., 2020; Granacher et al., 2016; Legerlotz et al., 2016; Mersmann, Bohm, & Arampatzis, 2017; Ramirez-Campillo et al., 2018), Meta-Analysen (Behm et al., 2017; Lesinski, Prieske, & Granacher, 2016b) und Originalarbeiten in Form von Querschnitts- (Arampatzis et al., 2019; Chaabene, Prieske et al., 2019; Charcharis et al., 2019; Lesinski, Schmelcher et al., 2020; Mersmann et al., 2016; Mersmann, Charcharis et al., 2017; Pentidis et al., 2019; Prieske et al., 2020) und longitudinalen Interventionsstudien

(Arampatzis, Laube, et al. 2020; Chaabene, Negra et al., 2019; Lesinski et al., 2020; Mersmann et al., 2017; Mersmann et al., 2016; Negra et al., 2016; Negra et al., 2017; Thiele et al., 2020) publiziert.

### 3 Ergebnisse

Auf Grundlage bestehender Literatur und Expertenmeinung wurde ein konzeptionelles Modell für das Krafttraining im Nachwuchsleistungssport erstellt (Granacher et al., 2016). Dieses Modell (Abb. 1) war der Startpunkt für ein evidenzbasiertes Vorgehen und der erste nationale sowie internationale Entwicklungsschritt im Rahmen der KINGS-Studie bzgl. der Hauptziele „Leistungsentwicklung und Gesundheitsförderung“ durch Krafttraining im Nachwuchsleistungssport.



Legende: PHV = peak height velocity (Zeitpunkt des Eintritts in den Wachstumsspur)

Abb. 1: Konzeptionelles Modell zur Implementierung verschiedener Krafttrainingsformen in die Etappen des langfristigen Leistungsaufbaus (Granacher et al., 2016, S. 6)



Im Zuge des ersten Förderzyklus der KINGS-Studie (2014-2019) wurden viele der identifizierten Forschungslücken zu den Wirkungen von Krafttraining auf die Leistungsentwicklung und Gesundheit von Nachwuchsathletinnen und -athleten im interdisziplinären Forschungsvorhaben des KINGS-Konsortiums erfolgreich bearbeitet. Nachfolgend wird lediglich eine Auswahl zentraler Aspekte aufgeführt, die im KINGS-Konsortium gemeinsam von Wissenschaft und Praxis erforscht und publiziert wurden:

- › Die Effekte unterschiedlicher Krafttrainingsmaßnahmen im Nachwuchsleistungssport wurden in Längsschnittstudien untersucht (Fernandez-Fernandez et al., 2018; Granacher et al., 2015; Lesinski et al., 2016b; Negra et al., 2016; Prieske, et al., 2016).
- › Auf Grundlage der Untersuchungen mittels spezifischer Testverfahren konnten Normwerte zur Abschätzung der körperlichen Fitness für Athletinnen und Athleten verschiedener Sportarten generiert und veröffentlicht werden (Lesinski, Schmelcher et al., 2020).
- › Trainingsinhalte, spezifische Krafttrainingsübungen sowie Krafttrainingsmethoden im Sinne der Belastungsgestaltung konnten in Abhängigkeit von Geschlecht, biologischem Reifegrad und Expertiseniveau charakterisiert werden (Büsch, Prieske, Puta, Gabriel, & Granacher, 2017; Chaabene et al., 2020; Granacher et al., 2016; Lesinski, Prieske, & Granacher, 2016a; Prieske, Muehlbauer et al., 2016; Prieske, Muehlbauer, & Granacher, 2016).
- › Der Ansatz einer individualisierten und zwischen Muskel und Sehne differenzierten Trainingssteuerung wurde entwickelt und mittels einer vereinfachten und mobilen Messmethodik im Feld realisiert (Arampatzis, Mersmann, & Bohm, 2020).

- › Effekte individueller Prädispositionen (z. B. immunologischer und orthopädischer Status) auf die erzielten biologischen Adaptationen und Leistungssteigerungen nach spezifischen Krafttrainingsprogrammen wurden geprüft (Gabriel et al., 2016; Puta et al., 2018; Puta et al., 2016; Weber et al., 2018).
- › Neben physischen (leistungsbezogenen) Komponenten konnten auch Aspekte der psychischen Gesundheit, wie z. B. Symptome von Angst und Depression in Relation zur biologischen Reife analysiert werden (Weber et al., 2018).

Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den identifizierten Forschungslücken zusammengefasst.

### 3.1 Mangel an Studien bzgl. der Effekte von Krafttraining im Nachwuchsleistungssport bei Kindern und Jugendlichen

Im Rahmen der KINGS-Studie wurde ein systematischer Übersichtsartikel mit Meta-Analyse zu den Effekten von Krafttraining im Nachwuchsleistungssport bei Kindern und Jugendlichen erstellt (Lesinski et al., 2016a). Im Ergebnis zeigte sich, dass Krafttraining moderate Effekte auf die Muskelkraft und den Vertikalsprung sowie kleine Effekte auf den Linearsprint, die Gewandtheit sowie die sportartspezifische Leistung bewirken konnte.

Durch diesen systematischen Literaturüberblick konnten darüber hinaus weitere Forschungslücken zu den Effekten von Krafttraining mit Nachwuchsathletinnen und -athleten aufgezeigt werden (z. B. Krafttrainingsinterventionen mit Nachwuchsathletinnen, Krafttrainingsinterventionen mit präpuberalen Nachwuchsathleten), die nach 2016 durch gezielte Interventionsmaßnahmen untersucht wurden (Negra et al., 2017; Negra et al., 2020; Sammoud et al., 2019).

### **3.2 Mangel an Studien bzgl. der Erfassung der biologischen Reife**

Die Sichtung der bestehenden Interventionsstudien zum Thema Krafttraining im Nachwuchsleistungssport zeigte, dass die Berücksichtigung des biologischen Reifegrades nur randständig in den vorhandenen Krafttrainingsstudien aufgegriffen wurde (Granacher et al., 2016; Lesinski et al., 2016b). Die in den letzten Jahren im Rahmen der KINGS-Studie entstandenen Interventionsstudien haben daher den biologischen Reifegrad der untersuchten Nachwuchsathletinnen und -athleten systematisch in den Fokus gerückt (Chaabene, Negra, et al., 2019; Negra et al., 2016; Negra et al., 2017) und spezifische Erkenntnisse für das Krafttraining im Zusammenhang mit der biologischen Reife gewinnen können (Lesinski, Schmelcher, et al., 2020).

### **3.3 Mangel an Studien bzgl. geschlechtsspezifischer Aspekte beim Krafttraining**

Im Rahmen des systematischen Literaturüberblicks mit Meta-Analyse von Lesinski et al. (2016b) wurden geschlechtsspezifische Sub-Analysen zu den Effekten von Krafttraining im Nachwuchsleistungssport durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass die Effekte von Krafttraining auf die sportartspezifische Leistung abhängig vom Geschlecht sind und Mädchen größere Effekte als Jungen aufwiesen. Weiterhin wurden in den nachfolgenden Projektjahren Untersuchungen durchgeführt, die speziell geschlechtsspezifische Aspekte beim Krafttraining (Chaabene, Negra, et al., 2019; Negra et al., 2016; Negra et al., 2017) und geschlechtsspezifische Unterschiede in der Rumpfkraft und Kinematik (Arampatzis et al., 2019) berücksichtigten.

### **3.4 Mangel an Studien bzgl. physiologischer Adaptationen durch Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen**

Im Rahmen mehrerer Untersuchungen wurden insbesondere die Anpassungen des Muskel-Sehnen Apparates systematisch analysiert (Charcharis et al., 2019; Mersmann et al., 2014; Mersmann, Bohm, Schroll, et al., 2017; Mersmann et al.,

2019; Pentidis et al., 2019). Dabei konnte gezeigt werden, dass es bei Nachwuchsathletinnen und -athleten während der Pubertät zu einer nicht-uniformen Adaptation von Muskel und Sehne und infolgedessen zu einem ungünstigen Verhältnis von Muskelkraft und Belastungsfähigkeit der Sehne kommen kann (Mersmann et al., 2014; Mersmann, Bohm, Schroll, et al., 2017; Mersmann et al., 2016; Mersmann, Charcharis, et al., 2017).

### **3.5 Empfehlungen zur Berücksichtigung von subjektiven Symptomen und objektiven Zeichen der durch Krafttraining im Nachwuchsleistungssport induzierten Beanspruchung**

Ein weiterer in der evidenzbasierten Literatur zum Krafttraining wenig beachteter Aspekt war die Untersuchung subjektiver Symptome und objektiver Anzeichen immunologischer Stressreaktionen nach Krafttraining bei jungen Sportlerinnen und Sportlern. Neben der Charakterisierung der durch Krafttraining induzierten immunologischen Stressregulation konnte gezeigt werden, dass Änderungen der subjektiven Symptome zwischen morgendlichen und abendlichen Trainingseinheiten mit Änderungen der induzierten immunologischen Reaktionen bei jungen Athletinnen und Athleten assoziiert sind (Putz et al., 2018). Dies ermöglicht zukünftig eine Abschätzung der immunologischen Stressantwort durch Krafttraining über das Akutmaß für Erholung und Beanspruchung.

### **3.6 Unzureichende Übereinstimmung der Krafttrainingsprotokolle beim Vergleich zwischen verschiedenen Trainingsmaßnahmen**

Speziell für den Vergleich zweier Krafttrainingsformen (traditionelles Krafttraining vs. Schnellkrafttraining) im Kindes- und Jugendalter wurde ein systematischer Literaturüberblick mit Meta-Analyse (Behm et al., 2017) in Zusammenarbeit einem der etabliertesten Wissenschaftler im Bereich des Krafttrainings realisiert.

Die Ergebnisse zeigten, dass Schnellkrafttraining mit Kindern und Jugendlichen im Vergleich mit traditionellem Krafttraining zu größeren Anpassungen der vertikalen Sprunghöhe führte. Demgegenüber konnte gezeigt werden, dass traditionelles Krafttraining im Vergleich zu Schnellkrafttraining mit einer größeren Verbesserung der Sprintleistung bei Kindern und Jugendlichen einhergeht. Diese Implikationen haben grundlegende Bedeutung für das Krafttraining mit Kindern- und Jugendlichen im Kontext des Schnell- und Reaktivkrafttrainings.

## 4 Diskussion

Nach fünf Jahren intensiver Forschung im KINGS-Projekt (Förderphase bis 2019) bleibt festzuhalten, dass unabhängig von Alter, biologischem Reifegrad, Geschlecht und Sportart während aller Etappen des langfristigen Leistungsaufbaus neuromuskuläres Training, insbesondere Krafttraining im Nachwuchsleistungssport durchgeführt werden sollte. Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen im Nachwuchsleistungssport ist sicher und trägt effektiv zu Verbesserungen von Maximal- und Schnellkraft, der sportlichen Leistung und der Gesundheit bei (Chaabene et al., 2020). Besonders vor dem Hintergrund der lange in der fach- und populärwissenschaftlichen Literatur diskutierten Mythen zu gesundheitsschädigenden Wirkungen von Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen konnte das KINGS-Konsortium über viele Quer- und Längsschnittstudien wertvolle wissenschaftliche Beiträge zur Überwindung dieser Mythen leisten.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass ein systematisches Sehnentraining (zweimal pro Woche jeweils 20 Minuten) bei jugendlichen Handballathleten im Alter von 12 bis 14 Jahren im Vergleich zu einer regulär trainierenden Kontrollgruppe eine Reduktion der Schmerzprävalenz zur Folge hatte. Während 30 % der Athleten in der Kontrollgruppe eine klinisch relevante Verschlechterung der Symptomatik zeigten, waren alle Athleten der Interventionsgruppe ab dem zweiten Messzeitpunkt bis zum Ende der Saison beschwerdefrei. Das Sehnentraining wurde basierend auf unseren früheren systematischen Studien zur Adaptation der

menschlichen Sehne entwickelt (Arampatzis et al., 2007). Unter Berücksichtigung der notwendigen Belastungsstruktur (Arampatzis et al., 2010; Bohm et al., 2014) wurde eine Reihe funktionaler Übungen zusammengestellt, die

- a) von Adoleszenten gelernt und ausgeführt werden konnten und
- b) lediglich Equipment voraussetzen, welches in Sporthallen verfügbar ist.

Tendinopathien stellen ein klinisch relevantes Problem in vielen Team-Sportarten mit Sprung-Landebewegungen dar. Demnach könnte die Implementierung von Sehnentraining in Modelle der langfristigen Leistungsentwicklung jugendlicher Athleten einen wesentlichen Beitrag zur Verletzungsprävention leisten, wenn das Trainingsvolumen mit plyometrischer Belastung in der Adoleszenz erhöht wird.

Das im Rahmen des KINGS-Projektes entwickelte konzeptionelle Modell zur Implementierung verschiedener Krafttrainingsformen in die Etappen des langfristigen Leistungsaufbaus dient als Leitfaden für die progressive Gestaltung von Krafttraining unter Berücksichtigung gesundheitlicher Aspekte. Für die korrekte Zuordnung der Athletinnen und Athleten zu einer der vier Stufen des Krafttrainingsmodells ist neben dem biologischen Reifegrad vor allem die individuelle Krafttrainingskompetenz entscheidend. Da sich Gleichaltrige oftmals in ihrer individuellen Krafttrainingskompetenz (Faigenbaum et al., 2016) sowie ihrem biologischen Reifegrad und damit in ihrer körperlichen Konstitution und Leistungsfähigkeit voneinander unterscheiden, ist die Berücksichtigung des biologischen Reifegrades und die Ermittlung der individuellen Krafttrainingskompetenz für das (Kraft-)Training im Nachwuchsleistungssport von großer Bedeutung.

Unabhängig von Alter, Trainingsstatus und Geschlecht kann jedoch festgehalten werden, dass Krafttraining positive Effekte auf fundamentale Bewegungsfertigkeiten bewirkt und Verletzungen reduziert (Chaabene et al., 2020). Die Vorteile eines gezielten Krafttrainings sind in Abb. 2 noch einmal zusammenfassend dargestellt.

<b>Vorteile</b>	<b>Leistung</b>	<b>Gesundheit</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Muskelkraft (12-25%)</li> <li>↑ Schnellkraft (15-22%)</li> <li>↑ Kraftausdauer (8-41%)</li> <li>↑ Motorische Fähigkeiten (3-15%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Knieverletzungen (45-83%)</li> <li>↓ Knöchelverletzungen (44-86%)</li> <li>↓ Überlastungsschäden (40-50%)</li> </ul>
<b>Dosis-Wirkungsbeziehung</b>	<b>Dosis-Wirkung (Muskelkraft)</b>	<b>Dosis-Wirkung Muskelkraft (Verletzungsprävention)</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frequenz (2-4)</li> <li>• Intensität (60-85% 1 WHM)</li> <li>• Time (4-12 Wochen)</li> <li>• Type Krafttraining</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frequenz (2-3)</li> <li>• Intensität#</li> <li>• Time (&lt; 6 Monate)</li> <li>• Type Neuromuskuläres Training</li> </ul>
	1 WHM - Einer Wiederholungsmaximum	# keine belastbare Daten vorhanden

Abb. 2: Vorteile für die Leistung und gesundheitsbezogene Parameter nach neuromuskulärem Training bei Kindern und Jugendlichen zusammen mit etablierten Dosis-Wirkungs-Beziehungen nach dem FITT-Prinzip.

#### 4.1 Dissemination von Wissen – ein wichtiges Ziel der KINGS-Studie

Die Veröffentlichung von Erkenntnissen aus der KINGS-Studie erfolgte in nationalen und internationalen Fachzeitschriften, sowie über ausgewählte Disseminationsstrategien. Durch die große Anzahl an fachwissenschaftlichen Publikationen sowie mittels spezifischer Transfermaßnahmen (u. a. Trainerfortbildungen, Symposien, Sprechstunde, Newsletter, Webseite, Projekt-Blog, Themenhefte, YouTube Kanal des BISp, das Innovationsnetzwerk WISS des BISp) wurden die Ergebnisse der KINGS-Studie von 2014 bis 2019 regelmäßig einem nationalen und internationalen Publikum aus Sportpraxis und -wissenschaft zugänglich gemacht. Die hohe Praxisrelevanz der Ergebnisse der KINGS-Studie wurde durch Trainer und Experten im Rahmen einer Umfrage bestätigt (81,5 %). Dieses Feedback zur Relevanz und Umsetzbarkeit der Inhalte weist auf den deutlichen Praxisbezug

der KINGS-Studie hin. Die im KINGS-Workshop vom 03. bis 04. Mai 2019 in Berlin vermittelten Inhalte konnten darüber hinaus den Horizont der Teilnehmenden erweitern (79,1 %) und Motivation wecken (83,4 %).

## 5 Zusammenfassung

Die Muskelkraft sollte während aller Etappen im langfristigen Leistungsaufbau mit unterschiedlichen Trainingsmitteln und -methoden trainiert werden. Das konzeptionelle KINGS-Modell kann bei der Gestaltung des Trainings als Orientierung dienen; wichtig ist die Berücksichtigung des Alters, des Geschlechts, des biologischen Reifegrades und der individuellen Krafttrainingskompetenz der Athletinnen und Athleten. Wir konnten zeigen, dass ein evidenzbasiertes funktionelles Sehnenstraining, das durch wiederholte hohe und langandauernde Belastungen charakterisiert ist, die Häufigkeit von Beschwerden der Patellarsehne bei jugendlichen Athleten



reduzieren kann. Darüber hinaus belegen unsere Ergebnisse eindrücklich, dass Krafttraining die Maximal- und Schnellkraft von Kindern und Jugendlichen unabhängig vom Geschlecht verbessern kann. Ein regelmäßig durchgeführtes neuromuskuläres Training verringert außerdem das Verletzungsrisiko bei Heranwachsenden, unabhängig von Alter, Geschlecht und Trainingsstatus. Neuromuskuläres Training bzw. Krafttraining sollte daher ein elementarer Bestandteil des Trainings von Heranwachsenden sein.

## 6 Literatur

- Arampatzis, A., Frank, J., Laube, G., & Mersmann, F. (2019). Trunk muscle strength and lumbo-pelvic kinematics in adolescent athletes: Effects of age and sex. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(11), 1691-1698. doi:10.1111/sms.13503
- 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(15), 2743. doi:10.1242/jeb.003814
- Arampatzis, A., Laube, G., Schroll, A., Frank, J., Bohm, S., & Mersmann, F. (2020). Perturbation-based exercise for prevention of low-back pain in adolescent athletes. *Translational Sports Medicine*. doi:10.1002/tsm2.191
- Arampatzis, A., Mersmann, F., & Bohm, S. (2020). Individualized Muscle-Tendon Assessment and Training. *Frontiers in Physiology*, 11(723). doi: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. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.08.014
- Behm, D. G., Young, J. D., Whitten, J. H. D., Reid, J. C., Quigley, P. J., Low, J., ... Granacher, U. (2017). Effectiveness of Traditional Strength vs. Power Training on Muscle Strength, Power and Speed with Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 8(423). doi:10.3389/fphys.2017.00423
- Behringer, M., vom Heede, A., Matthews, M., & Mester, J. (2011). Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 23(2), 186-206. doi:10.1123/pes.23.2.186
- Behringer, M., vom Heede, A., & Mester, J. (2010). *Krafttraining im Nachwuchsleistungssport unter besonderer Berücksichtigung von Diagnostik, Trainierbarkeit und Trainingsmethodik: Wissenschaftliche Expertise des BISp*. Sportverlag Strauß.
- Bohm, S., Mersmann, F., Santuz, A., & Arampatzis, A. (2019). The force-length-velocity potential of the human soleus muscle is related to the energetic cost of running. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1917), 20192560. doi:doi:10.1098/rspb.2019.2560
- Bohm, S., Mersmann, F., Santuz, A., & Arampatzis, A. (2021). Enthalpy efficiency of the soleus muscle contributes to improvements in running economy. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 288(1943), 20202784. doi:10.1098/rspb.2020.2784
- 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(Pt 22), 4010-4017. doi:10.1242/jeb.112268
- Büsch, D., Prieske, O., Puta, C., Gabriel, H., & Granacher, U. (2017). Krafttraining im Kindes- und Jugendalter: Bedeutung, Wirkung und Handlungsempfehlungen. *Swiss Sports & Exercise Medicine*, 65, 34-42.
- Chaabene, H., Lesinski, M., Behm, D. G., & Granacher, U. (2020). Performance-and health-related benefits of youth resistance training. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 36(3), 231-240. doi:10.1016/j.orthtr.2020.05.001



- Chaabene, H., Negra, Y., Moran, J., Prieske, O., Sammoud, S., Ramirez-Campillo, R., & Granacher, U. (2019). Plyometric Training Improves Not Only Measures of Linear Speed, Power, and Change-of-Direction Speed But Also Repeated Sprint Ability in Female Young Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. doi:10.1519/jsc.0000000000003128
- Chaabene, H., Prieske, O., Lesinski, M., Sandau, I., & Granacher, U. (2019). Short-Term Seasonal Development of Anthropometry, Body Composition, Physical Fitness, and Sport-Specific Performance in Young Olympic Weightlifters. *Sports (Basel)*, 7(12). doi:10.3390/sports7120242
- Charcharis, G., Mersmann, F., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2019). Morphological and Mechanical Properties of the Quadriceps Femoris Muscle-Tendon Unit From Adolescence to Adulthood: Effects of Age and Athletic Training. *Frontiers in Physiology*, 10, 1082. doi:10.3389/fphys.2019.01082
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., MacDonald, J., & Myer, G. D. (2016). Citius, Altius, Fortius: beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(1), 3-7. doi:10.1136/bjsports-2015-094621
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., & Myer, G. D. (2013). Youth resistance training: past practices, new perspectives, and future directions. *Pediatric Exercise Science*, 25(4), 591-604.
- Fernandez-Fernandez, J., Granacher, U., Sanz-Rivas, D., Sarabia Marín, J. M., Hernandez-Davo, J. L., & Moya, M. (2018). Sequencing Effects of Neuromuscular Training on Physical Fitness in Youth Elite Tennis Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 849-856. doi:10.1519/jsc.0000000000002319
- Gabriel, H., Puta, C., Arampatzis, A., & Granacher, U. (2016). Fazit und Ausblick der KINGS-Studie. Potenziale des Nachwuchsleistungssports für junge Menschen. *Leistungssport*, 46(6), 37-39.
- Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., Muehlbauer, T., Prieske, O., Puta, C., ... Behm, D. G. (2016). Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Frontiers in Physiology*, 7(164). doi:10.3389/fphys.2016.00164
- Granacher, U., Prieske, O., Majewski, M., Büsch, D., & Muehlbauer, T. (2015). The Role of Instability with Plyometric Training in Sub-elite Adolescent Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(5), 386-394. doi:10.1055/s-0034-1395519
- Hartmann, U., Niessen, M., Marzin, T., Platen, P., Mank, D., Bartmus, U., & Hawener, I. (2010). *Krafttraining im Nachwuchsleistungssport unter Berücksichtigung von Ontogenese, biologischen Mechanismen und Terminologie: Wissenschaftliche Expertise des BISp*. Sportverlag Strauß.
- Horn, A., Behringer, M., Beneke, R., Förster, H., Gruber, W., & Hartmann, U. (2012). Wissenschaftliche Standortbestimmung zum Krafttraining im Nachwuchsleistungssport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63, 1-10.
- Legerlotz, K., Marzilger, R., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2016). Physiological Adaptations following Resistance Training in Youth Athletes – A Narrative Review. *Pediatric Exercise Science*, 28(4), 501. doi:10.1123/pes.2016-0023
- Lesinski, M., Prieske, O., Chaabene, H., & Granacher, U. (2020). Seasonal Effects of Strength Endurance vs. Power Training in Young Female Soccer Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. doi:10.1519/jsc.0000000000003564
- Lesinski, M., Prieske, O., & Granacher, U. (2016a). Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(13), 781-795. doi:10.1136/bjsports-2015-095497

- Lesinski, M., Prieske, O., & Granacher, U. (2016b). Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(13), 781. doi:10.1136/bjsports-2015-095497
- Lesinski, M., Schmelcher, A., Herz, M., Puta, C., Gabriel, H., Arampatzis, A., ... Granacher, U. (2020). Maturation-, age-, and sex-specific anthropometric and physical fitness percentiles of German elite young athletes. *PLoS One*, *15*(8), e0237423. doi:10.1371/journal.pone.0237423
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development. *Strength & Conditioning Journal*, *34*(3), 61-72. doi:10.1519/SSC.0b013e31825760ea
- Mersmann, F., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2017). 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*, 987. doi:10.3389/fphys.2017.00987
- Mersmann, F., Bohm, S., Schroll, A., Boeth, H., Duda, G., & Arampatzis, A. (2014). Evidence of imbalanced adaptation between muscle and tendon in adolescent athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *24*(4), e283-e289. doi:10.1111/sms.12166
- Mersmann, F., Bohm, S., Schroll, A., Boeth, H., Duda, G. N., & Arampatzis, A. (2017). Muscle and tendon adaptation in adolescent athletes: A longitudinal study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(1), 75-82. doi:10.1111/sms.12631
- 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* (1985), *121*(4), 893-899. doi:10.1152/jappphysiol.00493.2016
- Mersmann, F., Charcharis, G., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2017). Muscle and Tendon Adaptation in Adolescence: Elite Volleyball Athletes Compared to Untrained Boys and Girls. *Frontiers in Physiology*, *8*, 417. doi:10.3389/fphys.2017.00417
- Mersmann, F., Laube, G., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2020). Muscle and Tendon Morphology in Early-Adolescent Athletes and Untrained Peers. *Frontiers in Physiology*, *11*(1029). doi:10.3389/fphys.2020.01029
- 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. doi:10.3389/fphys.2019.00963
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Chu, D. A., Falkel, J., Ford, K. R., Best, T. M., & Hewett, T. E. (2011). Integrative training for children and adolescents: techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. *The Physician and Sportsmedicine*, *39*(1), 74-84. doi:10.3810/psm.2011.02.1854
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? *Current Sports Medicine Reports*, *10*(3), 155-166. doi:10.1249/JSR.0b013e31821b1442
- Negra, Y., Chaabene, H., Hammami, M., Hachana, Y., & Granacher, U. (2016). Effects of High-Velocity Resistance Training on Athletic Performance in Prepuberal Male Soccer Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(12), 3290-3297. doi:10.1519/jsc.0000000000001433
- Negra, Y., Chaabene, H., Sammoud, S., Bouguezzi, R., Mkaouer, B., Hachana, Y., & Granacher, U. (2017). Effects of Plyometric Training on Components of Physical Fitness in Prepuberal Male Soccer Athletes: The Role of Surface Instability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(12), 3295-3304. doi:10.1519/jsc.0000000000002262

- Negra, Y., Chaabene, H., Sammoud, S., Prieske, O., Moran, J., Ramirez-Campillo, R., ... Granacher, U. (2020). The Increased Effectiveness of Loaded Versus Unloaded Plyometric Jump Training in Improving Muscle Power, Speed, Change of Direction, and Kicking-Distance Performance in Prepubertal Male Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(2), 189-195. doi:10.1123/ijsp.2018-0866
- Pentidis, N., Mersmann, F., Bohm, S., Giannakou, E., Aggelousis, N., & Arampatzis, A. (2019). Triceps Surae Muscle-Tendon Unit Properties in Preadolescent Children: A Comparison of Artistic Gymnastic Athletes and Non-athletes. *Frontiers in Physiology*, 10, 615. doi:10.3389/fphys.2019.00615
- Prieske, O., Chaabene, H., Gäbler, M., Herz, M., Helm, N., Markov, A., & Granacher, U. (2020). Seasonal Changes in Anthropometry, Body Composition, and Physical Fitness and the Relationships with Sporting Success in Young Sub-Elite Judo Athletes: An Exploratory Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7169. doi:10.3390/ijerph17197169
- Prieske, O., Muehlbauer, T., Borde, R., Gube, M., Bruhn, S., Behm, D. G., & Granacher, U. (2016). Neuromuscular and athletic performance following core strength training in elite youth soccer: Role of instability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(1), 48-56. doi:10.1111/sms.12403
- Prieske, O., Muehlbauer, T., & Granacher, U. (2016). The Role of Trunk Muscle Strength for Physical Fitness and Athletic Performance in Trained Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(3), 401-419. doi:10.1007/s40279-015-0426-4
- Puta, C., Steidten, T., Baumbach, P., Wöhrle, T., May, R., Kellmann, M., ... Gabriel, H. H. W. (2018). Standardized Assessment of Resistance Training-Induced Subjective Symptoms and Objective Signs of Immunological Stress Responses in Young Athletes. *Frontiers in Physiology*, 9(698). doi:10.3389/fphys.2018.00698
- Puta, C., Weber, S., May, R., Steidten, T., Hildebrandt, P., Gabriel, B., ... Gabriel, H. (2016). Immun-Score. Entwicklung eines benutzerfreundlichen Instruments zur standardisierten Erfassung von Symptomen für die Differenzierung von belastungsinduzierter und infektbasierter Stressreaktion im Nachwuchsleistungssport. *Leistungssport*, 46(6), 15-18.
- Ramirez-Campillo, R., Álvarez, C., García-Hermoso, A., Ramírez-Vélez, R., Gentil, P., Asadi, A., ... Izquierdo, M. (2018). Methodological Characteristics and Future Directions for Plyometric Jump Training Research: A Scoping Review. *Sports Medicine*, 48(5), 1059-1081. doi:10.1007/s40279-018-0870-z
- Sammoud, S., Negra, Y., Chaabene, H., Bouguezzi, R., Moran, J., & Granacher, U. (2019). The Effects of Plyometric Jump Training on Jumping and Swimming Performances in Prepubertal Male Swimmers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 18(4), 805-811.
- Thiele, D., Prieske, O., Lesinski, M., & Granacher, U. (2020). Effects of Equal Volume Heavy-Resistance Strength Training Versus Strength Endurance Training on Physical Fitness and Sport-Specific Performance in Young Elite Female Rowers. *Frontiers in Physiology*, 11, 888. doi:10.3389/fphys.2020.00888
- Vieluf, S., Mora, K., Gözl, C., Reuter, E. M., Godde, B., Dellnitz, M., ... Voelcker-Rehage, C. (2018). Age- and Expertise-Related Differences of Sensorimotor Network Dynamics during Force Control. *Neuroscience*, 388, 203-213. doi:10.1016/j.neuroscience.2018.07.025
- Weber, S., Puta, C., Lesinski, M., Gabriel, B., Steidten, T., Bär, K. J., ... Gabriel, H. W. (2018). Symptoms of Anxiety and Depression in Young Athletes Using the Hospital Anxiety and Depression Scale. *Frontiers in Physiology*, 9(182). doi:10.3389/fphys.2018.00182



# Sozial- und Verhaltenswissenschaften





# Entwicklung, Implementierung und Evaluation eines Qualitätsmanagementsystems sportpsychologisch unterstützter Talententwicklung mit dem Deutschen Segler-Verband

(AZ 071004/17-18)

Ole Benthien<sup>1</sup>, Nadine Thomas<sup>2</sup> & Ralf Brand<sup>3</sup> (Projektleitung)

<sup>1</sup>Zentrum für praktische Sportpsychologie, UP Transfer GmbH Potsdam

<sup>2</sup>Beratungsbüro Thomas, Landau

<sup>3</sup>Universität Potsdam, Professur für Sportpsychologie

## 1 Einleitung

Ziele dieses Forschungsprojektes waren es, im Rahmen der Talententwicklung im Deutschen Segler-Verband:

- › Aus sportpsychologischer Perspektive *gemeinsam* mit dem Deutschen Segler-Verband (DSV) ein *Modell funktionaler Strukturen, Prozesse und Dienstleistungen* zu entwickeln, um die *Erkennung und individuelle Förderung sportlichen Talents* effektiver und bei sich verbessernder Qualität (zum Begriff der Qualität vgl. DIN 33430, 2002) in die Strukturen des DSV zu implementieren und zu evaluieren;
- › Das in der praktischen Testphase im DSV gesammelte Wissen und die gemachten Erfahrungen für Sichtungs- und Entwicklungsprogramme anderer Sportarten systematisch aufzubereiten und weiterzureichen. Hierbei sollte die Entwicklung eines *Leitfadens zur Qualitätssicherung von Maßnahmen im Bereich der Talentidentifikation und -entwicklung* dazu beitragen, diesen Bereich sportpsychologischer Dienstleistungen weiter zu professionalisieren.

## 2 Projektverlauf und Ergebnisse

Zur Erreichung der Projektziele wurden drei Bereiche in den Fokus gestellt: Die individuelle Förderung von Talenten (Fokus 1), die Entwicklung bzw. Optimierung organisationaler Strukturen und Prozesse im Bereich der Talententwicklung (Fokus 2) sowie die Generalisierung ausgewählter Projektergebnisse (Fokus 3).

### 2.1. Fokus 1: Individuelle Förderung von Talenten

Die im Fokus 1 stehende individuelle Förderung von Talenten umfasste 3 Teilbereiche:

- Der erste Bereich beinhaltete die Finalisierung eines entwicklungspezifischen Kompetenzmodells (a).
- Auf Basis des Modells erfolgte die Messung der individuellen Ausprägungen der Athletinnen und Athleten bzgl. dieser Kompetenzen. Eine anschließende Intervention im Rahmen der zentralen Sichtungen im DSV konnte sich unmittelbar auf diese Basisdiagnostik beziehen, um so die Möglichkeiten der optimalen Entfaltung von Talent zu erhöhen (b).
- Der letzte Arbeitsbereich diente der Evaluierung der durchgeführten Interventionen (c).

### 2.1.1 Entwicklung und Evaluierung eines Kompetenzmodells (a)

Die aus dem Vorläufer-Projekt (Förderkennzeichen 072065/16-17; vgl. Benthien & Thomas, 2018) vorliegende Pilotversion eines Kompetenzmodells für den Nachwuchskader 2 Segeln (NK2, früher D/C-Kader) wurden zu Projektbeginn in zwei Co-Kreation Workshops (vgl. Payne, Storbacka & Frow, 2008) Validierungsmaßnahmen unterzogen, bis von einer Sättigung des Modells ausgegangen werden konnte (vgl. Lucia & Lepsinger, 1999). Insgesamt wurde die Expertise von 13 DSV-Interessenvertreterinnen und -vertretern verschiedener Subsysteme (Burns, 2007; 7 Landes-, 5 Bundes-Trainerinnen bzw. -trainern sowie der Leistungssportkoordinatorin), zu für diese Entwicklungsstufe als kritisch geltenden Faktoren anhand der in Abb. 1 dargestellten Schritte extrahiert.

Das methodische Vorgehen entsprach der von Benthien und Thomas (2018) für den Sportbereich adaptierten Anforderungsanalyse nach Maßgabe der DIN 33430 (Paschen et al., 2013; Arbeitskreis Assessment Center e.V., 2016).

Im Ergebnis konnten die für den Segelnachwuchs wichtigsten psychologischen Entwicklungsaufgaben beschrieben und aus der Sammlung der Anforderungen folgendes Modell für den NK2 abgeleitet werden:

- › „Bleib ‚im Boot‘ und sammle viele unterschiedliche Erfahrungen!“, *Hoffnung auf Erfolg, Furcht vor Misserfolg, Nettohoffnung, Gesamtleistungsmotivation, Selbstdisziplin, Ausdauer*
- › „Bleib offen für Neues!“, *Offenheit für Neues, Flexibilität, Sicherheit im Kontakt*
- › „Vertraue deiner Leistung!“, *Allgemeines Selbstbewusstsein, Selbstwirksamkeitserwartung, Ängstlichkeit, Impulsivität, Verletzlichkeit, Zuversicht, Furchtlosigkeit, Selbststeuerung, Handlungsorientierung nach Misserfolg, Handlungsorientierung bei der Handlungsplanung, Handlungsorientierung bei der Tätigkeitsausführung*
- › „Übernimm eigene Verantwortung!“, *Selbstverantwortlichkeit, Unabhängigkeit bei Entscheidungen, Verantwortungsübernahme, Einsatzbereitschaft, Kompensatorische Anstrengung, Zielsetzung, Anspruchsniveau*

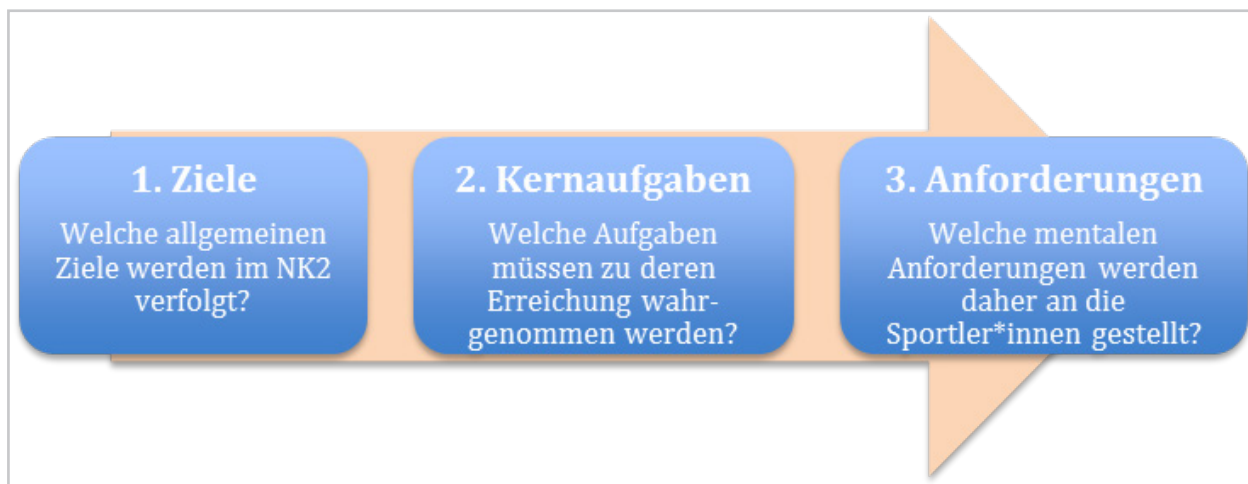


Abb. 1. Ablauf einer Anforderungsanalyse für den NK2 adaptiert nach Paschen et al. (2013)

- › „Trainiere deine Informationsverarbeitung!“, *Einsatz von Vorstellungskraft*
- › „Bleibe fair und „im Kontakt!“, *Freundlichkeit, Zusammenhalt, Offensivität, Dominanz*

### 2.1.2 Diagnostik und Sichtungsbegleitung (b)

Die im Rahmen der Basisdiagnostik erhaltenen individuellen Kompetenzprofile wurden in der Folge für die Intervention genutzt. Sie flossen unmittelbar in die für die Sichtungveranstaltung zentralen *Perspektivplanungsgespräche* (PPL) ein und lieferten einen Überblick über die Stärken und Entwicklungspotentiale der Athletinnen und Athleten. Im Rahmen der Gespräche wurden die Ergebnisse besprochen und kommunikativ validiert (Seale, 1999). Zudem wurden mittels ressourcenorientierter Beratungsformen (Hoigaard & Johansen, 2004; Schmidt, 2001) durch die anwesenden Sportpsychologinnen, und -psychologen Fördermöglichkeiten adressiert, Handlungsoptionen und Lösungsmöglichkeiten besprochen und erste Schritte realisiert, um die folgende Entwicklungsphase erfolgreich zu absolvieren.

### 2.1.3 Evaluation (c)

Während der Projektlaufzeit nahmen an den Sichtungveranstaltungen insgesamt 91 Athleten teil (Alter  $M = 15,7$  Jahre, 34,1 % davon waren weiblich).

Die Auswertung der quantitativen Daten zur Evaluation der PPL zeichnete ein deutlich positives Bild: Auf einer 10-stufigen Skala wurde die Relevanz (1 „gar nicht relevant“ bis 10 „sehr relevant“) der im PPL adressierten Themen von den Athletinnen bzw. Athleten mit durchschnittlich  $M = 9,49$  ( $SD = 1,10$ ) und durch die anwesenden Heimtrainerinnen bzw. -trainer ( $N = 24$ ) mit  $M = 8,76$  ( $SD = 1,45$ ) Punkten bewertet. Die globale Einschätzung, für wie hilfreich das Gespräch empfunden wurden, erfolgte auf einer 7-stufigen Skala (1 „gar nicht hilfreich“ bis 7 „sehr hilfreich“) und wurde durch die Athletinnen und Athleten ( $N = 52$ ) mit durchschnittlich  $M = 6,34$  ( $SD = 0,91$ ) und durch die Trainerinnen und Trainer im Mittel mit  $M = 5,6$  ( $SD = 1,23$ ) eingestuft.

Auch die offenen Antworten durch die Sportlerinnen und Sportler bzw. durch die Trainer und Trainerinnen ließen ableiten, dass sich besonders die externe Perspektive aus dem Gebiet der Sportpsychologie mit der Rückmeldung über Stärken und Entwicklungspotentiale motivierend ausgewirkt hat. Auch die gemeinsam erarbeiteten Handlungsoptionen zur Entwicklung der mentalen Kompetenzen wurden als äußerst hilfreich eingeschätzt. Der Großteil der Teilnehmenden (75,4 %) hatte keine Wünsche oder Vorschläge zur Verbesserung der PPL.

## 2.2. Fokus 2: Organisationsentwicklung

Der zweite Fokus des vorliegenden Projektes lag auf der Entwicklung, Implementierung und Evaluation von Prozessen und Strukturen auf *organisationaler Ebene*.

Das Vorgehen orientierte sich an der Logik und Dynamik von Aktionsforschung (Burns, 2007). Es wurde ein methodisch geleitetes, kontinuierliches Monitoring des Prozesses durch die Interessenvertreterinnen und -vertreter realisiert, entlang des von Burns (2014) vorgeschlagenen Fragenkataloges. So sollte sichergestellt werden, dass die im Rahmen des Projektes initiierten Prozesse der Flexibilität und Dynamik komplexer Umwelten Rechnung tragen können. Es wurden kontinuierliche Feedbackschleifen durchlaufen (vgl. Kolb-Zyklus, Burns, 2007), die der Überprüfung der Relevanz der Prozesse und Ergebnisse für die Interessenvertreterinnen und -vertreter dienen.

Das Prozessmonitoring erfolgte im Abstand von zwei Monaten durch Steuergruppentreffen. Diese wurden als Stakeholder Inquiry Workshops (Burns, 2007) organisiert.

Die Steuergruppe übernahm die Funktion eines überdauernden, themenspezifisch arbeitenden, selbstorganisierten Gremiums aus Expertinnen und Experten. Es bestand aus unterschiedlichen, für den Prozess der Talententwicklung im Segelsport relevanten Stakeholdern. Im Rahmen der Selbstorganisation konnte die Zusammensetzung variiert werden.

Die Steuergruppentreffen verliefen entlang systemisch-lösungsorientierter Methoden der Prozess- und Organisationsentwicklung (Schmidt, 2001; Radatz & Kowanitsch, 2002).

Durch die Moderation der anwesenden Sportpsychologinnen und -psychologen wurden gemeinsam veränderungswürdige Zustände des bestehenden Talentfördersystems identifiziert und erwünschte Zielszenarien entworfen. Auf der Basis des erarbeiteten anzustrebenden Zielzustandes wurden Maßnahmen zu dessen Erreichung geplant, auf den Handlungsspielraum der beteiligten Personen zugeschnitten und, in der Folge, die als veränderungswürdig identifizierten organisationalen Prozesse von der Steuergruppe bearbeitet.

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit waren die Etablierung und Optimierung von Informationsflüssen bezogen auf das Nachwuchsfördersystem des DSV. Ziel war es, Strukturen und Prozesse dieses Systems transparent nach innen und außen abzubilden. Daneben sollten gleichzeitig eine höhere Akzeptanz der DSV Aktivitäten im Nachwuchsbereich erzielt werden. Dazu wurden u. a.

- › eine „DSV Lounge“ etabliert. Diese dient als zentraler Ort für den Austausch zwischen Sportlerinnen und Sportlern sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und Trainerinnen und Trainern des DSV während der Sichtungen und Großveranstaltungen, wie z. B. der Kieler Woche.
- › eine grundlegende Umstrukturierung des DSV Internetauftritts für den Bereich Nachwuchsleistungssport entworfen. Alle relevanten Stakeholder (z. B. Sportlerinnen/Sportler, Eltern, Vereinstrainerinnen und -trainer, Landestrainerinnen und -trainer) sollen zukünftig überschaubare Informationen hinsichtlich der Funktion, der Möglichkeiten und relevanten Personen des Nachwuchsleistungssportsystems im DSV ersehen können.

Durch den Verband wurden weitere Initiativen unternommen, die zu der Verbesserung des Talentfördersystems beigetragen haben, aber nicht direkt im Rahmen der Steuergruppe geplant wurden (z. B. „der DSV im Dialog“:

Ansprechpartner vor Ort in den Vereinen, Teamevents für Zugehörigkeit und Motivation sowie weitere Aktivitäten zur Gewinnung von Nachwuchs). Sie sind höchstwahrscheinlich durch eine erhöhte Aufmerksamkeit für den Bereich Nachwuchsförderung durch die Projektarbeit begünstigt worden (vgl. Burns, 2007). Die Etablierung einer Steuergruppe sowie deren regelmäßige Arbeitstreffen selbst waren eine zentrale Veränderung auf organisationaler Ebene.

### 2.3. Fokus 3: Generalisierung von Projektergebnissen

Fokus 3 bezog sich auf Transferleistungen. Ziel hierbei war es, das im Projekt gesammelte Wissen und die gemachten Erfahrungen für Sichtungs- und Entwicklungsprogramme anderer Sportarten systematisch aufzubereiten und weiterzureichen. Der Wissenstransfer wurde über unterschiedliche Kanäle erreicht und Transferleistungen ab dem 2. Projektjahr in Angriff genommen.

Über den Projektzeitraum hinweg wurde in fünf Transferworkshops mit verantwortlichen Trainerinnen und Trainern anderer Sportarten (Leichtathletik, Ringen, Fußball; N = 7) der Austausch gesucht. Ein Bundestrainer aus dem DSV war ebenfalls anwesend. Dabei wurden zunächst das Vorgehen und die Ergebnisse aus dem ersten Projektjahr vorgestellt: die Entwicklung des Kompetenzmodells für den NK2, das Vorgehen während der Sichtungen sowie die Steuergruppe und vorgenommener Maßnahmen der Organisationsentwicklung. Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Sportarten und Sportsystemen wurden besprochen und die Generalisierbarkeit und Übertragungsmöglichkeit der Ergebnisse diskutiert. Am Ende galt es, die Trainer und Trainerinnen selbst als zentrale pädagogische Akteure der psychologischen Entwicklung des Nachwuchses in den Blick zu nehmen. Es wurde die Frage geklärt, wie die entsprechenden Lernräume für die Athletinnen bzw. Athleten gestaltet sein müssen, um die relevanten psychologischen Kompetenzen gezielt weiterentwickeln zu können. Aus den Ergebnissen der Diskussion wurden co-kreativ konkrete, praxistauglich und vielfältige Handlungsoptionen für die Trainerarbeit abgeleitet.



Die Workshops war somit von unmittelbarem praktischem Nutzen für die Teilnehmenden und hatte ebenfalls Fortbildungscharakter.

Daneben erfolgte die Erarbeitung eines „Leitfaden zur Qualitätssicherung von Maßnahmen im Bereich der Talentidentifikation und -entwicklung“. Dieser soll dazu beitragen, das Feld sportpsychologischer Dienstleistungen im Rahmen der Talententwicklung weiter zu professionalisieren. In der noch zu veröffentlichenden finalen Version kann der Leitfaden als ein praxisorientiertes Handwerkszeug für das Qualitätsmanagement bei der sportpsychologisch unterstützten Identifikation und Entwicklung von Talenten dienen. Parallel zu dem für die Betreuung von Athletinnen und Athleten existierenden Leitfaden (Brand et al., 2014) gibt er Anregung und Anleitung, wie sportpsychologische Expertinnen bzw. Experten sowie Spitzensportverbände die eigenen Prozesse und Abläufe auf Verbesserungsmöglichkeiten hin untersuchen und optimieren können.

In dem Leitfaden werden jeweils mehrere Arbeitsmittel in vier Kapiteln angeboten, um einerseits das persönliche Leitbild hinsichtlich der Identifikation und Entwicklung von Talent zu hinterfragen sowie die dem betrieblichen Qualitätsmanagement entnommenen Bereiche der Prozesse, Strukturen und Ergebnisse bei der sportpsychologischen Arbeit der Talententwicklung auf ihre Qualität hin zu überprüfen bzw. qualitätsgesichert zu optimieren. Neben den Handlungsempfehlungen dienen Beispiele aus der Praxis (Projektarbeit) der konkreten Veranschaulichung für die Leserinnen und Leser und einer erleichterten praktischen Umsetzung.

### 3 Zusammenfassung und Fazit

In dem hier vorgestellten Projekt ist es gelungen,

- › durch den Einsatz von Methoden aus der qualitativen Sozialforschung und etablierter Verfahren aus der beruflichen Eignungsdiagnostik
- › gemeinsam mit der Praxis für die Praxis (d. h. unter Einbezug relevanter Personen aus Spitzenverbänden)
- › ein Qualitätsmanagementsystem der sportpsychologisch unterstützten Auswahl und Identifikation von Talenten zu gestalten; und damit
- › ein Best-Practice Modell darüber zu etablieren, wie die Zusammenarbeit zwischen (sportpsychologischer) Wissenschaft und der Praxis des deutschen Leistungssports erfolgreich gelingen kann.

Außerdem resultiert als Projektergebnis ein Leitfaden als Handwerkszeug für die Praxis, der anhand praktischer Tipps die Überprüfung eigenen Handelns zur Talententwicklung auf Ebene der Prozesse, der Dienstleistungsprodukte sowie auf struktureller (organisationaler) Ebene ermöglicht.

## 4 Literatur

- Arbeitskreis Assessment Center e.V. (2016). *Standards der Assessment Center Technik*. Hamburg. Abgerufen von <https://www.forum-assessment.de/images/standards/AkAC-Standards-2016.pdf>
- Benthien, O., & Thomas, N. (2018). Entwicklung und Implementierung erster Elemente eines Qualitätsmanagementsystems sportpsychologisch unterstützter Talententwicklung mit dem Deutschen Segler-Verband. Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.). *BISp- Jahrbuch Forschungsförderung 2016/2017* (S. 199-201). Sportverlag Strauss.
- Brand, R., Benthien, O., Decker, S., Grote, M., Heinz, K., Hust, D., & Wippich, S. (2014). *Leitfaden zur Qualitätssicherung für die sportpsychologische Betreuung im Leistungssport*. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft 2014/4. Sportverlag Strauss.
- Burns, D. (2007). *Systemic Action Research. Strategy for Whole System Change*. Policy Press.
- Burns, D. (2014). Assessing Impact in Dynamic and Complex Environments: Systemic Action Research and Participatory Systemic Inquiry. *CDI Practice Paper*, 8, 1-10. Zugriff am 03.02.2016 unter URL: <http://www.ids.ac.uk/publication/assessing-impact-in-dynamic-and-complex-environments-systemic-action-research-and-participatory-systemic-inquiry>
- Lucia, A. D., & Lepsinger, R. (1999). *The art and science of competency models: Pinpointing critical success factors in organizations*. Jossey-Bass.
- Hoigaard, R., & Johansen, B. (2004). The solution-focused approach in sport psychology. *The Sport Psychologist*, 18, 218-228.
- Paschen, M., Beenen A., Turck, D., & Stöwe, C. (2013). *Assessment Center professionell*. Hogrefe .
- Payne, A.F. Storbacka, K., & Frow, P. (2008). Managing the co-creation of value, *Journal 21 of the Academy of Marketing Science*, 36, 83-96.
- Radatz, S., & Kowanitsch, K. (2002). *Lösungsorientierte Kurzzeitberatung in der OE, Research Summary No. 1*. Verlag Systemisches Management.
- Schmidt, G. (2001). Hypno-Systemische Teamentwicklung - auf dem Weg zum „Dreamteam“. *Lernende Organisation*, 2, 54-79.
- Seale, C. (1999). *The Quality of Qualitative Research*. Sage.

# Analyse von Stress- und Angstreaktionen: Entwicklung eines Interventionsprogramms zur Optimierung der Schiedsrichterleistungen im Volleyball

(AZ 071004/18-20)

Stefanie Klatt<sup>1</sup> (Projektleitung), Lisa-Marie Rückel<sup>1</sup>, Sebastian Brückner<sup>2</sup>, Benjamin Noël<sup>1</sup>, André Jungen<sup>3</sup> & Bernd Strauß<sup>2</sup> (Projektleitung)

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

<sup>2</sup>Westfälische-Wilhelms Universität Münster, Institut für Sportwissenschaft

<sup>3</sup>Technische Universität Dortmund, Fakultät Wirtschaftswissenschaften

## 1 Problem

Schiedsrichter und Schiedsrichterinnen im Sport stehen unter enormem Leistungsdruck. Versagensängste und das Grübeln über eine getroffene Entscheidung gehören zum Alltagsgeschäft. Vor allem in Beobachtungs- und Bewertungssituationen (z. B. durch einen Supervisor) ist der Druck, fehlerfrei zu entscheiden, hoch. Hierbei führen Fehler oder falsche Entscheidungen nicht selten zu einer gesteigerten psychischen Belastung und Stress (Neil et al., 2013). Entscheidend ist jedoch, mit solchen stressigen Situationen und Fehlern umgehen zu können. Während die sportpsychologische Forschung bereits zahlreiche Ergebnisse zu Stress und Coping von Athleten und Athletinnen sowie Mannschaften lieferte, liegen bislang wenige Forschungsarbeiten zur Personengruppe der Schiedsrichter und Schiedsrichterinnen vor. Zwar konnte in den letzten Jahren ein zunehmendes Interesse am Umgang mit Stress- und Angstempfinden von Schiedsrichtern und Schiedsrichterinnen beobachtet werden, jedoch fanden die Forschungsarbeiten größtenteils in der Sportart Fußball Anwendung (beispielsweise Aragão e Pina et al., 2018) und/oder klammerten den Aspekt der Bewältigung häufig aus. Aus diesem Grund wurde dieses Projekt gemeinsam mit dem Deutschen Volleyball-Verband und unter folgender Zielstellung durchgeführt:

- › Identifikation von Stressoren, Stressreaktionen und Bewältigungsstrategien beim Schiedsrichterkader der Volleyball-Bundesliga
- › Entwicklung, Durchführung und Evaluation einer sportpsychologischen Stressmanagement-Intervention.

## 2 Methode

Insgesamt nahmen 24 Schiedsrichter und 14 Schiedsrichterinnen (Durchschnittsalter  $M = 38,29$ ,  $SD = 7,91$  Jahre) aus dem Volleyball-Bundesligakader (1. und 2. Bundesliga) freiwillig an dem Projekt teil und wurden zufällig in eine Interventions- ( $N = 20$ ) und eine Kontrollgruppe ( $N = 18$ ) eingeteilt. Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen wurden zweimal im Rahmen einer randomisiert-kontrollierten Studie bei einem Schiedsrichtereinsatz in der Volleyball Bundesliga (1. und 2. Bundesliga) oder bei den Deutschen Jugendmeisterschaften getestet. Die Interventionsgruppe durchlief ein vierteiliges Stressmanagement-Programm. Während der laufenden Untersuchung erhielt die Kontrollgruppe keine Intervention. Obwohl die Ligen im März 2020 vorzeitig wegen der CoVID-19 Pandemie beendet werden mussten, konnten bis zum Projektende immerhin noch 21 Post-Messungen durchgeführt werden.

Zur Datenerhebung fanden subjektive Fragebögen, semistrukturierte Interviews und eine Pulsmessung Anwendung. Vor dem jeweiligen Spiel beantworteten die Teilnehmer und Teilnehmerinnen die Kurzversion des State-Trait-Angstinventars (STAI). Im Anschluss wurde eine zweiminütige Baseline-Messung der Herzfrequenz (HF) und Herzratenvariabilität (HRV) durchgeführt. Diese Erhebung fand auch während des Spiels statt. Zudem wurden Veränderungen in der HF, stressige Situationen im Spiel (z. B. Beschwerden, kritische Entscheidungen) und das Verhalten der Probanden in diesen Kontexten beobachtet und notiert. Im Anschluss fanden die Interviews statt, wobei die Einschätzung der Teilnehmer und Teilnehmerinnen zum gesamten Spiel und kritischer Phasen erfasst wurde. Insbesondere wurde der Fokus daraufgelegt, Stressoren zu identifizieren, Reaktionen genauer zu verstehen und angewandte Bewältigungsstrategien zu erheben. Zuletzt wurde ein Fragebogen zur Erfassung der Ursachen von Stress (leicht angepasste Version des Basketball Officials Source of Stress Survey, BOSSS; Brand, 2001) sowie erneut der STAI (Grimm, 2009) verwendet. Dieser Ablauf war identisch für die Prä- und Post-Messungen.

### 3 Ergebnisse

Anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse konnten insgesamt vier Gruppen an Stressoren und Stressreaktionen sowie sechs Coping-Strategien ermittelt werden. Als Stressoren wurden *Belastungssituationen im Spiel* (97,4 %), *Anforderungen an das Game Management* (71,1 %), *Situative Rahmenbedingungen* (50,0 %) und *Anforderungen an das eigene Aktivierungsniveau* (39,5 %) berichtet. Die Stressreaktionen konnten unterteilt werden in *Emotionale Stressreaktionen* (92,1 %), *Kognitive Stressreaktionen* (76,3 %), *Veränderungen im Fokus* (42,1 %) und *Reaktionen auf Belastungen* (31,6 %). Um mit Emotionen, Gedanken und stressigen Situationen umgehen zu können, wurde von der Verwendung folgender Bewältigungsstrategien berichtet: *Fokus/Konzentration* (47,4 %), *Selbstregulierung* (50,0 %), *Nach einer Lösung suchen* (39,5 %), *Vorbereitung auf Spiel/Stressor* (34,2 %), *Souveränes Auftreten* (31,6 %) und *Abhaken* (28,9 %).

Zur Realisierung des zweiten Projektziels wurden die Prä- und Post-Ergebnisse der Kontroll- und Interventionsgruppe miteinander verglichen (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Ergebnisse der Interventions- und Kontrollgruppe für die Prä- und Post-Testungen

	Interventionsgruppe Prä-Messung M (SD), N	Interventionsgruppe Post-Messung M (SD), N	Kontrollgruppe Prä-Messung M (SD), N	Kontrollgruppe Post-Messung M (SD), N
<b>STAI (Min: 10; Max: 80)</b>				
State vorher	30,50 (6,97), 8	26,63 (11,33), 8	21,91 (5,54), 11	23,31 (6,96), 13
State nachher	29,43 (10,10), 7	30,00 (12,41), 7	21,69 (9,03), 13	19,08 (5,88), 13
Trait	33,75 (12,91), 8	32,00 (9,10), 8	27,50 (13,31), 12	25,69 (11,43), 13
<b>BOSSS-d (Min: 1, Max: 10)</b>				
Probl. Einzelentscheidung	2,50 (2,90), 7	5,13 (3,60), 8	3,88 (2,92), 12	2,85 (1,65), 13
Körperliche Verletzung	1,38 (0,75), 7	1,00 (0,00), 8	1,25 (0,58), 12	1,42 (0,70), 13
Technikfehler	2,00 (0,38), 7	2,96 (1,77), 8	2,17 (1,67), 12	2,64 (2,08), 12
Soziale Konflikte	1,82 (1,06), 7	3,63 (2,73), 8	1,92 (1,09), 12	1,46 (0,58), 13
Beobachtungsdruck	1,75 (1,66), 7	1,89 (1,07), 7	1,82 (1,08), 11	1,65 (0,97), 12
Gesamt	2,00 (1,13), 7	3,38 (2,18), 7	2,11 (1,03), 11	2,10 (0,76), 12
<b>Physiologische Parameter</b>				
Herzfrequenz vorher	80,09 (12,32), 8	83,89 (15,94), 7	79,27 (13,22), 11	74,94 (9,47), 12
Herzfrequenz nachher	78,78 (9,10), 8	85,68 (9,27), 8	85,40 (11,21), 11	79,36 (10,49), 12
Ø Herzfrequenz Spiel	100,86 (12,44), 8	109,49 (11,42), 7	111,57 (13,17), 9	101,38 (12,58), 13
HRV vorher	32,11 (22,32), 8	20,84 (19,22), 7	25,15 (14,78), 11	35,90 (23,29), 12
HRV nachher	26,79 (12,17), 8	21,68 (9,94), 8	24,91 (12,21), 11	22,14 (12,17), 12
Ø HRV Spiel	17,32 (9,31), 8	21,68 (15,79), 7	15,72 (9,44), 9	25,37 (15,97), 13

Bei der Interventionsgruppe konnte eine leichte Reduzierung in der Zustandsangst vor Spielbeginn (im Sinne von Nervosität, Aufregung etc.) festgestellt werden. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Stressempfindung und die Präsenz von Stressoren in der Post-Messung im Vergleich zum ersten Spiel sowohl bei der Interventions- als auch bei der Kontrollgruppe zunahm. Bei beiden Gruppen konnte eine Zunahme der durchschnittlichen Herzratenvariabilität während des Spiels beobachtet werden, welches ein Indiz für die Zunahme eines entspannten Zustandes lieferte. Dies könnte bei der Interventionsgruppe unter anderem auf die Anwendung von bestimmten Atemtechniken und Entspannungsübungen zurückzuführen sein.

## 4 Diskussion

Die Ermittlung von Stressoren und Stressreaktionen sowie Bewältigungsstrategien des Volleyball-Bundesliga-Schiedsrichterkadern stellte den zentralen Bestandteil des ersten Projektzieles dar. Die hierbei gefundenen Stressoren stützen und ergänzen bisherige Forschungsergebnisse (Neil et al., 2013; Stewart & Ellery, 1996, 1998). Darüber hinaus wurde durch das explorative Untersuchungsdesign ein umfangreicheres Verständnis über Auswirkungen von Stressoren auf Kognition, Körper und Emotion speziell bei Volleyball-Schiedsrichtern und Schiedsrichterinnen ermöglicht. Als letzter Baustein wurden in den Interviews die bisher verwendeten Bewältigungsstrategien identifiziert. Die gefundenen Bewältigungsstrategien konnten dabei helfen, eine gute Grundhaltung (z. B. souveränes Auftreten) und ein gutes Game-Management (z. B. Spieltags-Vorbereitung, Selbstregulierung) zu entwickeln, welche der Entstehung von Stress präventiv entgegenwirken könnten. Kam es im Spiel zu strittigen Situationen, so wurden darüber hinaus zahlreiche Strategien angewandt, welche entweder das Problem lösen (z. B. nach einer Lösung suchen), oder die Stressreaktion reduzieren sollten (z. B. Abhaken).

Das erstellte Interventionsprogramm wurde von den Teilnehmern und Teilnehmerinnen als überdurchschnittlich gut und hilfreich mit dem Befragungsinventar zur Erfassung von Betreuungsqualität in der Sportpsychologie (QS17) (Kleinert & Ohlert, 2012) beurteilt (2,71-2,17 von maximal 3 Punkten).

Die Erkenntnisse des Forschungsprojekts sind für die Praxis, insbesondere für die aktuell zu erbringende Schiedsrichterleistung sowie langfristig für die Aus- und Fortbildung von Schiedsrichtergruppen, von besonderer Relevanz. Die hierbei erarbeiteten Maßnahmen können Schiedsrichtern und Schiedsrichterinnen langfristig dabei helfen, mit Stresssituationen vor, während und nach Volleyballspielen umzugehen. Insbesondere lag der Fokus darauf, Verhaltensweisen und Strategien zur Verbesserung der Schiedsrichterentscheidungen zu entwickeln und zu etablieren. Im Rahmen des Transferkonzepts wurden zudem die Übungen, Techniken und Materialien zum Thema Stressmanagement und Stressregulation an die Schiedsrichtergruppen der Bundesliga- und Perspektivkader sowie an deren Ausbilder und Ausbilderinnen weitergeleitet. Somit soll zukünftig der Umgang mit Stresssituationen bereits in der Grundausbildung Bestand haben. Dies ermöglicht langfristig, aufgrund einer verringerten Auswirkung von Stress auf die Leistung, eine flächendeckende Steigerung und Stabilisierung der Schiedsrichterleistung von den unteren bis zur höchsten Spielklasse.



## 5 Literatur

- Aragão e Pina, J., Passos, A., Araújo, D., & Maynard, M. T. (2018). Football refereeing: An integrative review. *Psychology of Sport and Exercise*, 35, 10-26.
- Brand, R. (2001). *Stress und Stressbewältigung bei Schiedsrichtern im Sport* [Dissertation]. Universität Konstanz
- Grimm, J. (Hrsg.). (2009). *State-Trait-Anxiety Inventory nach Spielberger*. Deutsche Lang- und Kurzversion. MF-Working Paper 2009/02.
- Kleinert, J., & Ohlert, J. (2012). *Erfassung von Betreuungsgqualität in der Sportpsychologie: Das Befragungsinventar QS17*. Deutsche Sporthochschule Köln.
- Neil, R., Bayston, P., Hanton, S., & Wilson, K. (2013). The influence of stress and emotions on association football referees' decision-making. *Sport and Exercise Psychology Review*, 9, 22-41.
- Stewart, M. J., & Ellery, P. J. (1996). Amount of psychological stress reported by high school volleyball officials. *Perceptual and Motor Skills*, 83, 337-338. <https://doi.org/10.2466/pms.1996.83.1.337>
- Stewart, M. J., & Ellery, P. J. (1998). Sources and magnitude of perceived psychological stress in high school volleyball officials. *Perceptual and Motor Skills*, 87, 1275-1282. <https://doi.org/10.2466/pms.1998.87.3f.1275>

# Rahmenkonzeption für die sportpsychologische Ausbildung von Schützinnen bzw. Schützen und deren Trainerinnen und Trainer im Deutschen Schützenbund

(AZ 071617/17-19)

Michael Doppelmayr (Projektleitung) & Karin Steurenthaler

Universität Mainz, Institut für Sportwissenschaft

## 1 Problem

Der Schießsport ist im Gegensatz zu vielen anderen Sportarten deutlich weniger von der körperlichen Fitness der Athleten und Athletinnen geprägt und beruht somit zu einem besonders großen Teil auf den mentalen Fähigkeiten. Ausgangsbasis für das Rahmenkonzept ist die Vorstudie von Ohlert et al. (2018), in der erhoben wurde, in welchem Rahmen Sportpsychologie bisher im Deutschen Schützen Bund (DSB) eingesetzt wurde. Die Ergebnisse zeigten unter anderem, dass beispielsweise nur 30 % aller Athleten und Athletinnen in den 12 Monaten vor der Datenerhebung eine Teilnahme am sportpsychologischen Angebot angegeben haben. Durch die Entwicklung eines umfangreichen Rahmenkonzeptes soll eine deutlich höhere Teilnahme und Verfügbarkeit an sportpsychologischen Angeboten erreicht werden. Dieses Rahmenkonzept soll nach einer Analyse der vorhandenen Strukturen und der Einbindung aller beteiligten Gruppen ein konkretes Konzept für die sportpsychologische Ausbildung und Betreuung sowohl der Sportpsychologen und Sportpsychologinnen als auch der Athleten und Athletinnen inklusive der dafür notwendigen Ausbildungsunterlagen umfassen.

Der Schießsport beinhaltet einige Spezifika, die bei der Entwicklung des Konzeptes eine besondere Herausforderung darstellen. So bietet der Sport vier (bzw. sechs) Disziplinen: Bogen, Flinte (Skeet/Trap), Pistole (Schnellfeuer/Sport), Gewehr, die sowohl inhaltlich als auch logistisch als eigenständige Sportarten anzusehen sind. Pro Disziplin gibt es beispielsweise eigene

Bundestrainer oder Bundestrainerinnen, eigene Kaderkriterien, einen individuellen Trainingsaufbau, eine unterschiedliche Wettkampfsaison und unterschiedliche sportpsychologische Anforderungen. Darüber hinaus gibt es kaum eine Sportart, in der die Verweildauer im Olympia-Kader (OK) so lange (bis zu über 10 Jahre) ist wie im Schießen. Die größte Besonderheit stellt die daraus resultierende Gesamtanzahl aller Sportschützen und Sportschützinnen im Olympia-(OK), Perspektiv-(PK) und Nachwuchskader (NK1) dar, die es sportpsychologisch auszubilden gilt. Selbst innerhalb einer Disziplin finden sich sehr dezentrale Strukturen, die es zusätzlich erschweren, alle Athleten und Athletinnen an einem Ort zusammenzuziehen. Diese Spezifika galt es, bei der Entwicklung des Konzeptes zu berücksichtigen, und machten es gleichzeitig nicht möglich, bestehende Konzepte aus Handball Linz und Ohlert (2016) oder Ski-Alpin (Engbert et al., 2014a, 2014b) auf das Sportschießen zu übertragen.

## 2 Methode

Zu Beginn des Projektes 2018 befanden sich über 800 Athleten im Landeskader (LK) und insgesamt 168 Athleten im NK1, PK oder OK wobei die Anzahl der Personen zwischen den Disziplinen sehr stark variierte.

Zunächst fand eine vertiefte Bearbeitung der Vorstudie von Ohlert et. al. (2016) sowie eine persönliche Kontaktaufnahme mit der Autorin statt. Ebenso wurden die Rahmenkonzepte anderer Sportarten analysiert und eine übersichtliche Darstellung der Strukturen des DSB

(Athletenzahlen, Disziplinen, Ausbildungsstrukturen) erstellt. Des Weiteren wurde Kontakt mit allen im DSB tätigen Sportpsychologen und Sportpsychologinnen aufgenommen, um deren Erfahrungen in das Konzept einfließen zu lassen. Eine erste Konzeptidee wurde an der Bundestrainer Tagung vorgestellt und diskutiert. Nach der ersten Überarbeitung der Konzeptidee wurde das finale Rahmenkonzept entworfen und an alle im DSB tätigen Sportpsychologen und Sportpsychologinnen mit der Bitte um Feedback versendet. Das erhaltene Feedback wurde soweit möglich in das Rahmenkonzept eingearbeitet. Danach erfolgte eine Supervision der Rahmenkonzeption mit Dr. Engbert und Dr. Heiss. Zusätzlich fanden regelmäßig Absprachen zwischen DSB und Projektleitung statt. Final wurde ein Zeitplan für die Umsetzung des Projektes erarbeitet und mit der Ausarbeitung der Module für die Schulung von Athletinnen und Athleten sowie die Ausbildung von Trainerinnen und Trainern begonnen.

### 3 Ergebnisse

Basierend auf den Ergebnissen der Ist-Stand-Analyse von Ohlert et al. (2018) wurde ein sportpsychologisches Ausbildungskonzept entwickelt, das sowohl die vielen aufgezeigten Defizite beheben als auch die Wünsche und Vorschläge aller Betroffenen (Athleten und Athletinnen, Trainer und Trainerinnen, Sportpsychologen und Sportpsychologinnen) berücksichtigt. Erschwerend waren hierbei die beschriebenen strukturellen und personellen Gegebenheiten im DSB, vor allem die Vielzahl der involvierten Personen, die dezentralen Trainingsstrukturen sowie das zur Verfügung stehende Budget und die begrenzte zeitliche Verfügbarkeit der involvierten Personen.

Das entstandene Rahmenkonzept bietet eine umfangreiche sportpsychologische Ausbildung und klare Ausbildungsstrukturen.

Ziel des Konzeptes war es, die Sportschützen und Sportschützinnen ab NK sportpsychologisch auszubilden. Dazu wurden sportpsychologische Basis- und Erweiterungsmodule erstellt, die inhaltlich aufeinander aufbauen und von allen besucht werden sollten. Je höher aber der Kaderstatus der Teilnehmenden ist, desto mehr

Möglichkeit für Einzelgespräche auf freiwilliger Basis sollen zur Vertiefung der sportpsychologischen Bereiche und individueller Themen angeboten werden.

Im NK-1 finden regelmäßig Lehrgänge statt, an denen alle Athleten und Athletinnen für 3-4 Tage gemeinsam trainieren. An zwei dieser Lehrgänge werden in Zukunft je ein sportpsychologischer Workshop angeboten und die Möglichkeit für von den Teilnehmenden gewünschte Einzelgespräche integriert. In den Workshops werden Themen wie „Konzentration und Aufmerksamkeit“, „Visualisierung“ u. v. m. behandelt.

Im PK und OK finden ebenfalls regelmäßige Lehrgänge statt. Hier werden entsprechend des Rahmenkonzeptes in Zukunft in einem erhöhten Ausmaß vertiefende, sportpsychologische Inhalte erörtert und geübt. Inhaltlich handelt es sich um sportpsychologische Aufbauseminare im Workshop-Format. Die Themen orientieren sich am Saisonablauf und werden in Rücksprache mit dem jeweiligen Trainer bzw. der jeweiligen Trainerin festgelegt. Zu den Themenbereichen gehören etwa „Selbstwahrnehmung“, „Stressverarbeitung“ u. v. m. Die Zeit und Möglichkeit für Einzelgespräche werden erhöht.

Auch für die Trainer und Trainerinnen der unterschiedlichen Stufen werden je nach Zielgruppe spezielle Weiterbildungsseminare und Übungen angeboten. Ebenso wurde ein spezieller Plan für die Wettkampfbegleitung erarbeitet.

Das Konzept kann und soll bei Bedarf in Zukunft modifiziert und aktualisiert werden. Inhaltliche Module können ergänzt und/oder durch andere Themen ersetzt werden. Das Rahmenkonzept stellt somit erstmals einen strukturierten, einheitlichen Rahmen zur sportpsychologischen Ausbildung der Athleten und Athletinnen sowie auch der Trainer und Trainerinnen dar.

Seit Anfang 2019 wurde mit der schrittweisen Umsetzung des Konzeptes in die Praxis begonnen. Im Januar 2019 wurden die ersten Module der sportpsychologischen Schulung im NK-1 Schnellfeuer Pistole umgesetzt. Neben den Themen „Äußere und innere Wettkampfvorbereitung“ wurden die Module „Selbstvertrauen“ und „Ressourcenaktivierung“ geschult. Die ersten Rückmeldungen der Beteiligten waren sehr positiv, und die aktive und intensive Mitarbeit spricht für gelungene Workshops.

Im Februar 2019 fand der jährliche Arbeitskreis (AK) Sportpsychologie im Bundesleistungszentrum (BLZ) in Wiesbaden statt. Hier wurde den im DSB tätigen Sportpsychologen und Sportpsychologinnen das neue Rahmenkonzept vorgestellt. Anschließend erfolgte eine Diskussion über verschiedene Aspekte des dargestellten Rahmenkonzeptes. Ebenso wurden am Ende beispielhaft bereits erstellte Unterlagen zu den sportpsychologischen Workshops präsentiert. Diese bieten neben den für die sportpsychologische Betreuung und Schulung notwendigen Vortragsunterlagen zusätzlich auch leicht anwendbares Arbeitsmaterial in Form von Übungsblättern, Fragebögen und Anleitungen zu praktischen Übungen wie z. B. Entspannungstraining und Achtsamkeit. Die Psychologen und Psychologinnen wurden eingeladen, diese umfangreichen und gut aufbereiteten Unterlagen in ihren Lehrgängen einzusetzen, wobei Rückmeldungen erbeten wurden, um diese später auch einbinden zu können.

Im März 2019 wurden im Rahmen der B-Trainer Ausbildung vom Deutschen Schützenbund die ersten Module der B-Trainer-Ausbildung umgesetzt. Die B-Trainer Ausbildung umfasst insgesamt 12 Lehr-Lerneinheiten (LE) Sportpsychologie. 4 LE wurden nach dem neuen Rahmenkonzept durchgeführt, die verbleibenden 8 LE nach bisherigem Ausbildungskurriculum. Inhaltlich wurden die Module „Gedankenmanagement“ und „Achtsamkeit im Sportschießen“ vermittelt. Neben der Vermittlung von theoretischem Hintergrund wurden vor allem praktische, anwendungsorientierte Übungen durchgeführt, um die Inhalte so greifbar wie möglich zu gestalten.

Ab Herbst 2019/Januar 2020 wurden erste LK Schulungen an ausgewählten Olympiastützpunkten (OSP) wie z. B. Pforzheim und Suhl durchgeführt.

## 4 Diskussion

Hinsichtlich der generellen Strukturen des Rahmenkonzeptes für den DSB konnten große Fortschritte erzielt werden. Bisherige Defizite im Bereich sportpsychologischer Angebote wurden aufgedeckt und ausgeglichen, Wünsche und Ideen aller Beteiligten im DSB aufgegriffen und eingearbeitet. Entstanden ist ein umfangreiches sportpsychologisches Ausbildungskonzept, welches den finanziellen, strukturellen und inhaltlichen Anforderungen des DSB gerecht wird. Es gibt es jedoch noch weitere Verbesserungsvorschläge, die weiter umgesetzt werden sollen. Besonders relevant ist dabei die Etablierung eines Sportpsychologen oder einer -psychologin in Festanstellung am DSB, als Koordinations- und Ansprechperson, die unter anderem auch den NK-1 sportpsychologisch betreut und kontinuierlich an der Umsetzung und Weiterentwicklung des Konzeptes arbeitet.

Nach der Entwicklung der einzelnen Ausbildungsmodule wurden und werden diese kontinuierlich in die Praxis umgesetzt. Hier ist auch für die Zukunft die Mitarbeit aller Sportpsychologen und Sportpsychologinnen sowie der Trainer und Trainerinnen im DSB gefordert. Alle Sportpsychologen und Sportpsychologinnen im DSB wurden in die Vorbereitung und Ausarbeitung des Konzeptes involviert und sind nun aufgefordert, engagiert an der Umsetzung mitzuarbeiten.

Weitere Studien sind wünschenswert. Vor allem eine umfangreiche Evaluation des Konzeptes nach zwei Jahren und der Vergleich zu den Ergebnissen der Vorstudie von Ohlert et al. (2018) würde einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung der sportpsychologischen Betreuung im Spitzensport leisten. Darüber hinaus könnten auch Einzelbereiche des Konzeptes genauer untersucht werden. Der verstärkte Einsatz von Neurofeedback Geräten sollte überlegt werden und könnte sich hervorragend für die praktische Anwendung in der Sportpsychologie eignen.

Der DSB steht einem Transfer des Rahmenkonzeptes in Kooperation mit anderen Spitzensportverbänden offen gegenüber und ist daran interessiert, erarbeitetes Wissen und Erfahrungen weiter zu geben.

## 5 Literatur

- Engbert, K., Werts, T., Kiss, A., & Beckmann, J. (2014a). *Aus- und Fortbildungscurriculum Sportpsychologie. Ein Gesamtkonzept zur Trainerausbildung Ski Alpin im Deutschen Ski Verband.*
- Engbert, K., Werts, T., Kiss, A., & Beckmann, J. (2014b). *Sportpsychologisches Fertigkeitstraining im Ski Alpin. Ein systematisches Betreuungskonzept.*
- Linz, L., & Ohlert, J. (2016). *Sportpsychologische Verbandskonzeption des Deutschen Handballbundes 2016-2020. 1. Auflage.* Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 2016/02. Sportverlag Strauß.
- Ohlert, J., Kleinert, J., Sulprizio, M., & von Keutz, P. (2018). *Abschlussbericht. Vorbereitung eines disziplinübergreifenden sportpsychologischen Rahmenkonzeptes im Deutschen Schützenbund 2018.*



# Sportpsychologische Betreuung zur Optimierung der Trainings- und Wettkampfqualität der Abteilung Tischtennis des Deutschen Behindertensportverbandes e. V.

(AZ 071602/18-19 und 071601/19-20)

Thorsten Leber & Oliver Höner (Projektleitung)

Eberhard Karls Universität Tübingen, Institut für Sportwissenschaft,  
Arbeitsbereich Sportpsychologie und Methodenlehre

## 1 Problem

Um die fachliche Qualität der sportpsychologischen Begleitung für Paralympisches Tischtennis im Deutschen Behindertensportverband weiter zu optimieren und wissenschaftlich zu untermauern, wurde die Betreuung ab dem Jahr 2016 mit Unterstützung des Instituts für Sportwissenschaft der Universität Tübingen geplant, durchgeführt und evaluiert. Die Einbindung der so konzipierten sportpsychologischen Maßnahmen in zentrale Lehrgänge sollte im Rahmen des hier beschriebenen Projekts fortgeführt und weiterentwickelt werden. Ergänzend sollten auch zwischen Lehrgangmaßnahmen (dezentral oder auf digitalem Weg) kontinuierliche Angebote für Spieler\*innen und Trainer\*innen berücksichtigt werden. Die Schwerpunktsetzung erfolgte entlang der sogenannten Referenzdimensionen des vom Bundesinstitut für

Sportwissenschaft (BISp) geförderten Projekts „Trainings- und Wettkampf-Qualität aus Athleten- und Trainersicht“ (QuATraS; Hänsel, 2013). Besonders relevant erschienen im gegebenen Kontext die Dimensionen „Selbstbezug“, „Trainer“ und (andere) „Sportakteure“. Diese sollten mit den in Tab. 1 dargestellten Maßnahmen bedient werden:

Durch die regelmäßige Bearbeitung dieser Schwerpunkte sollte die Häufigkeit sogenannter kritischer Ereignisse verringert, die wahrgenommene Trainings- und Wettkampfqualität gesteigert und als Konsequenz daraus das vorhandene Leistungspotenzial besser ausgeschöpft werden. Aufgrund der bereits soliden Grundlagen im „Selbstbezug“ verschob sich der inhaltliche Schwerpunkt mehr Richtung „Trainer“ und „Sportakteure“.

Tab. 1: Geplante Interventionen und zugeordnete Referenzdimensionen nach QuATraS

Selbstbezug	Mentale Trainingstechniken zur Verbesserung kognitiver Fertigkeiten sollen vor dem Hintergrund einer handlungspsychologischen Perspektive im Rahmen von Teammaßnahmen und im individuellen Coaching vermittelt und vertieft werden.
Trainer	Systematische und regelmäßige Coach-the-Coach-Maßnahmen sollen die Trainer ganzheitlich – und somit auch im sportpsychologischen Bereich – in die Lage versetzen, sich auf Bedürfnisse von Spielern einzustellen und individuell zu coachen.
(andere) Sportakteure	Leistungsfördernde Mannschaftsprozesse und -strukturen innerhalb und zwischen den verschiedenen Wettkampfklassen sollen gestaltet und optimiert werden.

## 2 Methoden

### 2.1 Diagnostik

Neben den üblichen diagnostischen Qualitätskriterien ist es bei der Arbeit im Feld Leistungssport immer wieder eine große Herausforderung, die zeitlich begrenzten Ressourcen der beteiligten Akteur\*innen mit dem fachlichwissenschaftlichen Anspruch (Fisseni, 1997; Sedlmeier & Renkewitz, 2013) in Einklang zu bringen. Vor dem Hintergrund sich daraus ergebender testökonomischer Abwägungen stellten Befragungen und Beobachtungen ein wesentliches und vor allem flexibel einsetzbares diagnostisches Instrument für die Planung von Interventionen dar. Dazu konnte neben der Live-Beobachtung mittlerweile auch die aus dem Projekt „Wettkampfdiagnostik im Para-Tischtennis“ der TU München (Fuchs & Lames, 2017) entstandene Spieldatenbank genutzt werden.

Bei Bedarf wurden diese auf breiter Basis eingesetzten Verfahren durch standardisierte Testinstrumente ergänzt. In der Tübinger Projektgruppe liegen insbesondere umfangreiche Erfahrungen im Umgang mit relevanten Diagnostiken vor (siehe u. a. Kämpfe et al., 2014; Feichtinger, 2015; Höner & Feichtinger, 2016). Im Jahr 2018 fand in Teilen der Projektgruppe außerdem eine intensive Auseinandersetzung mit der Gestaltung von Rückmeldungen zu Ergebnissen aus sportpsychologischer Diagnostik statt (Höner, Leber & Feichtinger, 2018), deren Erkenntnisse in der zweiten Projekthälfte bereits im Praxistransfer genutzt werden konnten.

### 2.2 Intervention

Die sportpsychologischen Maßnahmen wurden in der Projektplanung in zwei Stufen unterteilt. Die Grundlagenstufe richtete sich in erster Linie an unerfahrene Spieler\*innen (v. a. C-Kader) mit geringer sportpsychologischer Vorerfahrung und basiert vor allem auf Vorträgen und strukturierten Übungen. Die Aufbaustufe ist auf erfahrenere Spieler (v. a. A/B-Kader) zugeschnitten und beinhaltet moderiertes Erarbeiten von Strategien auf Basis der Grundlagenstufe. Letztere zeichnet sich durch weniger Standardisierung und mehr individuelle und bedarfsgerechte Gestaltungsmöglichkeiten aus. Unabhängig von

der Grundkonzeption waren individuelle Maßnahmen in beiden Stufen durch einen freiwilligen und klientenzentrierten Charakter geprägt. Dies trifft auch auf die Zusammenarbeit mit den Trainer\*innen zu. Ihnen sollten vor allem durch situatives Coaching neue Strategien vermittelt und vorhandene verfeinert werden. Neben Basiswissen über sportpsychologische Trainingsstrategien werden dabei auch spezielle Aspekte des Coachings und der Gesprächsführung berücksichtigt (u. a. Linz, 2014; Hermann & Mayer, 2014).

Individuelle Maßnahmen sollten die Erkenntnisse, die aus den Maßnahmen in Gruppen bereits bekannt sind, möglichst gut anpassen und weiter vertiefen. Die Planung erfolgte in enger Absprache mit den jeweiligen Spieler\*innen und – soweit unter Rücksichtnahme auf Vertraulichkeit sinnvoll und möglich – unter Einbezug der verantwortlichen Trainer\*innen.

Wie bereits im Abschnitt Diagnostik zeigte sich auch für die Interventionen der Mehrwert der Spieldatenbank als Basis und Erweiterung für klassische sportpsychologische Interventionen.

### 2.3 Evaluation

Prozessbegleitend fanden bei allen Maßnahmen Feedbackgespräche mit den Verantwortlichen statt. Soweit angemessen und möglich wurden auch Einschätzungen von Spieler\*innen eingefordert. Nach Saisonende wurden ausführliche Gespräche mit Spielersprecher\*innen und Trainer\*innen geführt, um eine qualitative Rückmeldung zu den durchgeführten Maßnahmen zu bekommen.

Zum Ende der Projektlaufzeit (Januar/Februar 2020) konnte zum systematischen Abgleich erneut ein standardisierter Evaluationsbogen bearbeitet werden. Der Bogen basiert auf dem zur Evaluation sportpsychologischer Betreuung entwickelten Inventar „Qualitätssicherung 17“ (QS17; Kleinert & Ohlert, 2014) und beinhaltet die Skalen „Betreuungsverhältnis“, „Entwicklung Fähigkeiten/Fertigkeiten“, sowie „Einfluss auf Wohlbefinden und Wettkampfleistung“. Dabei ist zu beachten, dass das Projektende mit einigen Wochen Abstand zur letzten zentralen Maßnahme unter sportpsychologischer Beteiligung stattfand. Danach gab es nicht mehr zu allen Spieler\*innen regelmäßigen Kontakt. Dies

kann sich möglicherweise auf die Genauigkeit der Evaluationsdaten ausgewirkt haben.

### 3 Ergebnisse und Evaluation

#### 3.1 Vermittlung und Anwendbarkeit sportpsychologischer Inhalte

Die mündlichen Rückmeldungen waren insgesamt positiv. Im Hinblick auf mögliche Verbesserungspotenziale enthielten sie vor allem Wünsche für die Vertiefung einzelner Themen sowie die Art der Zusammenarbeit mit einzelnen Personen. Die Ergebnisse der Evaluation weisen auf eine insgesamt tendenziell positivere Wahrnehmung der Betreuung im Vergleich zum Zeitraum 2016 und 2018 hin (siehe Abb. 1a, 1b, 1c /Tab. 2). Die Werte deuten außerdem darauf hin, dass Betreuer\*innen auf der Skala Fähigkeiten/Fertigkeiten mehr profitiert haben als Spieler\*innen (siehe Abb. 1b). Insgesamt ist eine positive Tendenz über die Erhebungszeiträume festzustellen.

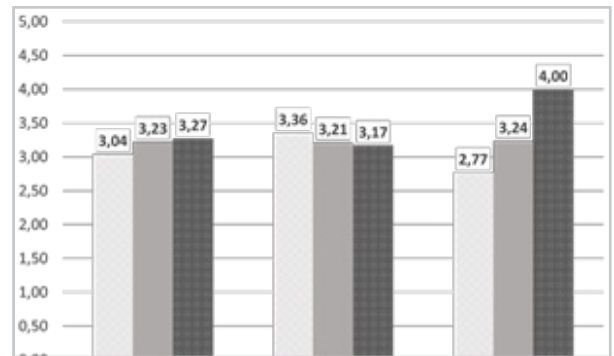


Abb. 1b: Fähigkeiten / Fertigkeiten

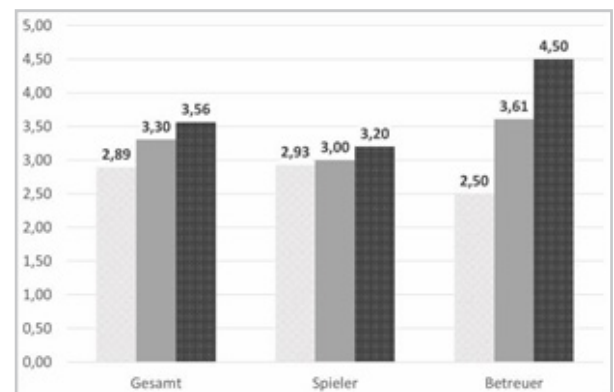


Abb. 1c: Wohlbefinden / Wettkampfleistung

Abb. 1 a)-c): Mittelwerte der Skalen aus QS17 der Erhebungszeitpunkte für die Zeiträume 2016 (N = 15), 2018 (N = 14) und 2019 (N = 11). Skala: 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“.

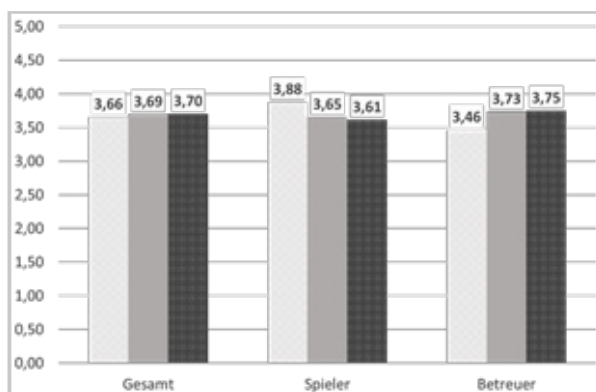


Abb. 1a: Betreuungsverhältnis

Tab. 2: Mittelwerte (Standardabweichungen) aus QS17 (Skala: 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“)

	2016 (N = 15)	2018 (N = 14)	2019 (N = 11)	
Fähigkeiten / Fertigkeiten	Gesamt	3,04 (0,68)	3,23 (0,67)	3,27 (0,91)
	Spieler	3,36 (0,31)	3,21 (0,52)	3,17 (0,88)
	Betreuer	2,77 (0,61)	3,24 (0,69)	4,00 (1,15)
Wohlbefinden / Wettkampfleistung	Gesamt	2,89 (0,53)	3,30 (0,71)	3,56 (1,03)
	Spieler	2,93 (0,35)	3,00 (0,77)	3,20 (0,99)
	Betreuer	2,50 (0,51)	3,61 (0,72)	4,50 (1,00)
Betreuungsverhältnis	Gesamt	3,66 (0,38)	3,69 (0,39)	3,70 (0,40)
	Spieler	3,88 (0,19)	3,65 (0,43)	3,61 (0,41)
	Betreuer	3,46 (0,39)	3,73 (0,38)	3,75 (0,50)

## 4 Transfer und Fazit

Die ausgewerteten quantitativen und qualitativen Rückmeldungen lassen den Schluss zu, dass die sportpsychologische Betreuung im paralympischen Tischtennis insbesondere zu positiven Effekten bei den zwischenmenschlichen Faktoren „Trainer“ und „andere Sportakteure“ im Sinne der QuATraS-Dimensionen führte. Letzteres ergibt sich vor allem aus den qualitativen Rückmeldungen. Darin spiegeln sich auch die gewählten inhaltlichen Schwerpunkte bei den zentralen Maßnahmen wider. Offene Anmerkungen zur Betreuung bezogen sich vor allem auf Vertiefungen in nachfolgende Projektphasen und kamen überwiegend von Betreuer\*innenseite. Themen waren unter anderem sportpsychologische Techniken („Selbstbezug“) und eine andere Akzentuierung der Zusammenarbeit mit Trainer\*innen im Rahmen von Weltranglistenturnieren („Trainer“ / „Selbstbezug“).

Während der Projektlaufzeit und auch in der Rückschau wurde das Potenzial einer engeren Zusammenarbeit mit dem Projekt „Wettkampfdiagnostik im Para-Tischtennis“ (ZMV14-071604/17, Fuchs & Lames 2017) deutlich ersichtlich. Die Möglichkeiten der Video- und Wettkampfanalyse konnten nicht nur erwartungsgemäß für die Spielbeobachtung und -analyse genutzt werden, es ergaben sich auch verschiedene Möglichkeiten, Material aus der Videodatenbank in sportpsychologische Interventionen einzubinden, die noch nicht voll ausgeschöpft werden konnten. Trotzdem ist es gelungen, den verantwortlichen Experten im Bereich Videoanalyse für die sportpsychologische Perspektive zu sensibilisieren, so dass dieser Maßnahmen in Absprache mit dem Sportpsychologen anstoßen kann. Weiterhin konnten Erkenntnisse aus der Auseinandersetzung von Höner, Leber und Feichtinger (2018) in Bezug auf den Übertrag von Ergebnissen evidenzbasierter Diagnostik in zielführende, personenzentrierte Interventionen im Anwendungsfeld erprobt werden. Die Fortführung und Vertiefung beider in diesem Abschnitt genannten Aspekte sollte zukünftig angestrebt werden.

## 5 Literatur

- Feichtinger, P. (2015). *Psychological diagnostics in the talent development program of the German Soccer Association: A stepwise procedure to examine the relevance of personality characteristics in talented soccer players*. Unveröffentlichte Dissertation, Universität Tübingen.
- Feichtinger, P. & Höner, O. (2017). Psychologische Diagnostik im deutschen Nachwuchsleistungsfußball: Wissenschaftliche Fundierung einer Online-Befragung an den DFB-Stützpunkten. *Leistungssport*, 47 (2), S. 17-21.
- Fisseni, H. J. (1997). *Lehrbuch der psychologischen Diagnostik*. Göttingen: Hogrefe.
- Fuchs, M., & Lames, M. (2017). Rally length in top level table tennis. In M. Kondric, X. Zhang, & D. Xiao (Eds.), *Science and racket sports V* (pp. 213–221). Suzhou: Soochow University Press.
- Hänsel, F. (2013). *Trainings- und Wettkampfqualität aus Athleten- und Trainersicht*. BISp-Symposium Erfolgsfaktor Trainer. Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.
- Hermann, H.-D. & Mayer, J. (2014). *Make them go. Was wir vom Coaching der Spitzensportler lernen können*. Hamburg: Murmann.
- Höner, O., Leber, T. & Feichtinger, P. (2018). *Using evidence-based psychological diagnostics for talent development: An application example in an elite German youth soccer academy*. Proceedings of the Association for Applied Sport Psychology (AASP) 33rd Annual Conference in Toronto, ON.
- Kämpfe, A., Höner, O. & Willimczik, K. (2014). Multiplicity and Development of Achievement Motivation: A Comparative Study between German Elite Athletes with and without a Disability. *European journal of adapted physical activity*, 7 (1), 32-48.
- Kleinert, J., & Ohlert, J. (2014). *QS17 – Qualitätssicherung 17 (Befragungsinventar zur Erfassung der Betreuungsqualität)*. Tests Info.
- Linz, L. (2014). *Erfolgreiches Teamcoaching* (4. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer.
- Sedlmeier, P., & Renkewitz, F. (2013). *Forschungsmethoden und Statistik*. Pearson: Hallbergmoos.

# Sportanlagen und Sporttechnologie





# Entwicklung eines mobilen, rückwirkungsfreien Monitoringsystems zur dehnungsbasierten Erfassung von Belastungen am Skistock – SmaPole

(AZ 071503/18-19)

Philip Johannes Steinbild<sup>1</sup>, Uwe Hentschel<sup>1</sup>, Andree Schwaar<sup>1</sup>, Martin Dannemann<sup>1</sup>, Niels Modler<sup>1</sup> (Projektleitung), Axel Schürer<sup>2</sup>, André Wilhelm<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Dresden, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (TUD-ILK)

<sup>2</sup>Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT), Leipzig

## 1 Motivation und Herausforderungen

Die individuelle Überwachung der technikbezogenen Parameter von Aktiven ist entscheidend, um mögliche athletenindividuelle Defizite zu identifizieren, die korrigiert werden müssen, um die Leistung des Aktiven im Wettkampf zu optimieren. Um relevante biomechanische Parameter während des Trainings im Gelände erfassen zu können, ist die Entwicklung von Monitoringsystemen, die das volle Potenzial des digitalisierten Sports ausschöpfen, von zentraler Bedeutung.

Im Allgemeinen sind zwei Ansatzarten für Messsysteme im Bereich des Skilanglaufs bekannt:

- Kraftmessplattformen auf dem Laufweg (bspw. Vähäsöyrinki et al., 2008) und
- Kraftaufnehmer am Skistock (bspw. Wank, Heger & Rapp, 2014).

Einschränkungen und Herausforderungen sind insbesondere hinsichtlich der uniaxialen Kraftaufnahme, des Gewichts des Messsystems und der Signalbereitstellung gegeben. Aufgrund komplexer Bewegungsabläufe bringt ein Aktiver zusätzlich zur uniaxialen Längskraft noch andere Belastungen wie Querkräfte und Momente in den Stock ein, welche die Effizienz des Stockschubs vermindern. Durch Kraftaufnehmer mit Scherkraftentkopplung bringen bekannte Messsysteme viel Gewicht in den

Stock ein, was zu einer Verschlechterung des Schwungverhaltens führt und ein Ablehnen der Aktiven nach sich zieht. Hinsichtlich der Signalbereitstellung sind mittlerweile auch Systeme bekannt, die die Messdaten drahtlos übertragen können und so den Einsatz von Kabeln überflüssig machen. Jedoch ist ein solches System im fokussierten Einsatzgebiet Skistock bisher nicht in der Lage, allen angeführten Einschränkungen und Herausforderungen hinreichend zu begegnen. Ein Monitoringsystem, welches über ein Smartphone einfach zu bedienen ist, ein Live-Feedback mit erweiterten Effizienzmessungen ermöglicht und gleichzeitig eine geringe Masse aufweist ist bisher noch nicht bekannt.

## 2 Methode

Im Vorfeld zum nun abgeschlossenen Projekt wurde in den Jahren 2016 und 2017 das Projekt EviS bearbeitet und erfolgreich abgeschlossen (Höhne et al., 2018). Bei EviS wurden erstmals Dehnungsmessstreifen (DMS) direkt am Stock appliziert, und die Axiallast konnte nach einer Kalibrierung gemessen werden. Das EviS-Messsystem nutzte insgesamt vier DMS pro Stock, zwei aktive DMS zur Messung der eigentlichen Dehnung, die durch die Axiallast hervorgerufen wird, und zwei weitere DMS zur Temperaturkompensation. Der Stock kann hierbei als Teil des Messelements betrachtet werden, da sein mechanisches Verhalten direkt zur Belastungsmessung genutzt wird. Zusätzliches Mess-equipment wie bspw. scherkraftentkoppelte Kraftaufnehmer können so eingespart werden.

Des Weiteren wurde ein direkt neben den DMS angebrachtes Messmodul und ein am Trinkgurt des Aktiven angebrachtes Signalverarbeitungssystem eingesetzt. Das Messmodul war über ein Kabel mit dem Signalverarbeitungssystem verbunden. Das EviS-Messsystem bildet die Basis für das entwickelte Messsystem im nun abgeschlossenen Projekt SmaPole.

### 3 Ergebnisse

Das Messsystem, welches im EviS-Projekt entwickelt wurde, fokussierte sich auf die einaxige Kraftmessung in Axialrichtung des Stocks. Das im Projekt SmaPole entwickelte Messsystem hat zum Ziel, nicht nur einaxige Kraftmessungen, sondern auch Biegemomente bzw. die Verbiegung des Stocks in verschiedenen Richtungen zu messen und somit Verluste durch Technikdefizite aufzuzeigen.

#### 3.1 Messaufbau

Für die Dehnungsmessung wurden insgesamt 6 metallische DMS (Typ FLAB-10-350-11, Preuser-Messtechnik GmbH) mit einem k-Faktor von ca. 2,1 % an jeden Stock angebracht.

Der Messaufbau besteht aus drei separaten Wheatstone-Brücken, die jeweils als Halbbrücke konfiguriert sind. Jede Brücke enthält zwei DMS – einen „aktiven“ DMS, der die Verformung des Stocks an der jeweiligen Position misst, und einen DMS, der zur Temperaturkompensation verwendet wird. Die aktiven DMS sind, wie in Abb. 1a) dargestellt, an den Seiten des Stocks unter dem entsprechenden Winkel zur Laufrichtung appliziert. Die DMS für die Temperaturkompensation werden auf separate Plättchen

geklebt, die aus einem (faserverstärkten) Material mit der gleichen Wärmeausdehnung wie das Material des Stocks bestehen. Diese Plättchen wurden mit der Klebestelle unterhalb der Lötstelle auf den Stock geklebt (Abb. 1b), so dass die temperaturkompensierenden DMS frei von mechanischen Belastungen sind.

In jedem Stock ist ein separates drahtloses Messsystem montiert. Das speziell entwickelte miniaturisierte elektronische System besteht aus zwei Elektronikplatinen, dem Messmodul und dem Signalverarbeitungsmodul, die jeweils 4 leitende Schichten in der Dicke aufweisen und „Rücken an Rücken“ montiert sind (Abb. 2, siehe Seite 3). Aufgrund des begrenzten Platzes im Inneren des Stocks hat das so entstandene Elektronikmodul eine maximale Breite von 15 mm. Aufgrund der geringen Breite weist das Elektronikmodul eine relativ hohe Länge auf (100 mm). Die grundlegenden Eigenschaften der Module sind in Tab. 1 angegeben. Zur Berechnung der räumlichen Position des Stocks wird der aufgelistete 3D-Beschleunigungsmesser verwendet.

Die Messgrößen (Dehnung, Beschleunigung, Temperatur) werden vom Messmodul erfasst, verstärkt und gefiltert und an das Signalverarbeitungsmodul weitergeleitet. Das Signalverarbeitungsmodul digitalisiert die analogen Signale des Messmoduls und überträgt sie mit Hilfe des Mikroprozessors und des Bluetooth-Chips auf ein Smartphone. Das Smartphone empfängt die Daten mit Hilfe einer speziell für Android 7.0 und höher entwickelten App. Die Gestaltung der App ermöglicht eine einfache Bedienung des Messsystems, was für eine hohe Akzeptanz beim Anwendenden sorgt.

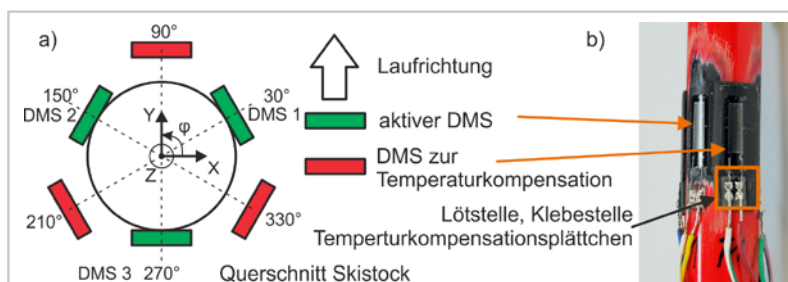


Abb.1: Schematische Positionierung der DMS (a) und am Stock applizierte DMS (b)

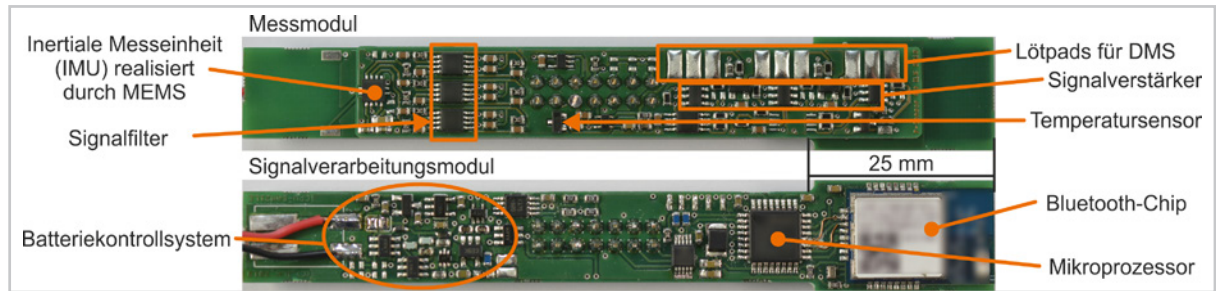


Abb 2: Messmodul (Analogseite, oben) und Signalverarbeitungsmodul (Digitalseite, unten) des Elektronikmoduls

Tab. 1: Grundlegende Eigenschaften des innerhalb des Projekts SmaPole entwickelten Elektronikmoduls

Eigenschaft	Messmodul	Signalverarbeitungsmodul
<b>Grundlegende elektronische Bauteile</b>	3 Wheatstone-Brücken; Signalverstärker; 3D-Beschleunigungsmesser (IMU, MEMS); Tiefpassfilter; Temperatursensor; Kabel von den DMS (5-adrig);	Mikroprozessor; Bluetooth-Chip; A/D-Wandler; Li-Ion-Akku, 3,7 V, 300 mAh; Kabel zum Mikro-USB-Port zum Laden (3-adrig);
<b>Gewicht</b>	ca. 32 g (inkl. Halterung, Kabel und DMS)	
<b>Abmessungen (max.)</b>	15 mm × 100 mm × 7 mm	
<b>Position</b>	Innerhalb des Aufnahmeinserts, siehe Abb. 4	

Zurzeit ist eine Messfrequenz von 512 Hz möglich. Diese Messfrequenz wird jedoch nicht durch das Messsystem, sondern durch die am Markt vorhandenen Smartphones und dem in diesen eingesetzten Bluetooth Low Energy (BLE)-Standard begrenzt. Mit einem passenden BLE-Standard wäre das Messsystem zu deutlich höheren Messfrequenzen in der Lage.

Die DMS werden über ein 5-adriges Kabel mit Strom versorgt und an das Messmodul angeschlossen. Der verwendete Lithium-Ionen (Li-Ion)-Akku wird über einen Mikro-USB-Anschluss und ein Kabel mit 3 Leitern geladen (siehe Tab. 1 und Abb. 4). Bei dauerhaftem Senden von Daten über die Bluetooth-Verbindung ergibt sich eine maximale Stromaufnahme von 30 mA. Der eingesetzte Li-Ion-Akku verfügt über eine Kapazität von 300 mAh und ermöglicht so eine Laufzeit von ca. 10 h. Diese Akkulebensdauer ist für die sportwissenschaftlichen Untersuchungen ausreichend.

### 3.2 Berechnung von Biegungs- und Kraftkomponenten, Kalibrierung

Die Bestimmung der Axialkraft wurde durch einen Druckversuch der DMS bzw. des Messsystems am Stock ermöglicht. Dies geschah vor dem Einsatz des Stocks in einem Druckprüfstand Zwick 1465. Die erforderlichen 6 DMS wurden auf ein Segment aufgebracht, das von einem Stock abgeschnitten wurde. Die DMS wurden an das Messsystem angeschlossen. Über den Druckprüfstand wurde eine Axialkraft aufgebracht. Die Kraft wurde über den Kraftaufnehmer des Druckprüfstandes gemessen. Die Dehnungssignale wurden mit dem entwickelten drahtlosen Messsystem überwacht. Es wurden Signalverläufe wie steile Kraftänderungen verwendet, um die beiden Signale anschließend im Zeitbereich abzugleichen. Mit diesem Test wurde ein einfacher Faktor  $K$  definiert. Die gemessene Dehnung  $\varepsilon$  multipliziert mit dem Faktor  $K$  entspricht der auf den Stock einwirkenden Axialkraft.

Die drei Dehnungssignale, die am Stock gemessen werden, werden für die folgenden Berechnungen der wirksamen Axialkraft und des Biegewinkels des Stocks als drei Vektoren betrachtet, die eine Ebene bilden. Die drei Vektoren entsprechen der Gleichung 1, wobei  $i$  der Nummer des jeweiligen aktiven DMS,  $r$  dem Radius des Stocks an der Position des DMS,  $\varphi$  dem Winkel der Position des DMS um den Stock und  $\varepsilon$  der vom jeweiligen DMS gemessenen Dehnung entspricht (siehe Abb. 1a).

$$\vec{\varepsilon}_i = (x, y, z) = (r \cdot \cos(\varphi), r \cdot \sin(\varphi), \varepsilon_i) \quad (1)$$

Die drei Vektoren aus Gleichung 1 bilden eine Ebene. Die wirksame Axialkraft  $F_a$ , die auf den Stock wirkt kann über Gleichungen 2 und 3 unter Verwendung des Normalvektors der Ebene  $\vec{n}$  berechnet werden. Hierbei ist  $n_z$  die z-Komponente des Normalvektors  $\vec{n}$ .

$$\vec{n} = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \times (\varepsilon_3 - \varepsilon_1) \quad (2)$$

$$F_a = \frac{\vec{n} \cdot \varepsilon_1}{n_z} \cdot K \quad (3)$$

Der Biegewinkel  $\alpha$  (Definition siehe Abb. 3) kann über Gleichung 4 berechnet werden;  $n_y$  ist dabei die y-Komponente des Normalvektors  $\vec{n}$ .  $\alpha$  könnte als relativ einfache Größe für die Effizienz eines Stockeinsatzes nutzbar sein. Weiterhin kann ein Biegewinkel  $\beta$  berechnet werden, falls der Stock leicht um die z-Achse gedreht ist und sich beim Stockeinsatz ebenfalls in x-Richtung verformt. Die Nutzbarkeit dieser Parameter muss allerdings in zukünftigen sportwissenschaftlichen Untersuchungen näher bestimmt werden.

$$\alpha = 90^\circ - \cos^{-1} \left( \frac{n_y}{|\vec{n}|} \right) \quad (4)$$

Vorhandene Fertigungsabweichungen können durch die Einführung von Kompensationsfaktoren in der Berechnung berücksichtigt werden.

### 3.3 Systemintegration in den Skistock

Das gesamte Monitoringsystem einschließlich der Elektronikmodule mit Stromversorgung über Li-Ion-Akku, des Aufnahmeinserts, der DMS, der Kabel und dem Stock ist in Abb. 4 (Seite 5) dargestellt. Zuerst wird der Stockgriff entfernt. Das Messsystem, bestehend aus den beiden Elektronikmodulen, der Batterie und den Anschlusskabeln, wird in den Aufnahmeinsert geschoben, der in den Skistock eingesetzt wird. Der Griff wird auf die Außenfläche des Stocks geklebt, sitzt auf dem Aufnahmeinsert und sichert diesen axial. Die Kabel gehen von der Innenseite des Stocks durch ein Loch im oberen Teil des Skistockgriffs nach unten zu den DMS (nicht in Abb. 4 dargestellt). Knapp oberhalb der Dehnungsmessstreifen ist ein kleiner Druckknopf angebracht, über den sich das System einschalten lässt. Das Ausschalten erfolgt automatisch, wenn nach 5 min keine Bluetooth-Verbindung hergestellt wird.

### 3.4 Erste Tests des Messsystems auf einem Laufband

Am IAT wurden erste Laufbandtests durchgeführt. Der Aktive benutzte hierfür eines der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Messsysteme pro Stock. Da dieser Test nur die Qualität des Signals zeigen sollte, führte der Aktive einen Lauf mit einer definierten Geschwindigkeits-Steigungskombination durch.

Die Ergebnisse der Tests sind exemplarisch in Abb. 5 (Seite 5) dargestellt. Die zwei Diagramme zeigen die wirksame Axialkraft (links), und den Biegewinkel relativ zur XZ-Ebene (siehe Abb. 1 für Koordinatensystem und Gleichungen 1 bis 4).

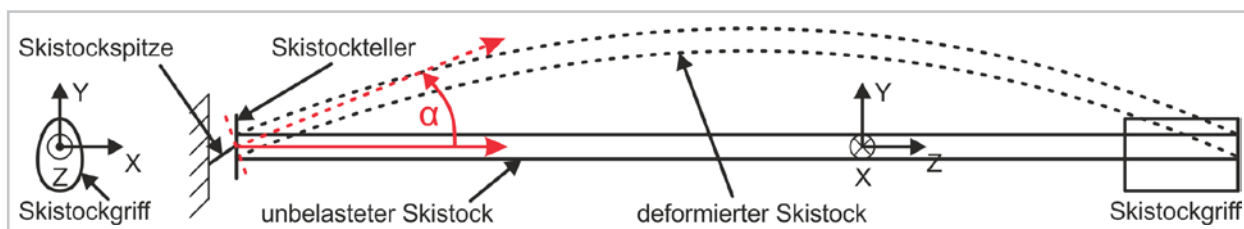


Abb. 3: Definition des Biegewinkels  $\alpha$ : Draufsicht (links) und im Profil (rechts)



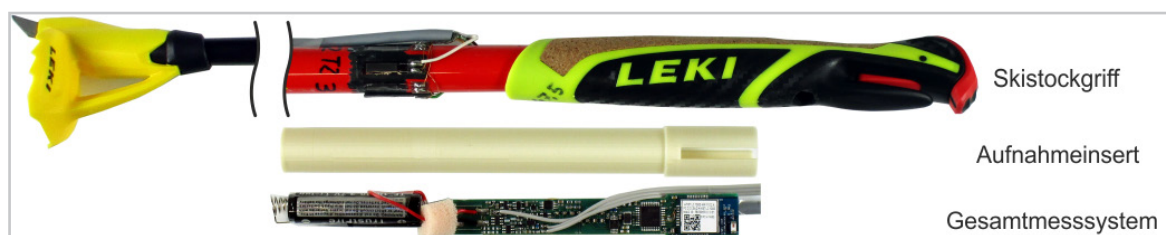


Abb. 4: Skistockgriff mit adhäsiv applizierten DMS am Skistock und Verbindungskabel zur Energieversorgung und Übertragung von Messdaten (oben), Aufnahmeinsert (mittig) und Gesamtmesssystem mit Li-Ion-Akku und Kabeln (unten)

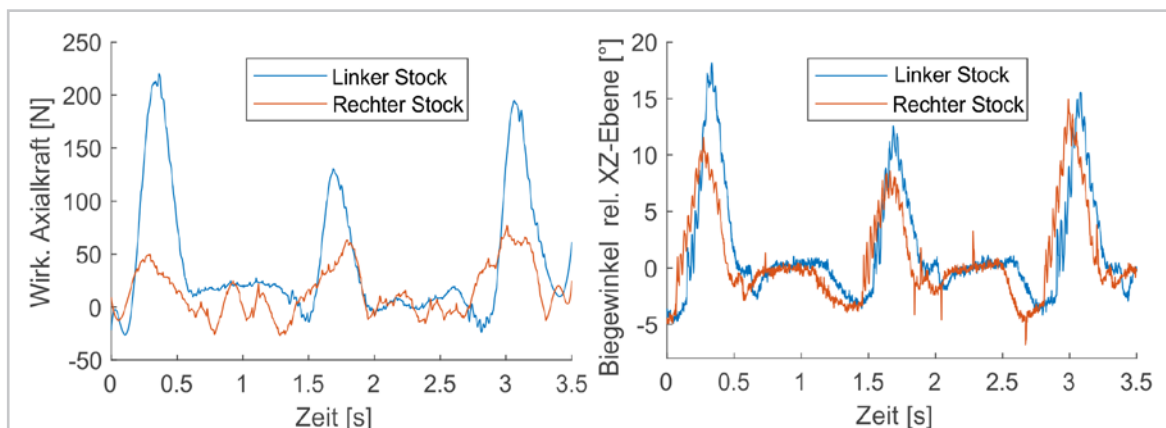


Abb 5: Wirksame Axialkraft (links) und Biegewinkel relativ zur XZ-Ebene (rechts) über eine Zeit von 3,5 s

In diesen Diagrammen ist eine Abfolge von drei Stockeinsätzen zu sehen, die in Doppelstockschubtechnik durchgeführt wurden. Die Lateralitäten in Kraft und Biegung zwischen dem rechten und linken Stock sind nicht nur im Wert, sondern auch in der Zeitdifferenz zwischen den Anfängen der Stockeinsätze zu sehen. Der Stockeinsatz des rechten Stocks beginnt früher als der Einsatz des linken Stocks. Der linke Stock erfährt Kräfte von bis zu 200 N, während der rechte Stock Kräfte von nur 50 N oder weniger erfährt.

Abb. 5, rechts, zeigt den berechneten Biegewinkel für die gleiche Abfolge wie in Abb. 5, links. Das Signal erlaubt eine sehr detaillierte Analyse jedes Stockeinsatzes hinsichtlich der Verbiegung des Stocks.

Vergleicht man die wirksamen Axialkräfte aus Abb. 5, links, mit dem Biegewinkel aus Abb. 5, rechts, so zeigt sich, dass zwar der rechte Stock im Vergleich zum linken Stock geringe Axialkräfte erfährt, die Biegewinkel von rechtem und linkem Stock aber vergleichsweise gut überein-

stimmen. Dieses Verhalten lässt sich besonders gut beim dritten Stockeinsatz beobachten, wo der Spitzenwert des Biegewinkels beider Stöcke bei etwa 15 ° nahezu gleich ist, während sich die wirksame Axialkraft um ca. 150 N unterscheidet. Es ist möglich, dass der Aktive einen Stock in der gleichen Weise wie den anderen Stock biegt, während er gleichzeitig durch den einen Stock geringere wirksame Axialkräfte überträgt. Betrachtet man das Beispiel in Abb. 5, so kann dies bedeuten, dass der Aktive mit dem rechten Arm nicht so stark ist wie mit dem linken Arm, oder dass die Stockeinsatzeffizienz des Aktiven auf der rechten Seite deutlich geringer ist als auf der linken Seite, oder beide Fälle treten mit unterschiedlichen Anteilen auf.

Eine detaillierte Analyse des Signals und der Zusammenhang mit sportwissenschaftlichen Parametern wie der Leistungsfähigkeit des Aktiven wird jedoch Gegenstand künftiger sportwissenschaftlicher Untersuchungen sein und ist nicht Bestandteil dieses Projekts gewesen.

## 4 Diskussion

Im Rahmen des Projekts SmaPole wurde ein Monitoringsystem entwickelt, mit dem die Messung von Axialkräften und Biegungen, die ein Skistock beim Skilanglauf erfährt, möglich ist. Die Entwicklung baute auf den Erkenntnissen aus dem Projekt EviS auf. Das Messsystem basiert auf Dehnungsmessungen, die mit drei DMS durchgeführt werden, die um den Umfang des Skistocks verteilt sind. Das Signal der DMS wird von einer speziell entwickelten miniaturisierten Elektronik erfasst, digitalisiert und dann über Bluetooth an ein Smartphone gesendet. Das Messsystem ermöglicht es, die gemessenen Daten in Echtzeit zu analysieren und Trainern und Wissenschaftlern zur Verfügung zu stellen. Mit einer Masse von ca. 32 g pro Stock, die zum Großteil im Inneren des Stockgriffs positioniert ist, wird das Schwingverhalten des Skistocks nur geringfügig beeinflusst. Das Messsystem übertrifft den Stand der Technik in Bezug auf Spezifikationen, mögliche Messfrequenz und Benutzerfreundlichkeit bei relativ geringer Masse des Gesamtsystems im Vergleich zu anderen in der Literatur beschriebenen Systemen.

Durch den im Rahmen des Projekts entstandenen Messstock-Pool am IAT werden die dortigen Sportwissenschaftler dazu befähigt, detaillierte Technikanalysen für Aktive im Feld durchzuführen. Dies erweitert die Möglichkeiten, die Leistungsreserven von Aktiven im Spitzensport weiter auszunutzen und grundsätzliche sportwissenschaftliche Annahmen zu bestätigen und weiterzuentwickeln.

## 5 Literatur

- Vähäsöyrinki, P., Komi, P.V., Seppälä, S., Ishikawa, M., Kolehmainen, V., Salmi, J. A. & Linnamo, V. (2008). Effect of Skiing Speed on Ski and Pole Forces in Cross-Country Skiing. *Medicine & science in sports & exercise*, 40 (6), 1111-1116.
- Wank, V., Heger, H. & Rapp, W. (2014). Optimierung der Lauftechnik entsprechend den individuellen Voraussetzungen der Athleten im Sitzschlitten-Skilanglauf (AZ IIA1-070403/13). In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2012/13* (S. 141-146). Sportverlag Strauß.
- Höhne, R., Filippatos, A., Pärschke, R., Modler, N., Schürer, A. & Wilhelm, A. (2018). Evaluation eines innovativen Monitoringsystems zur uniaxialen Stockkraftmessung mittels applizierter Dehnmessstreifen – EviS (AZ 072035/16-17). In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2016/17* (S. 297-301). Sportverlag Strauß.

# TRACKSHOT – Dreidimensionale Erfassung des Bewegungsablaufs von Flinte und Scheibe beim Wurfscheibenschießen

(AZ 071506/18-19)

*Ulrich Schwanecke (Projektleitung), Marc Lieser & Henning Tjaden*

Hochschule RheinMain, Fachbereich Design, Informatik, Medien

## 1 Problemstellung

Das olympische Flintenschießen zählt seit 1900 zu den olympischen Sportarten und ist mit den Skeet- und Trap-Disziplinen vertreten. Den Anschluss an die internationale Spitze und die Heranführung der deutschen Athletinnen und Athleten an die Weltspitze ist ein Ziel in der Disziplingruppe Flinte des Deutschen Schützenbundes (DSB). Beim Flintenschießen ist eine exakte Zielbildherstellung unerlässlich für ein erfolgreiches Treffen der Wurfscheibe. Das Zielbild wird dabei von Faktoren wie dem Vorhaltemaß oder der Geschwindigkeit, mit der die Flinte im Raum bewegt wird, bestimmt und ist von der Reaktions- und Beschleunigungszeit des Individuums abhängig.

Die Diagnostik hierfür beschränkt sich bislang auf eine einzelne Kamera, die am Lauf der Flinte (Laufkamera) befestigt wird und so eine zweidimensionale Abbildung des sogenannten Zielbildes liefert. Mit diesem Verfahren ist es nicht möglich, die Ausrichtung des Sportgerätes sowie der Wurfscheibe im dreidimensionalen Raum zu bestimmen. Auch die Relativbewegung zwischen Wurfscheibe und Flinte lässt sich auf diese Art nicht ermitteln. Gerade die Bestimmung der Position der Wurfscheibe im dreidimensionalen Raum und die exakte Ausrichtung des Sportgerätes relativ dazu stellt aber eine zentrale Anforderung dar, welche die Leistungsdiagnostik des DSB bislang nicht erfüllen konnte.

## 2 Methode

Sowohl die Position und Orientierung (Pose) des Gewehrlaufs als auch die Positionen der Wurfscheiben müssen optisch erfasst und innerhalb eines Referenzkoordinatensystems bestimmt werden. Das System soll sowohl Sportlerinnen und Sportlern als auch Trainerinnen und Trainern eine exakte und zeitnahe Auswertung und Interpretation der Bewegungsabläufe während der Zielbildherstellung ermöglichen. Um diese Bewegungsabläufe nicht zu beeinflussen, müssen notwendige, am Gewehrlauf angebrachte Sensoren so leicht wie möglich sein und sollten nicht mit einem Kabel mit dem Computer verbunden sein. Neben der zu verfolgenden sensor-basierten Lösung sollen auch modellbasierte Verfahren, die ohne zusätzliche Sensoren auskommen, untersucht werden. Bei der Segmentierung und Verfolgung der Wurfscheiben sollen Verfahren des maschinellen Lernens mit traditionellen Verfahren der Bildverarbeitung verglichen werden. Hohe Bildraten und -auflösungen sollen eine möglichst genaue zeitliche als auch örtliche Bestimmung der Wurfscheiben ermöglichen. Das System soll bei ausreichender Genauigkeit kostengünstig sein, um es an mehreren Trainings-Stützpunkten einsetzen zu können und außerdem so portabel sein, dass es dort zwischen den verschiedenen Abschusspositionen transportiert werden kann.

### 3 Ergebnisse

Der entwickelte Kamera-Aufbau ist in Abb. 1 dargestellt. Die hohen Bildfrequenzen und hochaufgelösten Bilder stellen hohe Anforderungen an Hard- und Software.

Die zeitlich synchronisierte Auslösung aller Kameras wurde durch eine prototypische, im Kabel verlötete, aktive, elektronische Schaltung realisiert, sodass die implementierte Anwendung zur Akquirierung der Bilder (siehe Abb. 2) die Referenzkamera auslöst, welche wiederum die passiven Kameras synchron auslösen lässt.

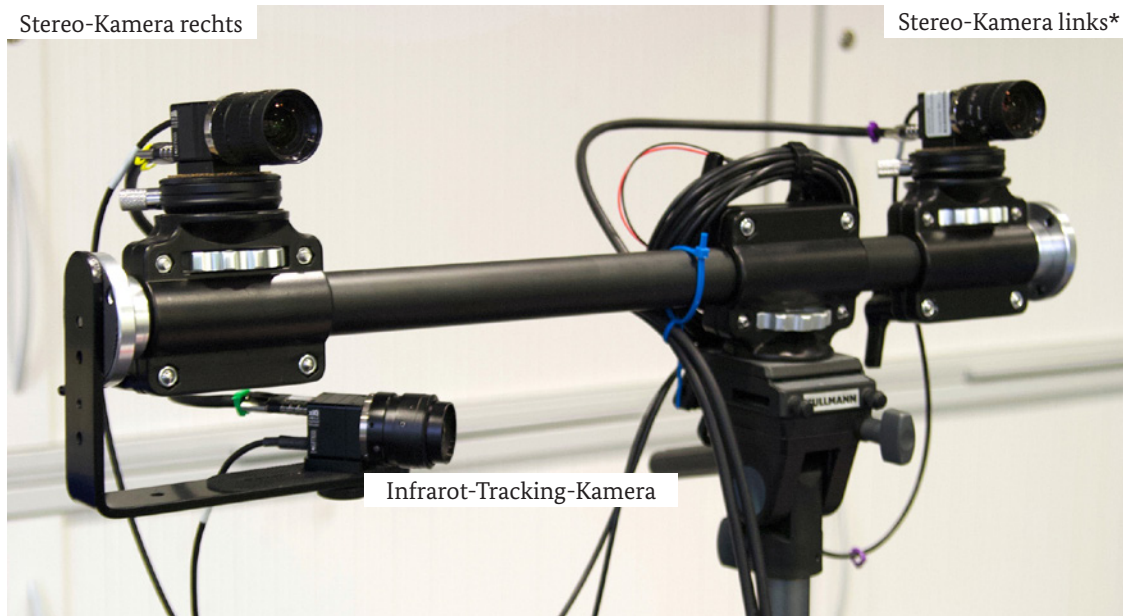


Abb. 1: Hardware-Aufbau bestehend aus drei Kameras, die mit einem aktiven Kabel zur Hardware-basierenden Synchronisierung der Kamera-Auslösungen verbunden sind. Die rechte Stereo-Kamera und die Infrarot-Tracking-Kamera werden in das Koordinatensystem der Referenzkamera (\*) registriert.

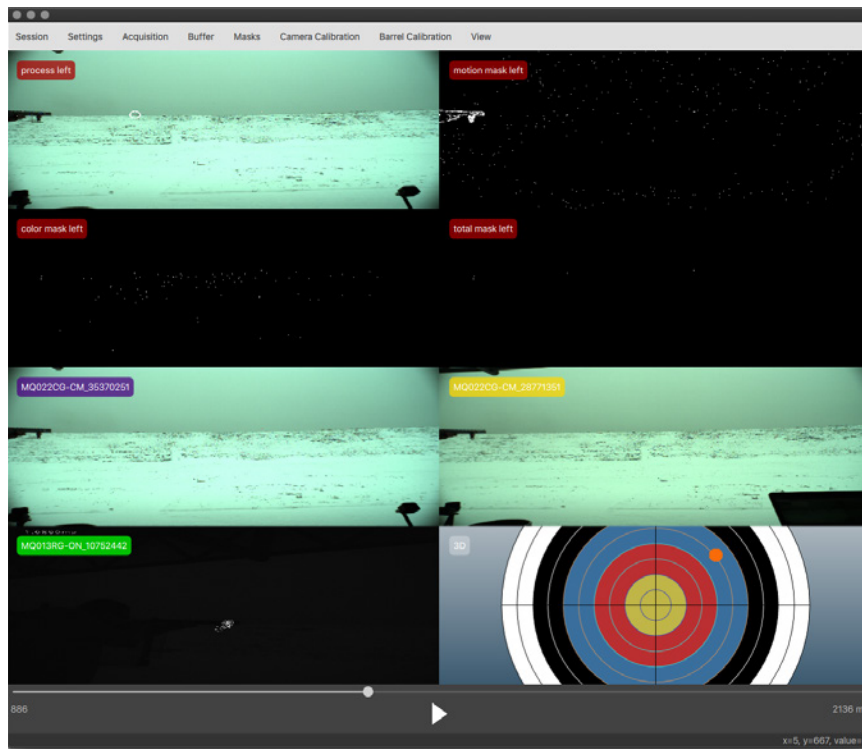


Abb. 2: Software-Anwendung zur Akquirierung, Visualisierung und Analyse der Bildsequenzen.



Optische Messsysteme erfordern eine möglichst genaue Kalibrierung aller Komponenten, um Linsenverzerrungen auszugleichen, um die Größe von Objekten oder Entfernungen in Welteinheiten bestimmen zu können und um um ihre Lage zueinander bestimmen zu können. Die entwickelte Software-Anwendung führt dabei alle notwendigen Kalibrierungsschritte vollautomatisch durch, nachdem eine festgelegte Anzahl von Kamera-Aufnahmen eines Schachbrettmusters erstellt wurde. Durch die Kalibrierung sind die Kameras in der Lage die unabhängig voneinander gemessenen Positionen der Wurfscheiben (bestimmt durch den Stereo-Aufbau), und die Pose der Gewehrlaufs (bestimmt durch die dritte Kamera) in dem gleichen Koordinatensystem zu bestimmen.

Die geringen Brennweiten der eingesetzten Objektivs sind notwendig, um den gesamten Bewegungsablauf der Wurfscheiben erfassen zu können, erschweren aber die Segmentierung der Wurfscheiben, da diese in den Aufnahmen sehr klein abgebildet werden. Traditionelle Verfahren der Bildverarbeitung erwiesen sich in diesem Spezialfall als zuverlässiger als Verfahren des maschinellen Lernens. Die 2D-Segmentierung pro Kamera beinhaltet triviale Bewegungserkennung auf Basis dreier Bilder, Filter über die

Größe der bestimmten Bildregionen, Farbmaskierungen im HSV-Farbraum (vgl. Abb. 2 *color mask left*) und subpixelgenauer Bestimmung des Schwerpunkts in der Konjunktion der drei Masken (vgl. Abb. 2 *total mask left*). Die detektierte Wurfscheibe ist in Abb. 2 *process left* gekennzeichnet. Das Ergebnis der 2D-Segmentierung sind zeitlich korrespondierende Schwerpunkte der Wurfscheiben in beiden Kameras des Stereo-Aufbaus. Mittels Stereo-Rekonstruktion wird anschließend die Position relativ zur Referenzkamera bestimmt.

Da es nicht möglich ist, eine einzelne Tracking-Marke so am Gewehrlauf zu befestigen, dass diese genau parallel zum Gewehrlauf ausgerichtet ist, ist auch eine genaue Kalibrierung des Laufs zur Marke notwendig. Nur eine geringe Abweichung des Winkels kann in der Distanz, in der die Wurfscheiben fliegen, bereits mehrere Dezimeter ausmachen. Das entwickelte System besteht prototypisch aus einem Rundprofil aus Holz, das an einer leeren Schrotpatrone befestigt wird. Wie beim Ladevorgang der Flinte wird diese aufgeklappt und die am Rundprofil angebrachte Patrone in die Kammer eingeführt.

Eine schematische Darstellung des Kalibriervorgangs ist in Abb. 3 zu sehen.

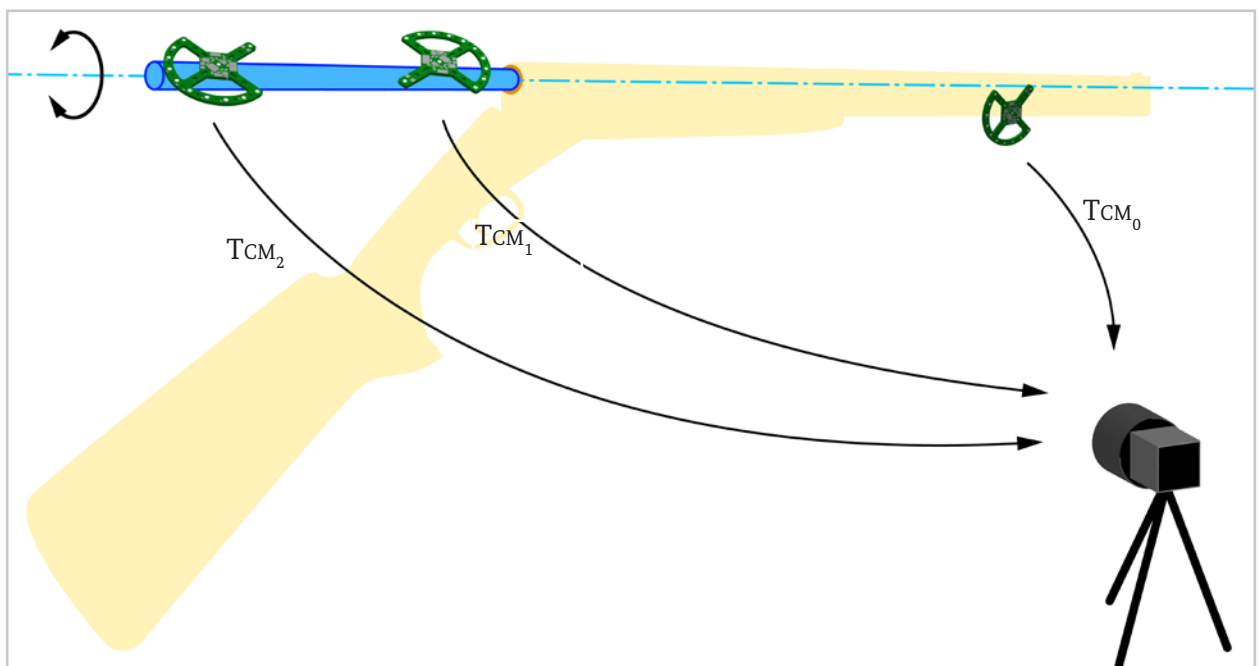


Abb. 3: Schematische Darstellung der entwickelten Gewehrlaufkalibrierung.



Nach dem Einführen des Stabes wird der Kalibrierstab vorsichtig mit etwas Druck auf die Kammer bewegt, wodurch die ermittelten Messpunkte zwei Kreisbahnen beschreiben. Da sich die verwendeten Marken durch verschiedene LED-Anordnungen voneinander unterscheiden, können die Messpunkte eindeutig zugewiesen werden. Ein Strahl durch die Kreiszentren beschreibt die Gewehrlaufrichtung in Abhängigkeit zu der am Lauf fest angebrachten Marke. Ein Beispiel der Messdaten und bestimmter Laufrichtung ist in Abb. 4 zu sehen.

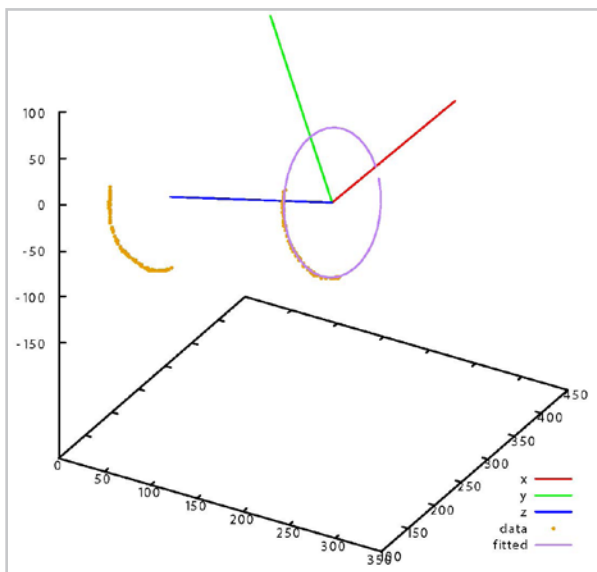


Abb. 4: Plot der Messpunkte (gelb) beider Kreisbahnen und gefitteter Kreis (lila) mit resultierendem Koordinatensystem (rot/grün/blau).

Ein Screenshot der entwickelten, interaktiven Software-Anwendung ist in Abb. 2 zu sehen. Sie ermöglicht neben der Akquirierung und Beschneidung der Videodaten die Anzeige von Einzelbildern, das Auslesen von Farbwerten zur Verbesserung der Farb-Filter, Darstellung beliebig vieler Teilschritte des Algorithmus zur Segmentierung der Wurfscheiben und das Maskieren von Bereichen, die für das Tracking unberücksichtigt bleiben sollen. Fehldetektionen, die z. B. durch sich mitbewegende Schatten der Wurfscheiben verursacht werden können, können dadurch ausgeschlossen werden. Durch die am Gewehrlauf angebrachte Tracking-Marke kann das Rendering in der implementierten Software aus Sicht des Gewehrlaufs erfolgen.

Dadurch kann das Zielbild einer zum Training im Bereich des olympischen Schießens eingesetzten Laufkamera rein virtuell repliziert werden. Ein Beispiel für ein Zielbild, welches der Trainerin oder dem Trainer eine Grundlage zur leistungsdiagnostischen Analyse liefert, ist in Abb. 2 rechts unten dargestellt.

## 4 Diskussion

Zur Verbesserung der allgemeinen Stabilität der Konstruktion als auch um die extrinsische Kalibrierung über einen längeren Zeitraum hinweg gewährleisten zu können, sollten die Kameras des Prototypen zum weiteren Einsatz auf ein Schienensystem aus Aluminiumprofilen montiert werden. Die Messdaten sollten weiterhin mittels statistischer Filter geglättet werden, um die Messgenauigkeit zu erhöhen. Statische Filter, zum Beispiel das Kalman-Filter, sind außerdem notwendig, um Lücken in den Trajektorien zu schließen, die zum Beispiel durch Fehldetektionen in Einzelbildern entstehen können. Die entwickelten Verfahren sind in der programmierten Software umgesetzt und liefern die gewünschten Ergebnisse in der erforderlichen bzw. durch die Portabilität des Messsystems erreichbaren Genauigkeit. Die Kalibrierung des Systems erfordert fachmännisches Personal, da bereits kleine Ungenauigkeiten in der Kalibrierung erhebliche Fehler in den Messdaten erzeugen. Um alle Messungen in einem einheitlichen Referenzkoordinatensystem vergleichen zu können, also in Bezug zum gleichen Ort, wäre es möglich, bei jedem Wechsel der Kameraposition einen auf dem Schießstand bekannten und von der Position aus sichtbaren Punkt als Ursprung für die Messungen festzulegen.

# Service- Forschungsprojekte



# Analyse und Optimierung des Erholungsmanagements von Spitzen-Karateathletinnen und -athleten im Rahmen der Olympiaqualifikation

(AZ 072026/18-19)

*Fabian Loch, Annika Hof zum Berge, Sarah Kölling (Projektleitung)  
& Michael Kellmann (Projektleitung)*

Ruhr-Universität Bochum, Lehr- und Forschungsbereich Sportpsychologie

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Die Untersuchung und Optimierung der individuellen Regeneration im Spitzensport stellen für die optimale Leistungserbringung im Training und Wettkampf sowie für den Erhalt der physischen und psychischen Gesundheit einen elementaren Baustein dar (Meyer et al., 2016). Aufgrund der hohen interindividuellen Variabilität bei der Erholung ergibt sich der Bedarf, diese auf individueller Ebene zu erfassen und anzupassen. Sie bildet dabei das Gegenstück zur Belastung und verfolgt das Ziel, physische und mentale Ressourcen wiederherzustellen (Kellmann & Beckmann, 2018; Kellmann et al., 2018). Ein ausreichender Erholungszustand ist folglich eine wichtige Voraussetzung, um bevorstehende Belastungen optimal bewältigen zu können. Liegt ein fehlendes Bewusstsein über die Bedeutsamkeit eines ausgeglichenen Erholungs-Beanspruchungszustands vor, kann dies zu einem dysfunktionalen Umgang mit Trainingsreizen führen und in einem Zustand der Untererholung oder des Übertrainings enden (Altfeld & Kellmann, 2014; Heidari et al., 2018; Meeusen et al., 2013).

Zur Erfassung von Trainings- und Wettkampfbelastungen sowie den individuellen Auswirkungen hat sich das Monitoring als fester Bestandteil zur Erholungs-Belastungssteuerung im Spitzensport etabliert (Kölling et al., 2019). Ein ganzheitlicher Monitoringprozess setzt sich aus objektiven sowie subjektiven Verfahren zusammen, wobei insbesondere psychometrische Verfahren eine hohe Sensitivität hinsichtlich akuter und/oder chronischer Trainings- und Wettkampfbelastungen aufweisen (Heidari et al., 2018; Saw,

Main & Gastin, 2016), um ein Ungleichgewicht des Erholungs-Beanspruchungszustandes frühestmöglich aufdecken zu können (Brink et al., 2012; Meeusen et al., 2013).

Durch den geplanten Qualifikationsmodus des Karate-Welt-Verbandes für die Olympischen Sommerspiele 2020 müssen die Athletinnen und Athleten des DKV eine hohe Dichte an relevanten und intensiven Wettkämpfen mit damit einhergehenden zusätzlichen Belastungen (z. B. Reisezeiten, Jetlag) absolvieren. Hierdurch entfällt eine notwendig erachtete Saisonpause für die Wiederherstellung von physischen/mental Reserven sowie für das Auskurieren von möglichen Verletzungen. In Ergänzung hierzu sind sportartspezifische Anforderungen mit intensiven Mehrfachbelastungen an einem Wettkampftag mit variablen Zeitabständen zwischen einzelnen Belastungen zu nennen. Hieraus ergibt sich der Handlungsbedarf sowie das Potenzial des Projekts zur Analyse und Optimierung des Erholungsmanagements innerhalb des Verbandes.

Folgende Ziele stehen im Mittelpunkt des Projekts:

- › Erfassung von individuellen Erholungszuständen und –strategien der Athletinnen und Athleten des DKV im Längsschnitt in Training und Wettkampf
- › Festlegung von Erholungsinterventionen zur individuellen Gestaltung der Zeiträume zwischen einzelnen Turnieren oder Wettkämpfen an einem Wettkampftag.

## 2 Methodischer Aufbau des Monitorings

Insgesamt 16 Athletinnen und Athleten des Olympia-, Perspektiv- und Nachwuchskaders haben am Erholungs-Beanspruchungsmonitoring teilgenommen. Der grundlegende methodische Aufbau umfasst vier unterschiedliche sich jeweils abwechselnde Phasen, zwei Beobachtungsphasen sowie zwei Rückmeldephasen mit einer Gesamtdauer von ca. zwei Monaten je Phase.

Zur Datenerfassung konnte das im Rahmen des REGman-Projekts ([www.regman.org](http://www.regman.org)) entwickelte Monitoring-Tool (*REGmon*) verwendet werden, das sowohl während einer Lehrgangspräsentation sowie in Skype-Gesprächen in Kleingruppen vorgestellt wurde. In der ersten Beobachtungsphase (12/2018–02/2019) wurden individuelle Erholungsstrategien und -zustände sowie Trainingsbelastungen erfasst. Die Durchführung einer ergänzenden Wettkampfbeobachtung diente dazu, zusätzliche Erkenntnisse zu individuellen Erholungsstrategien am Wettkampftag zu sammeln. Für die anschließende Rückmeldephase (03/2019–04/2019) erstellte die Projektgruppe individuelle Ergebnisberichte, die in persönlichen Rückmeldegesprächen (Skype) besprochen wurden. In der folgenden zweiten Beobachtungsphase (05/2019–06/2019) wurde das Fragebogenset identisch zur ersten Phase eingesetzt, um einerseits die individuellen Erholungsstrategien und -zustände erneut zu erfassen und andererseits die Umsetzung der erarbeiteten Maßnahmen zu begleiten. Für die abschließende Rückmeldephase (07/2019) erstellte die Projektgruppe erneut individuelle Rückmeldeberichte, die in persönlichen Gesprächen (Skype) besprochen wurden.

Der *Erholungs-Belastungs-Fragebogen für Sportler* (EBF-Sport) wurde zu Beginn der beiden Beobachtungsphasen eingesetzt, um eine globalere Erfassung des individuellen Erholungs-Beanspruchungszustands zu gewährleisten (Kellmann & Kallus, 2016). Das tägliche Monitoring beinhaltete die *Kurzskala Erholung und Beanspruchung* (KEB), eine *Schlafdokumentation* zur Erfassung des Schlafverhaltens sowie an Trainings- und Wettkampftagen jeweils eine *Trainingsdokumentation* und ein Proto-

koll zu durchgeführten *Erholungsmaßnahmen* (Kellmann & Kölling, 2019; Kellmann, Kölling & Hitzschke, 2016). Somit konnte ein Monitoringprozess konzipiert werden, der valide und ganzheitlich akute Erholungs-Beanspruchungszustände darstellen kann, um so mögliche Überbeanspruchungszustände bei den Athletinnen und Athleten zu identifizieren.

## 3 Ergebnisse

Das durchgeführte Erholungs-Beanspruchungsmonitoring zur Optimierung des Erholungsmanagements verfolgte einen individuellen Ansatz, sodass die Ergebnisdarstellungen in Form von Rückmeldeberichten ebenfalls personenspezifisch sind. Demnach können hier nur exemplarische Rückmeldeergebnisse dargestellt werden. Die Wettkampfbeobachtung konnte im Vorfeld die Relevanz eines Erholungsmanagements unterstreichen, da die Athletinnen und Athleten zum großen Teil Erholungsstrategien eher unstrukturiert anwendeten und kaum spezifische Erholungsroutrinen am Tag vor dem Hauptwettkampf bzw. am Wettkampftag selbst beobachtet werden konnten. In der Pause zwischen einzelnen Kämpfen ließen sich keine festen Erholungsroutrinen beobachten, und eine systematische Anwendung von psychologischen Erholungsstrategien (z. B. Atemregulation, meditative Verfahren) war nicht zu erkennen.

Die KEB Verläufe (Abb. 1 & 2) zeigen, dass zunächst bei einer überwiegend konstanten Trainingsbelastung (Athletiktraining) die physiologisch-orientierten Items sowohl für Beanspruchung (*Muskuläre Beanspruchung*) als auch Erholung (*Körperliche Leistungsfähigkeit*) überwiegend konstant hoch bleiben. Zudem liegen die Werte für die *Allgemeine Beanspruchung* in einem eher niedrigen Bereich, bei gleichzeitig niedrigen Werten auf der Skala der *Allgemeinen Erholung*. Die psychologisch-orientierten Items für Beanspruchung und Erholung zeigen zunächst keine Auffälligkeiten mit niedrigen Werten für *Aktivierungsmangel* und hohen Werten für die *Mentale Leistungsfähigkeit*. Ab Zeitpunkt T15 zeigen sich Veränderungen, welche sich in einem Anstieg der Werte für die Skalen *Allgemeine Beanspruchung*, *Muskuläre Beanspruchung*, *Aktivierungsmangel* und gleichzeitig sinkende Werte für die



Skalen *Allgemeine Erholung*, *Körperliche Leistungsfähigkeit* und *Mentale Leistungsfähigkeit* bemerkbar machen. Diese Veränderungen lassen sich durch die Teilnahme des Athleten an einem internationalen Wettkampf und der damit verbundenen längeren An- und Abreise, der hohen Belastung durch fünf Einzelwettkämpfe an nur zwei Wettkampftagen sowie einer ungewohnten Schlafumgebung erklären. Im Anschluss an diese Wettkampfteilnahme zeigen die KEB-Skalen, dass der Athlet aber wieder in der Lage war, bei

nahezu gleichbleibender Trainingsbelastung seinen Erholungs-Beanspruchungszustand zu normalisieren (Abb.1 und 2).

Abb. 3 zeigt eine exemplarische Auswertung eines Schlafmonitorings einer Karateathletin im Längsschnitt über einen Monat mit der grafischen Darstellung der Schlafparameter *Einschlaflatenz*, *Aufwachdauer*, *Gesamtliegedauer* sowie *Gesamtschlafdauer*. Die Werte für die Gesamtschlafdauer sowie die Gesamtliegedauer liegen in einem normalen Bereich, die Schlaf-

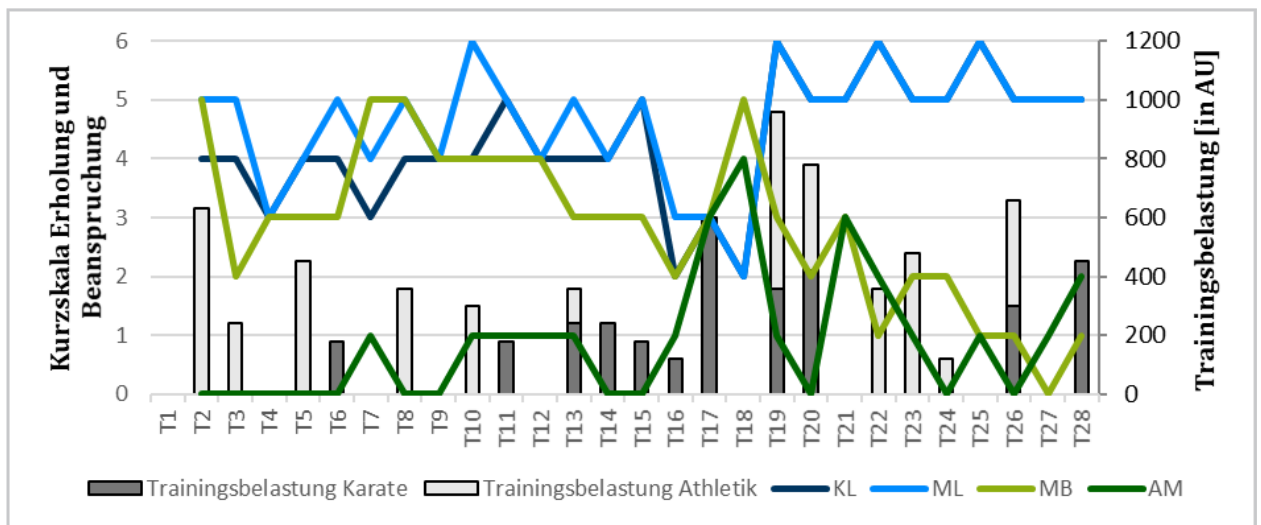


Abb. 1: KEB Verlauf (jeweils zwei Erholungs- und Beanspruchungsitens) eines Karateathleten im Längsschnitt über einen Monat in Kombination mit den individuellen Trainingsbelastungen.

Anmerkungen: KL = Körperliche Leistungsfähigkeit; ML = Mentale Leistungsfähigkeit; MB = Muskuläre Beanspruchung; AM = Aktivierungsmangel.

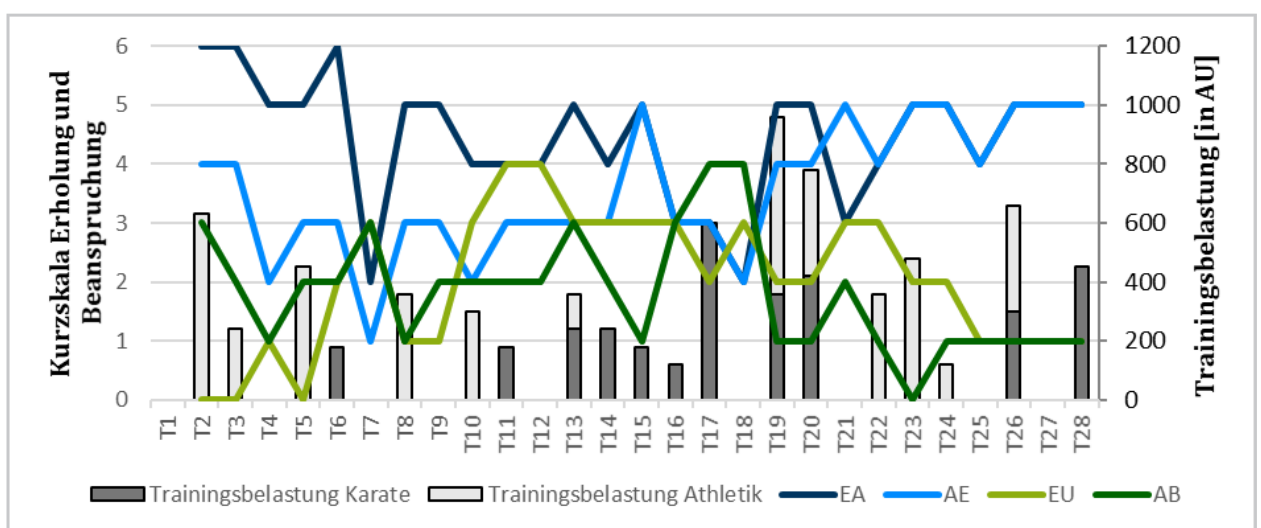


Abb. 2: KEB Verlauf (jeweils zwei Erholungs- und Beanspruchungsitens) eines Karateathleten im Längsschnitt über einen Monat in Kombination mit den individuellen Trainingsbelastungen.

Anmerkungen: EA = Emotionale Ausgeglichenheit; AE = Allgemeiner Erholungszustand; EU = Emotionale Unausgeglichenheit; AB = Allgemeiner Beanspruchungszustand.

reduktion an einzelnen Tagen konnte durch persönliche Ereignisse und Reisen über Nacht erklärt werden. Besonders auffällig ist hierbei die hohe Einschlafzeit an einigen Tagen mit bis teilweise über 60 Minuten. Als mögliche Ursache für die Schwierigkeiten beim Einschlafen ergaben sich vor allem häufige Gedankenkreise, das „Nichtabschalten können“ am Abend sowie erhöhte Werte bezüglich der Muskulären Beanspruchung und Ermüdung. Demzufolge wurden grundlegende Schlafhygieneregeln besprochen sowie Maßnahmen für einen positiven Tagesabschluss vor dem Zubettgehen erläutert.

### 4 Diskussion und zukünftige Empfehlungen

Durch die Nutzung des aus dem REGman-Projekt entstandenen REGmon-Tool (<https://regman.org/praxistransfer/>) konnte das Erholungs-Beanspruchungsmonitoring über den Projektzeitraum überwiegend problemlos und effektiv durchgeführt werden. Die Ergebnisse des Projekts zeigen grundsätzlich, dass durch den Wechsel zwischen den Beobachtungs- und Rückmeldephasen im Projektablauf den Athletinnen und Athleten die Wichtigkeit der Themen Erholung und Beanspruchung im Leistungssport vermittelt und die Untersuchungsgruppe

insgesamt für diese Thematik sensibilisiert werden konnte. Insbesondere das persönliche Gespräch (per Skype) zur Ergebnisrückmeldung stellte sich als positiv dar. Die überwiegenden Maßnahmen, die im Rahmen der Rückmeldegespräche besprochen wurden, bezogen sich hauptsächlich auf die Ziele und die Umsetzungsmöglichkeiten von psychologischen Erholungsstrategien (z. B. Progressive Muskelrelaxation, Atemregulation, mentale Erholungsstrategien) und Povernaps in Training und Wettkampfpausen sowie von grundlegenden Schlafhygieneregeln (z. B. Rituale, Schlafumgebung, Nutzung von elektronischen Geräten vor dem Schlafgehen), um die allgemeine Schlafsituation individuell zu verbessern.

Bei der erfolgreichen Umsetzung eines täglichen Erholungs-Beanspruchungsmonitorings bildet die Ressource Zeit der Aktiven im Leistungssport den limitierenden Faktor. Um die Compliance der Athletinnen und Athleten zu erhöhen, erscheint es für zukünftige Monitoringprojekte sinnvoll, den Rückmeldezeitraum der Ergebnisse von zwei Monaten zu verkürzen, damit Athletinnen und Athleten in kürzeren Abständen individuelles Feedback zu ihren hinterlegten Daten erhalten. Gleichzeitig sollte bei der Planung des Monitoringsprozesses mitgedacht werden, ob ein tägliches Monitoring notwen-

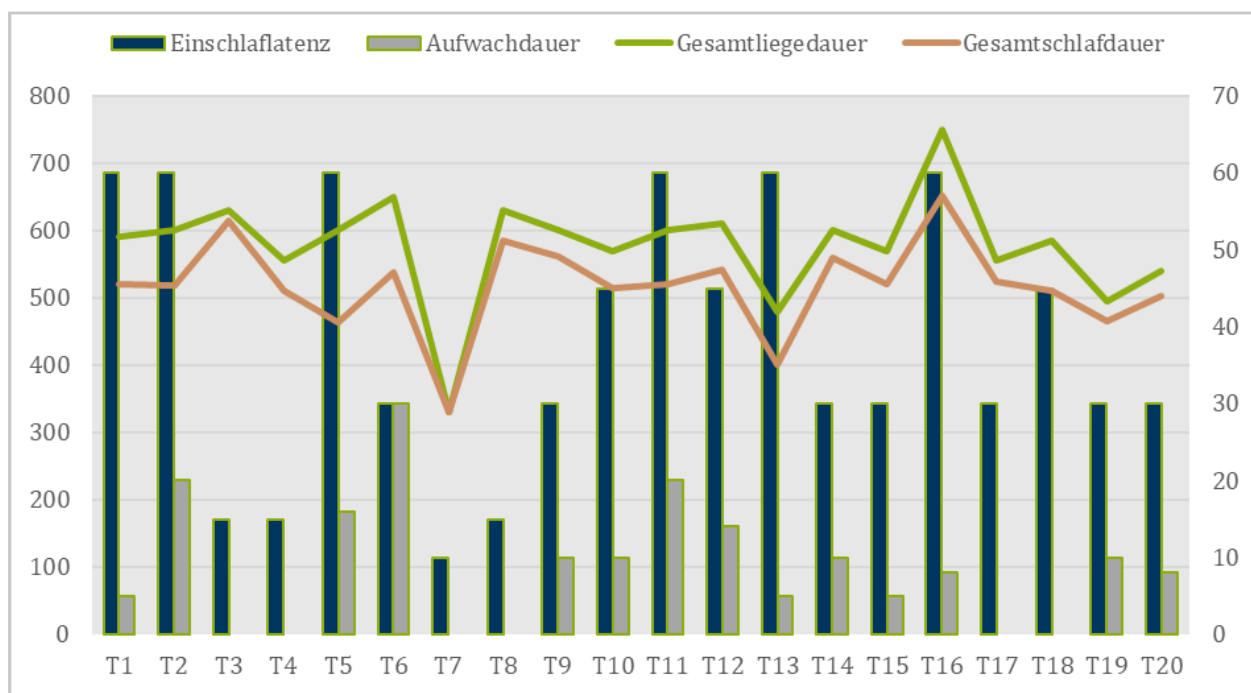


Abb. 3: Darstellung eines Schlafmonitorings einer Karateathletin im Längsschnitt über einen Monat.

dig ist oder sich vielmehr, je nach Fragestellung, intensive und weniger intensive Monitoringphasen abwechseln sollten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Projekt zur Analyse und Optimierung des Erholungsmanagements einen ersten Schritt zu einer stärkeren Sensibilisierung für die Themen Erholung, Beanspruchung und Erholungsstrategien darstellt, welches in einer angepassten Form weiterhin zielführend im DKV oder in anderen Verbänden sportartspezifisch übertragen werden kann. Hierfür ist aber in erster Linie die Bereitschaft der Athletinnen und Athleten, aktiv an einem Monitoring teilnehmen zu wollen notwendig, damit auf einer größeren Datenbasis Rückmeldungen gegeben sowie zielführende Empfehlungen zum Erholungsmanagement gemeinsam erarbeitet werden können.

## 5 Literatur

- Altfeld, S., & Kellmann, M. (2014). Underrecovery syndrome. In R. C. Eklund & G. Tenenbaum (Eds.), *Encyclopedia of sport and exercise psychology* (pp. 773-775). Sage.
- Brink, M. S., Visscher, C., Coutts, A. J., & Lemmink, K. A. P. M. (2012). Changes in perceived stress and recovery in overreached young elite soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(2), 285-292. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01237.x
- Heidari, J., Kölling, S., Pelka, M., & Kellmann, M. (2018). Monitoring the recovery-stress state in athletes. In M. Kellmann & J. Beckmann (Eds.), *Sport, recovery and performance: Interdisciplinary insights* (pp. 3-18). Routledge.
- Kellmann, M., & Beckmann, J. (Eds.). (2018). *Sport, recovery and performance: Interdisciplinary insights*. Routledge.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., et al. (2018). Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240-245. doi:10.1123/ijsp.2017-0759
- Kellmann, M., & Kallus, K. W. (2016). The Recovery-Stress Questionnaire for Athletes. In K. W. Kallus & M. Kellmann (Eds.), *The Recovery-Stress Questionnaires: User manual* (pp. 89-134). Pearson.
- Kellmann, M., & Kölling, S. (2019). *Recovery and stress in sport: A manual for testing and assessment*. Routledge.
- Kellmann, M., Kölling, S., & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport – Manual*. Sportverlag Strauß.
- Kölling, S., Heidari, J., Pelka, M., & Kellmann, M. (2019). Erholungs- und Belastungssteuerung. In K. Staufenbiel, M. Liesenfeld & B. Lobinger (Hrsg.), *Angewandte Sportpsychologie für den Leistungssport* (S. 188-203). Hogrefe.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., et al. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186-205. doi:10.1249/mss.0b013e318279a10a
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M., & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport*. Sportverlag Strauß.
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: Subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 281-291. doi:10.1136/bjsports-2015-094758



# Curldat – Erarbeitung einer wissenschaftlich fundierten Datenbasis als Grundlage einer effizienten und personalisierten Trainingsgestaltung im Curling

(AZ 072027/18-19)

Ralf Salomon (Projektleitung) & Ralf Joost

Universität Rostock, Institut für Angewandte Informatik und Datentechnik

## 1 Problemstellung

Beim Curling besteht die Aufgabe darin, einen Curling-Stein so auf dem Eis in Bewegung zu versetzen, dass er entweder an einer vorher definierten Stelle zum Liegen kommt oder an einer vorher definierten Stelle mit einem anderen Stein mit einer vorher festgelegten Geschwindigkeit kollidiert. Für diese Aufgabe sind bei der Steinabgabe zwei physikalische Größen von Bedeutung: die Geschwindigkeit des Steines sowie seine Eigenrotation.

Im Gegensatz zu anderen Sportarten kann der Stein nach seiner Abgabe in seinem Lauf ohne Berührung durch die Spieler regulär beeinflusst werden. Dies geschieht durch weitere Teammitglieder, die mittels eines Besens das Eis vor dem Stein polieren und somit die physikalische Interaktion zwischen Stein und Eis verändern können.

Obwohl Curling eine recht alte Sportart ist, gibt es hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen Stein und Eis im Wesentlichen nur Erfahrungswerte; in der Literatur gibt es nur sehr spärliche mathematisch fundierte Beschreibungen für die beobachtbaren Phänomene.

Das Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, gemeinsam mit dem Curling-Verband eine wissenschaftlich fundierte Basis zu schaffen, die nach Möglichkeit quantitative bzw. qualitative Beschreibungen der relevanten physikalischen Zusammenhänge liefert.

Eine weiterführende Zielstellung besteht darin, aus der entwickelten und wissenschaftlich fundierten Basis optimierte und individuell angepasste Trainingsmaßnahmen abzuleiten, um den deutschen Curling-Sport zu verbessern.

## 2 Methode

Die wesentliche Voraussetzung für die Zielerreichung war das Schaffen einer entsprechenden technischen Infrastruktur zum Messen und Auswerten der entscheidenden physikalischen Größen. Im Rahmen des Projektes entwickelte das Projektteam ein Mess-Setup, das im Wesentlichen aus den folgenden drei Komponenten besteht:

1. Ein zentraler PC, der die verschiedenen Messdaten entgegennimmt und speichert. Dieser PC stellt auch eine im Rahmen des Projektes entwickelte Software-Suite zur Verfügung, die das Auswerten des angefallenen Datenmaterials erlaubt. Ein entsprechendes Beispiel zeigt folgendes Bild:





Abb. 1: Auswertesoftware mit zwei Graphen zur Maximalkraft zweier Athleten während des Wischvorgangs.

Für die Curling-Steine entwickelte das Projektteam drahtlose Sensoren, die die Beschleunigung des Steins, seine Eigenrotation und Ausrichtung innerhalb des Erdmagnetfeldes aufnehmen und mittels Bluetooth an den oben erwähnten PC übermitteln. Alle drei Messgrößen werden jeweils für die drei Raumachsen  $x$ ,  $y$  und  $z$  aufgenommen und 100 Mal pro Sekunde verschickt. Somit fallen insgesamt 900 Messwerte pro Sekunde an. Dieser Messsensor ist im folgenden Bild links zu erkennen.

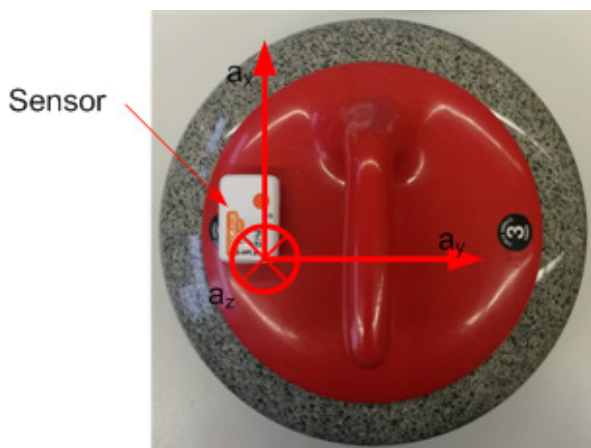


Abb. 2: Sensor am Curlingstein mit dem dazugehörigen Koordinatensystem für Beschleunigungswerten. Eine Kraft in Pfeilrichtung erzeugt positive Beschleunigungswerte.

Für den Wischbesen hat das Projektteam ebenfalls eine Messanlage entwickelt. Diese basiert auf dem kommerziell verfügbaren Messbesen „Smart Broom“ der kanadischen Firma Canadian Curling Tools Ltd. Im Rahmen der Projektarbeiten wurde das vorhandene Messsystem entkernt und durch eine präzise Datenaufnahme ersetzt, die ihre Messdaten ebenfalls 100 Mal pro Sekunde an oben erwähnten PC drahtlos überträgt. Die aufgenommenen Messdaten bestehen aus dem Anpressdruck sowie den Beschleunigungs- und Geschwindigkeitswerten (Gyroskope) des Besens in den drei Raumrichtungen. Die entwickelte Messanlage ist im folgenden Bild zu erkennen.

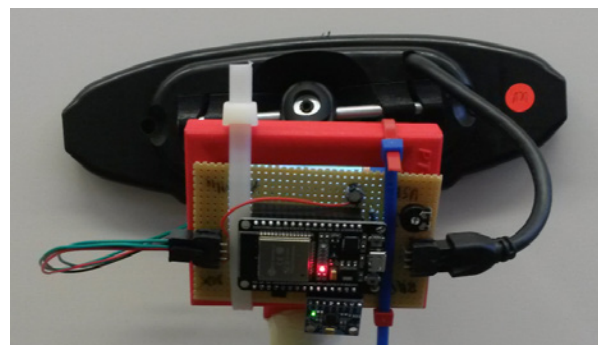


Abb. 3: Besen mit Messvorrichtung: Der Microcontroller (Board mit roter LED) für Datenaggregation und Funkübertragung und der Bewegungssensor (Board mit grüner LED) sind zusammen mit dem Batteriekasten am Besenstiel befestigt, um die Freigängigkeit des Wisch-Pads zu gewährleisten.

Wie oben erwähnt, hat das Projektteam verschiedene Programme entwickelt, die die Analyse des aufgenommenen Datenmaterials hinsichtlich verschiedener Aspekte gestattet. Zu den auswertbaren Größen gehören unter anderem Durchschnittskraft am Besen, Kraftverlauf in der Wischbewegung, Frequenz der Wischbewegung, Änderung der Wischfrequenz im Verlauf der Steinablage, Wischweg und eine kombinierte Größe Wischindikator, welche eine Gesamtkenngröße für die Leistung während des Wischens darstellt.

Um die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der entwickelten Messsysteme gründlich zu testen und ggf. zu verbessern, führte das Projektteam zwei Praxistests beim Hamburger Curling Club durch. Dort wurden die Systeme zusammen mit Vertretern des Curling Verbandes ausführlich getestet. Zu den Vertretern des Curling Verbandes gehörten der Bundestrainer Uli Kapp, der Sportdirektor Markus Tröger sowie der Wissenschaftskoordinator Gerd Bonke und einige Nachwuchsathleten.

Die bei den Vorversuchen gesammelten Erfahrungen flossen in die Gestaltung des endgültigen Systems ein, dass in der Woche vom 15. bis 18. Juli 2020 in Füssen (Bundesstützpunkt) im Rahmen eines Lehrgangs der Nationalteams zum Einsatz kam. Bei diesem Einsatz erwies sich das System als sehr leistungsfähig und zuverlässig. Das Team zeichnete 175 Datensätze verteilt auf Steinablagen und Wischbewegungen auf, die es dem Bundestrainer in situ ermöglichten, den Leistungsstand seiner Nationalteams zu beurteilen.

### 3 Ergebnisse

Das vom Projektteam entwickelte Messsystem ist in der Lage, die Rotation des Steines exakt zu bestimmen. Dabei wird sowohl der zeitliche Verlauf der direkt gemessenen Rotationsgeschwindigkeit  $\omega$  als auch der daraus abgeleitete Drehwinkel  $\alpha$  des Steins verwendet. Die Untersuchungen in Hamburg und Füssen zeigten deutlich, dass eine formale Rechenvorschrift zur Berechnung einer Endlageposition in Abhängigkeit der Parameter Abgabegeschwindigkeit  $v_0$  und Drehgeschwindigkeit  $\omega$  nicht realisierbar ist. Dies liegt nicht am Messsystem selbst, son-

dern daran, dass die für ein realitätsnahes Bewegungsmodell erforderlichen Parameter nicht im vollen Maße erfassbar sind; hierbei ist insbesondere die Eisoberfläche selbst zu nennen. Die zeigen deutlich, dass die Struktur der Eisbahn selbst einen enormen Einfluss auf die Bewegung des Steines hat. Diese Struktur besteht aber aus unzähligen kleinen Eishügeln (den sogenannten Pepples), die mit für den praktischen Einsatz vorgesehenen Systemen nicht erfasst werden können.

Für die Trainingsoptimierung hat das Projekt mehrere Ansätze zur Bewertung der Wischleistung erarbeitet und in die oben angesprochene Software integriert. Neben den eigentlichen Kraftwerten (Maximalkraft, Minimalkraft und mittlere Kraft) werden ebenfalls die zeitlichen Eigenschaften der Wischbewegungen sichtbar gemacht. Hier ist insbesondere die Wischfrequenz und die insgesamt ausgeführte Anzahl der Wischbewegungen relevant. Gleichzeitig wird die zeitliche Veränderung der genannten Parameter im Verlauf des Spielzuges berechnet. In einer vergleichenden Darstellung mehrerer Spielzüge kann ebenfalls die Performanzentwicklung innerhalb eines längeren Zeitraums, z. B. eines gesamten Spiels, betrachtet werden.

Da bei einer Wischbewegung die alleinige Betrachtung von aufgebrachtener Kraft und Wischfrequenz außeracht lässt, dass während einer Wischbewegung ebenfalls ein bestimmter Bereich abgedeckt werden muss, wurden im Rahmen dieses Projekts erste Ansätze für die Berechnung eines Wischindikators entwickelt. Dieser soll sicherstellen, dass während der Wischbewegung der Besen eine bestimmte Strecke zurücklegen muss. Da der Besen ebenfalls mit Sensoren zur Beschleunigungsmessung ausgestattet ist, lässt sich aus den dort aufgenommenen Werten auf den abgedeckten Wischbereich schließen.

### 4 Diskussion

Ziel des Projektes war es, den praktischen Trainingsprozess dahingehend zu unterstützen, dass einheitliche und objektive Messgrößen sowohl den Leistungsstand der Athleten erfassen können, als auch trainierbare Strategieentscheidungen für das Spiel vorgeben können. Der letzt-

genannte Punkt sollte durch das angestrebte Bewegungsmodell des Steins erreicht werden, sodass der Athlet in Bezug auf eine vorliegende Spielsituation beispielsweise Abgabegeschwindigkeit, Drehgeschwindigkeit und Wischein-satz so vorbestimmt, dass das Erreichen einer gewünschten Endlage des Steins wahrscheinlicher wird.

Die mit dem Bundestrainer gemeinsam durchgeführten Analysen zeigten, dass die vom System erfassten Größen praxisrelevant sind. Aufgrund der von aktuellen Stand der Wissenschaft zur Verfügung gestellten theoretischen Grundlagen sowie der nicht vorhandenen Erfahrung musste das Projektsystem die einzelnen Komponenten möglichst flexibel gestalten. Dies ermöglichte es, für die Praxis geeignete Konfigurationen zu identifizieren. Der Preis hierfür ist allerdings, dass das System ein technisch gut geschultes Bedienpersonal benötigt. Dies war im Rahmen des Projektes durch das Projektteam vorhanden, kann aber aufgrund der Anforderungen vom Curling-Verband aufgrund des notwendigen Spezialwissens nicht geleistet werden. Daher hat der Curling-Verband zusammen mit der Universität Rostock ein weiteres Transferprojekt beantragt, das per 1. Oktober für drei Monate bewilligt wurde. Die Aufgabe dieses Transferprojektes ist es, die einzelnen technischen Komponenten sowie die notwendige Auswertesoftware so aufzubereiten, dass sie ohne Fachwissen bedient werden kann.

## 5 Veröffentlichungen

Im Anschluss an das eigentliche Projekt hat das Projektteam ein Teil der technischen Infrastruktur wissenschaftlich publiziert. Hierzu gehören vor allem die Untersuchungen zur Erkennung des Curlingsteins in Videobildern und daraus abgeleitet Bestimmung der Geschwindigkeit des Steins (Gabloffsky & Salomon, 2020a, 2020c). Weiterhin wurden Teilaspekte der zur Geschwindigkeitsbestimmung des Curlingsteins verwendeten Lichtschranken publiziert. Hierbei standen insbesondere die Herausforderungen bei der Kalibrierung der Lichtschranken bei variablen Lichtverhältnissen in der Eishalle im Fokus (Gabloffsky & Salomon, 2020b).

An dieser Stelle bedankt sich die Arbeitsgruppe von Prof. Salomon ganz herzlich bei den Vertretern des Curling-Verbandes für die sehr angenehme, professionelle und zielorientierte Zusammenarbeit.

Gabloffsky, T., & Ralf Salomon, R. (2020a).

*Combination of Algorithms for Object Detection in Videos on Basis of Background Subtraction and Color Histograms: A Case Study.* Proceedings of the 17th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics - Volume 1: ICINCO, pp. 464-470. DOI: 10.5220/0009832904640470

Gabloffsky, T., & Salomon, R. (2020b). *Low-Cost, Self-Calibrating Light Barriers in Sports.* Proceedings of the 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), pp. 1-5. DOI: 10.1109/MECO49872.2020.9134149

Gabloffsky, T., & Salomon, R. (2020c). *Kamerabasierte, virtuelle Lichtschranken.* 7. Jahreskolloquium der Bildverarbeitung in der Automation (BVAu), Lemgo, Deutschland.

# Systemische Kompetenz von Trainerinnen und Trainern im Deutschen Hockey-Bund

## Förderung von Selbstorganisation und Selbststeuerung in den DHoB-Kadern der weiblichen Linie (Danas, U21, U18, U16)

(AZ 072028/18-19)

Filip Mess<sup>1</sup>, Ulrich Forstner<sup>2</sup> & Wolfgang Klöckner (Projektleitung)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität München, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft

<sup>2</sup>Deutscher Hockey-Bund e. V., BT-Wissenschaft

### 1 Ausgangslage – Problemstellung

Das Projekt schließt an eine seit 2012 im DHoB konsequent vertiefte Forschungsthematik an: wenn Hochleistungen als komplex vernetztes Zusammenspiel physischer (biologischer), psychischer und sozialer Prozesse zu verstehen sind, welches Wissen, welche Kompetenzen brauchen Trainerinnen bzw. Trainer *und* ihre Mannschaften (hier fokussiert auf die weibliche Linie), um spielerische mit persönlichen und sozialen Weiterentwicklungen zu verbinden.

Mit welchen Herausforderungen bei der Entwicklung mannschaftsinterner Selbstorganisation und Selbststeuerung werden Nachwuchs-Trainerinnen und -trainer konfrontiert?

- › Der Deutsche Hockeybund hat es auf allen Ebenen mit Spielerinnen zu tun, die aus einem gehobenen Bildungssegment kommen, d. h. der Familiencharakter Hockey generiert sich (überwiegend) aus Elternhäusern, die erwarten, Leistungssport mit adäquaten (Aus-) Bildungskarrieren zu koppeln.
- › Das hat zur Folge, dass bereits Spielerinnen junger Altersgruppen mit einem dementsprechenden Anspruchsdenken ausgestat-

tet und zugleich in der Lage sind, persönlich und sozial anspruchsvolle Themen/Prozesse primär **verbal zu artikulieren**, ohne dass ihnen die Umsetzungskonsequenzen klar sind.

- › Vor diesem alltäglichen Hintergrund scheint es eine ernst zu nehmende Herausforderung für die Nachwuchs-Trainerinnen bzw. -trainer, dieser verbalen „Oberfläche“ (Spielerinnen und Eltern) mit einer professionellen Haltung zu begegnen, die Prozesse und deren Ergebnisse **klar leistungsbezogen schärft** und **notwendige, auch unangenehme persönliche Konsequenzen glaubhaft** transportiert.
- › Verstärkend wirkt: viele Trainer und Trainerinnen wissen selber nicht, wie sie die Grundlagen leistungsbestimmender personaler und sozialer Kompetenzen differenzierter entwickeln können. (Theoretisches - versus Umsetzungswissen = ein Auslöser für dieses Projekt).

## 2 Methodische Zugänge

Als Service-Forschungsprojekt lehnt sich das Projekt an den bereits beschriebenen Feldzugang systemischen Prozess-Coachings an (Klößner, 2017). Eine sinnvolle Ergänzung dazu sieht der Verfasser in der Handlungsforschung, indem Fragestellungen aus der Praxis mit dem Ziel nachhaltiger Verbesserungen vom „Forschenden“ in der unmittelbaren Praxis angegangen werden.

*„In der Handlungsforschung sind jene Menschen und Menschengruppen, welche von den Wissenschaftlern untersucht werden, nicht mehr bloße Informationsquelle des Forschers, sondern Individuen, mit denen sich der Forscher gemeinsam auf den Weg der Erkenntnis zu machen versucht.“*  
(Lewin & Graumann 1982, S. 212)

Entsprechend stellt die neu eingeführte Figur eines Prozess-Coaches eine Vielzahl seitens der Trainer initiiertes Prozesse hinsichtlich ihrer operativen Wirksamkeit unter Beobachtung und unterstützt sie kontinuierlich mit entsprechendem Feedback. Dazu nimmt er neben der Beobachtung von Training und Wettkämpfen an allen relevanten Planungs- und Steuerungsprozessen (u. a. Spielvor- und Nachbereitung) teil.

Im Projekt fanden im Jahr 2019 folgende Coachings-on-the-Job statt:

- U 18/U21 25.-28.02.2019 in Köln
- U 21/U18 09.-11.03.2019 in Köln
- U 21/Danas 22.-26.04.2019 in Mönchengladbach
- U 16 04.-06.06.2019 in Mannheim
- U 18 12.-21.07.2019 in Eindhoven (6 Nationenturnier).

Zur Evaluation der 8-monatigen Beobachtungen und Interventionen dienten im September einstündige Interviews mit allen beteiligten Trainerinnen und Trainern. Den Interviewleitfaden erstellte der Projektleiter gemeinsam mit dem BT-Wissenschaft.

## 3 Verlauf und Ergebnisse

In einem Vorlauf-WS (25.09.2018) wurden vor dem offiziellen Projektbeginn mit allen beteiligten Trainerinnen und Trainern sowie einer wissenschaftlichen Hilfskraft des DHoB theoretische Grundlagen, Ziele, angedachte Interventionsformen vorgestellt und hinsichtlich ihrer praktischen Umsetzbarkeit diskutiert. Im Februar 2019 erstellte der Projektleiter ein umfangreiches Handout für alle Projekttrainer: „DHB-Trainer-2019. Wie verstehen wir die Vernetzung zwischen Person (Persönlichkeit), Spieler (Funktion) und der Mannschaft? Welche systemischen Kompetenzen brauchen DHB-Trainer? Ein Handout für das BISp-Projekt, NextCoaches und ihren Staff?“

Um den in der Ausgangslage beschriebenen „hockeyfamiliären“ Anforderungen differenzierter begegnen zu können, entstand im Projektverlauf die Idee, für alle Altersstufen ein bisher nicht existentes **Assessment-Konzept** zu entwickeln, in dem – abgeleitet von der höchsten Leistungsstufe der Danas – **ausschließlich persönliche und soziale Lerninhalte** für **jede** Altersstufe entwickelt wurden. Konkret aus Sicht des Bundestrainers der Danas gefragt: „Was muss eine U 21 Spielerin an psychischen und sozialen Qualifikationen/Kompetenzen aufweisen, um so schnell wie möglich in die Danas integriert werden zu können?“ Die gleiche Frage wurde aus Sicht der jeweils übergeordneten Mannschaft für alle Altersstufen gestellt und mit Kriterien hinterlegt. Zugleich wurden den Trainerinnen und Trainern aller U-Mannschaften konkrete Lerninhalte und Methoden an die Hand gegeben, um mit ihrer Mannschaft auf die jeweiligen Übergangskriterien hin zu arbeiten.

Ein Beispiel: Assessment-Kriterien für den Übergang von der U16 in die U18:

- Die Spielerin verfügt über ein flexibles Rollenverständnis.
- Die Spielerin kann eine kritische Feedback-Kultur leben, also angemessenes und wertschätzendes, aber dennoch kritisches Feedback geben und annehmen.
- Die Spielerin versteht und lebt leistungssportliche Prinzipien (übergreifend festgelegt).
- Die Spielerin ist bereit/offen für Lernen.



In dem das Projekt abschließenden Workshop am 30.09.-01.10.2019 wurden sowohl die Ergebnisse der Interviews, die Assessment-Kriterien, deren **stetige zukünftige Anpassung und Abstimmung innerhalb des Trainerkreises**, neue Arbeitsformen und -methoden für den Staff diskutiert und auf Handhabbarkeit in der Zukunft geprüft.

## 4 Diskussion – Perspektiven

Das Projekt stellt den vorläufigen Abschluss einer Reihe von organisations- und personalentwickelnden Projekten im DHoB seit 2012 dar: Steuerungsteam (2012-16), NextCoach 1 und 2 (2014-16), Danas Olympia 2016 (2015-16) und Honamas (2018), die alle vom BISp gefördert wurden. Insofern war bei den hier beteiligten Projekttrainerinnen und -trainern bereits ein erkennbares und auch hilfreiches Vorverständnis gegeben. Uneingeschränkt zu befürworten ist an diesem Arbeitsansatz, alle „wissenschaffenden“ Prozessbeobachtungen und Interventionen aus der unmittelbaren Begleitung der Trainerinnen bzw. Trainer und ihrer Mannschaften zu generieren. Auch wenn es sich um einen **extrem zeitaufwendigen** methodischen Zugang handelt, eröffnen sich aus diesen teilnehmenden Prozessbeobachtungen für alle Seiten ständig neue Themen und wichtige Kompetenzanstöße für die Trainerarbeit.

So erscheint es aus einer neurobiologischen Sicht (Roth & Ryba, 2016) nachvollziehbar, dass alle videogeleiteten (und zeitlich hoch aufwendigen) Spielvor- und -nachbesprechungen auf der präfrontalen, kognitiv-sprachlichen Ebene zu verorten sind.

Handlungsleitende taktische Vorgaben und Marschrouten sind auf dieser Ebene **bewusst und** für jede Spielerin/die Mannschaft kognitiv (sprachlich) verfügbar. Was sich anschließend auf dem Feld unter Wettkampfbedingungen als individuelle Abweichungen und Abstimmungsdefizite „unter der Bewusstseinschwelle“ emotional bei Einzelnen und kollektiv entwickelt, entzieht sich bisher dem Wissen der Trainerinnen und Trainer und wird entsprechend dann wieder auf der „Verhaltensebene“ (Video) spekulativ verarbeitet. Vielleicht ein weiterer Anstoß, das tradierte sportwissenschaftliche Leistungsverständnis um systemische Hintergründe zu erweitern? (Klößner 2018)

## 5 Literatur

- Klößner, W. (2017). Leistungssteuerung im Übergang zwischen harten und weichen Wirklichkeiten: Systemisches Prozess-Coaching bei der Hockey-Damennationalmannschaft (Teil 1-3). *Leistungssport Jahrgang 4-6*. Philippka.
- Klößner, W. (2018). *Systemische Anstöße für ein erweitertes Leistungsverständnis. Brücken zwischen bewussten und unbewussten Prozessen*. Vortrag bei den Wissenschaftskoordinatoren des DOSB. Füssen
- Lewin, K. & Graumann, C. F. (1982). *Feldtheorie*. Klett-Cotta.
- Roth, G., & Ryba, A. (2016). *Coaching, Beratung und Gehirn. Neurobiologische Grundlagen wirksamer Veränderungskonzepte*. Klett-Cotta.



# Torwurfanalyse im Wasserball

(AZ 072029/18-19)

Andreas Hohmann (Projektleitung), Stefan Hochstein & Dirk Hohenstein

Universität Bayreuth, Institut für Sportwissenschaft

## 1 Problem

Im Rahmen eines Serviceprojekts des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (ZMVI4-072029/18-19) wurde eine *Systematische Spielbeobachtung* beim 8-Nationen-Endrundenturnier des Wasserball-Weltcups vom 11.-16. September 2018 in der Olympiaschwimmhalle Berlin durchgeführt. Abweichend der herkömmlichen Spielregeln – und als Testlauf zur Beschleunigung des Spiels – wurden vom Weltverband FINA beim Weltcup 2018 in Berlin einige Regeländerungen getestet. Die beiden wichtigsten Änderungen lagen in der Verschiebung der Strafwurflinie auf 6 m (anstatt 5 m) und der Reduktion der Angriffszeit bis zum Torabschluss auf nur 20 s (anstatt 30 s).

Gegenstand der Spielanalyse war das *Wurfverhalten der Weltklasse* unter internationalen Wettspielbedingungen. Da die Wurfleistung eine der wichtigsten Leistungsvoraussetzungen im Spitzenwasserball darstellt (Alcaraz et al., 2011; 2012), wird auf Seiten des Deutschen Schwimm-Verbandes der aktuelle Leistungsrückstand auf die Weltelite nicht zuletzt auf Defizite bei der individuellen Wurfleistung (im Sinne der Torausbeute) der deutschen Nationalspieler und -spielerinnen zurückgeführt. Die Wurfdefizite liegen einerseits in teilweise rückständigen Nachwuchskonzepten (z. B. mangelnde Berücksichtigung der Wurftechnik bei der Talentsichtung; unzureichende Ausbildung einer perspektivisch, d. h. spitzensportlich geeigneten Wurftechnik im Nachwuchsalter) und andererseits im ungenügenden wissenschaftlichen Kenntnisstand zum wettspielspezifischen Wurfverhalten (erfolgreiche Wurfpositionen und Wurfziele; technische Wurfausführung und Wurfgeschwindigkeit, taktische Wurfsituation und Wurfvorbereitung etc.) begründet.

Beispielsweise ist nicht ausreichend geklärt, mit welcher Häufigkeit und Effektivität diese Wurftechniken unter Wettspielbedingungen eingesetzt werden.

Auch aus *biomechanischer Sicht* besteht ein Defizit an wettspielspezifischen Messungen. Besonders notwendig erscheinen Diagnosen zu dem im Wettspiel dominant eingesetzten Schlagwurf (als direkter „drive“ shot, als aufgesetzter „bounce“ shot, oder nach fintierendem Aufziehen als „fake“ shot), denn hierzu liegen einschlägige Messwerte primär für Wurfbewegungen unter isolierten Trainingsbedingungen oder in der Laborsituation vor (Davis & Blanksby, 1977; Elliott & Armour, 1988; Melchiorri et al., 2014). Somit bleiben wichtige leistungsrelevante Kenngrößen im Wettspiel wie z. B. Wurfdistanz und Wurfgeschwindigkeit, aber auch Flug- und Reaktionszeit unklar.

Da die internationalen Leistungsunterschiede in der maximalen Wurfgeschwindigkeit unter Laborbedingungen vergleichsweise gering sind, hat sich die internationale Forschung in jüngerer Zeit aus *taktischer Sicht* vor allem mit der *Situationsabhängigkeit*, d. h. den konkreten Bedingungen (constraints) erfolgreicher Abschlussaktionen im Sportspiel beschäftigt (Headrick et al., 2012; Vilar et al., 2014; Esteves et al., 2015). Da diese Entwicklung im Wasserball bislang weitgehend unbeachtet geblieben ist, sollten in der Studie mit den *teilkollektiven Torwurfmerkmalen* Wurfwinkel, Zuspieldistanz und -geschwindigkeit sowie Torwartposition beim Torwurf drei wesentliche Randbedingungen (constraints) des Spielverhaltens von Mit- und Gegenspielern bzw. -spielerinnen aufgegriffen und im Zusammenhang mit dem situativen Wurferfolg analysiert werden. Eine zweite, weiterführende Analyse sollte den Zusammenhang zwischen

dem gesamt Kollektiven Angriffs- und Abwehrverhalten und der Torerfolgsquote am Beispiel der *Raumbeherrschung* (vgl. Memmert & Raabe, 2017) aufklären. Dazu werden die in der Offensive und der Defensive jeweils individuell die von jeder einzelnen Spielerin/jedem einzelnen Spieler kontrollierten Teilflächen des Spielfelds mit Hilfe von Voronoi-Zellen berechnet und verglichen.

## 2 Methode

Die **qualitativ-morphologische Torwurfanalyse** umfasste sämtliche  $N = 1.482$  Torwürfe aus allen 24 Turnierspielen (12 Vorrunden-, 8 Zwischenrunden- und 4 Finalspiele) und wurde auf der Basis des professionell erstellten Videomaterials der offiziellen Fernsehagentur (Fa. RoughWater, Berlin) durchgeführt. Die Aufnahmen der Fernsehkameras boten aufgrund des unmittelbar am Beckenrand installierten Beobachtungspodiums, sowie von Namenseinblendungen, Nahaufnahmen, Zeitlupenwiederholungen etc. hervorragende Auswertungsvoraussetzungen. Die Datenerhebung erfolgte auf der Basis einer lückenlosen *Ereigniserfassung* (event sampling) mit vorab kategorial definierten Ausführungs- und Ergebnismerkmalen der im Turnierverlauf beobachteten Torwürfe und mündete in der Analyse von Torwurfresultat (mit den Merkmalen Treffer und Fehlwurf) und Torwurftechnik (mit den Merkmalen Wurfart, Wurfvariante, Wurfsituation, Wurfausführung und Technikfehler).

Zur Überprüfung der *Beobachtungsobjektivität* wurde das Vorrundenspiel Kroatien gegen die USA im Hinblick auf die Interraterreliabilität unabhängig voneinander und in voller Länge wiederholt ausgewertet und die Ergebnisse Aktion für Aktion miteinander verglichen (Erdmann & Willimczik, 1978). Dabei ergab sich für die Beobachterübereinstimmung über die 12 Beobachtungskategorien (siehe Tab. 1) hinweg mit einem Cohens` Kappa von  $\kappa = 0,903$  eine sehr gute Beobachtungsgüte.

Die **quantitativ-biomechanische Torwurfanalyse** basierte jeweils auf 10 s dauernden High-speed-Aufnahmen (Aufnahmefrequenz:

250 fps). Dazu waren die beiden Kameras (Fastcam SA3 und Mini AX50, Fa. Photron, Japan) vor Turnierbeginn in der Dachkonstruktion der Olympiaschwimmhalle Berlin in 15 m Höhe jeweils senkrecht über den beiden Toren installiert und mit Hilfe von 32 Kalibrationspunkten auf dem Niveau der Wasseroberfläche kalibriert (2D direct linear transformation). Aufgrund der längeren Speicherzeiten wurden nur erfolgreiche Torwürfe (Tore) aufgezeichnet ( $N = 490$ ). Die Wurfanalyse erfolgte dann auf der Basis der frame-by-frame getrackten Bewegungstrajektorien des Schützen sowie des Tors und des Balls innerhalb der jeweiligen Spielfeldhälfte. Untersucht wurden die *Ballgeschwindigkeit* (zu vier diskreten Zeitpunkten:  $t_1$  = Verlassen der Hand des Zuspielers,  $t_2$  = Erreichen der Hand des Torwerfers,  $t_3$  = Verlassen der Hand des Torwerfers,  $t_4$  = Überqueren der Linie parallel zur Torwartposition) und die *Balltrajektorie* (mit den Schwerpunkten Wurfdistanz und Ballflugdauer relativ zur Torwartposition).

Die **quantitativ-taktische Torwurfanalyse** wurde kontinuierlich mit Hilfe von ebenfalls über den beiden Toren in 15 m Höhe angebrachten GoPro-Kameras (GoPro HERO5; Aufnahme-frequenz: 50 fps) gefilmt. Untersucht wurden nur Schlagwürfe und Aufsetzer, die unbehindert, direkt und ohne Technikfehler ausgeführt wurden, wodurch sich der Umfang der auszuwertenden Torwürfe auf  $N = 359$  reduzierte. Die Wurfanalyse erfolgte dann auf der Basis der getrackten *Positionserfassung* (position sampling) und der frame-by-frame getrackten Bewegungstrajektorien sämtlicher 6 Angriffs- und 7 Abwehrspieler (inkl. Torwart) sowie des Tors und des Balls innerhalb der jeweiligen Spielfeldhälfte. Parallel zum manuellen Tracken wurde in Kooperation mit dem Bayreuther Lehrstuhl für Graphische Datenverarbeitung (Prof. Dr. Michael Guthe) für das automatische Tracking der Positionsdaten eigens eine Software auf der Basis eines Künstlichen Neuronalen Netzwerks entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Convolutional Neural Network (CNN), dessen mehrschichtige Architektur eine automatische Objekterkennung von Spielern, Ball und Hintergrund ermöglicht (Abb. 1).

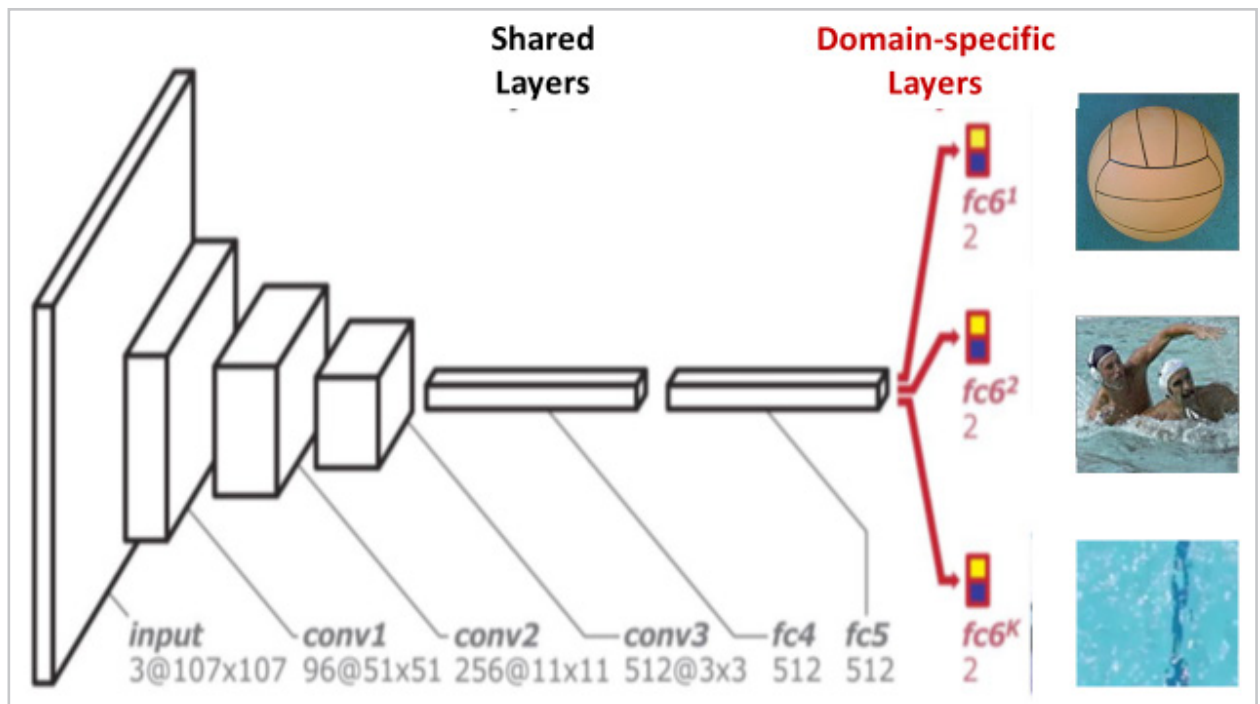


Abb. 1: Architektur des zur Objekterkennung eingesetzten Convolutional Neural Network (Harrer & Hartwig, 2019)

Das CNN automatisiert die Zuordnung von grafischen Bilddaten (Hintergrund-Pixelregionen und Objekt-Pixelregionen) zu Spieler- und Ballpositionen und ermöglicht damit eine darauf aufbauende Lokalisierung der interessierenden Spielereignisse (Pässe, Torwurf usw., aber auch Spielermanöver, Raumkontrolle usw.). Das CNN wurde anhand von ausgewählten Spielszenen (1000 getrackte Bilder über alle Spiele und Teams verteilt) vortrainiert. Mit Hilfe des vortrainierten CNN konnten dann die einzelnen Spieler sowie der standardisiert mehrfarbige FINA-Spielball (Ballgröße: 68-71 cm Umfang, Ballgewicht: 400-450 gr) mit einer Genauigkeit von 96 % korrekt bestimmt werden. Bei der Identifikation des Hintergrunds ohne Spielobjekt wurde eine Genauigkeit von 99 % erreicht.

Bei der Datenauswertung wurden unter teilkollektivem Aspekt *Zuspieldistanz und Zuspielgeschwindigkeit* (einschließlich der Verweildauer des Balls auf der Hand des Torwerfers und dessen räumliche Positionsveränderung während des Ballbesitzes) sowie *Torwurfwinkel und Torwurfpräzision* (relativ zur Torlinie bzw. zur Torwartposition) untersucht. Unter gesamtkollektivem Aspekt wurde die *Raumbeherrschung* mit Hilfe von individuellen „Voronoi-Zellen“ quantifiziert.

Die mathematisch-statistische Datenauswertung erfolgt mit Hilfe eines MATLAB-basierten Spielanalysealgorithmus. Für sämtliche Verfahren galt ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  (zweiseitig).

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Qualitativ-morphologische Torwurfanalyse

Die qualitativ-morphologische Torwurfanalyse zeigte, dass auf internationalem Leistungsniveau pro Spielviertel im Mittel  $M = 2,05$  ( $SD = 0,2$ ) Tore erzielt werden und diese Trefferzahl über die ca. 15-minütigen Spielabschnitte (diese ergibt sich in etwa aus der Netto-Spielzeit von  $4 \times 8:00$  min) nicht systematisch variiert (Min = 1,95, Max = 2,16 Tore). Große Unterschiede im Abschlusserfolg treten jedoch bei den verschiedenen Angriffsarten auf, unter denen der Positionsangriff mit ca. 25 % eine deutlich geringere Erfolgsquote aufweist als der Schnellangriff mit 47 % und der Überzahlangriff mit 48 %. Erwartungsgemäß liegt hier der 6-m-Strafwurf mit ca. zwei Dritteln (67 %) erfolgreicher Torwürfe klar in Front. Ebenso wenig überraschend ist, dass unter den Torwurfzielen innerhalb des  $1 \times 3$  m



großen Wasserballtores zumindest die beiden unteren der drei vertikal angeordneten Zonen in der Tormitte deutlich weniger erfolgversprechend sind als die seitlichen Zonen neben dem linken und echten Torpfosten (Abb. 2). Zudem weisen insbesondere beim Positionsangriff in Gleichzahl (6-6) die unteren Zielzonen aufgrund der für den Torwart schwer zu verteidigenden „Aufsetzer“, d. h. der Würfe direkt auf die Wasseroberfläche nahe der Torlinie, besonders gute Trefferquoten auf. Ferner ist bei den Positionsangriffen (6-6) ebenso wie bei den häufigen Überzahlangriffen (6-5), die in der Regel aus einer 20-sekündigen Zeitstrafe für einen Gegenspieler resultieren und in einer eingetübten Formation (power play) ausgespielt werden, bemerkenswert, dass auf der Rechtsaußenposition eingesetzte Linkshänder mit jeweils 56 % Treffern eine signifikant ( $p < 0,05$ ) höhere Trefferleistung erreichen im Vergleich zu Rechtshändern (mit lediglich 35 % bzw. bei Überzahl gar nur 24 %).

In Bezug auf die *Wurftechniken* hat sich gezeigt, dass die wichtigste Wurfart Schlagwurf, die mehr als 90 % aller Pässe und Würfe im Spiel ausmacht, bei der Anwendung als Aufsetzer mit 46 % Treffern deutlich effektiver ist als der „trockene“ Torwurf ohne Wasserkontakt (Torquote: 31 %). Gleichzeitig unterschied sich die Nationalengruppe HUN-SRB-CRO signifikant ( $p < 0,05$ ) in Bezug auf die Schwierigkeit der Wurfausführung. Im Vergleich zum Mittelfeld der Weltcupfinalisten warfen die Spieler der Topnationen systematisch häufiger mit der technisch anspruchsvollen Oberkörper- und Wurfarmbewegung zur Seite um die in Blockadestellung postierten Verteidiger herum auf das Tor. Zudem setzten die Topnationen auch häufiger „ansatzlose“ Würfe ohne Aushöhlbewegung ein, die aufgrund der schnellen und kleinräumigen Handgelenksbewegung für Abwehrspieler und Torwart kaum rechtzeitig zu erkennen sind.

19 %	10 %	25 %	64 %	51 %	38 %
23 %	5 %	54 %	57 %	0 %	55 %
42 %	10 %	45 %	62 %	17 %	58 %
Positionsangriff (6-6)			Überzahlangriff (6-6)		

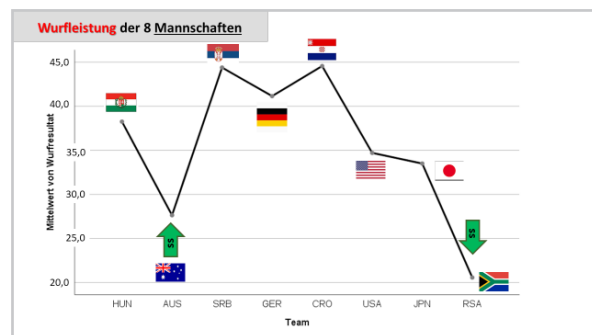


Abb. 2: Trefferquoten (linke Seite) in den verschiedenen Zielzonen des Wasserballtores und Teamdurchschnitt (rechte Seite) der acht am Weltcupfinale 2018 teilnehmenden Nationen (in der Reihenfolge der Turnierplatzierung)

Vergleicht man die gesamtmannschaftlichen *Torwurfresultate* der acht teilnehmenden Nationalmannschaften, so fallen bereits auf den ersten Blick die höheren Trefferquoten der seit vielen Jahren bei Olympischen Spielen und Weltmeisterschaften erfolgreichen Wasserballnationen Ungarn (OS-Gold 2000, 2004, 2008), Kroatien (OS-Gold 2012) und Serbien (OS-Gold 2016) auf. Bemerkenswert ist immerhin, dass Deutschland in den vergangenen Jahren zumindest den Anschluss an die Weltspitze hergestellt hat, was sich neben dem vierten Platz im hier untersuchten Weltcupfinale auch in der guten Trefferleistung von 42 % zeigt.

Aus biomechanischer Sicht interessieren beim Torwurf vor allem die Ballgeschwindigkeit und die Flugdauer des Balls. Um sicherzustellen, dass die untersuchten Torwürfe von den Spielern mit annähernd maximaler Intensität ausgeführt wurden, wurden nur solche Schlagwürfe ( $N = 193$ ) in die Analyse einbezogen, die unbehindert, ohne Technikfehler, aus einer Mindestdistanz von 6 m, sowie mit einer Abwurfgeschwindigkeit von mindestens  $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) erfolgten (Tab. 1).

Tab. 1: Ballgeschwindigkeiten beim Torabschluss mit Schlagwurf zum Zeitpunkt  $t_3$  (Verlassen der Hand) beim Wasserball-Weltcupfinale 2018 in Berlin

Nation	N	M (m•s-1)	SD (m•s-1)	SDE (m•s-1)	95% CL LL (m•s-1)	95% CL UL (m•s-1)	MIN (m•s-1)	MAX (m•s-1)
Ungarn	29	22,92	1,73	0,32	22,26	23,58	19,14	26,34
Australien	17	22,55	1,34	0,33	21,86	23,23	19,75	24,70
Serbien	32	21,46	2,42	0,43	20,58	22,33	17,13	27,32
Deutschland	22	21,38	1,77	0,38	20,60	22,17	18,39	25,29
Kroatien	32	21,45	1,52	0,27	20,90	22,00	17,40	23,85
USA	24	22,15	1,60	0,33	21,47	22,83	18,16	24,83
Japan	25	20,04	1,30	0,26	19,50	20,57	16,82	21,86
Südafrika	12	20,75	1,25	0,36	19,95	21,54	17,69	22,38
Gesamt	193	21,62	1,90	0,14	21,35	21,89	16,82	27,32

Legende: Nur direkte und aufgesetzte, unbehinderte Schlagwürfe ohne Technikmängel, aus mindestens 6 m Entfernung und einer Ballgeschwindigkeit größer 17 m•s-1

Im Ergebnis zeigten sich sowohl bei Strafwürfen (von der 6-m-Linie) als auch bei Torwürfen aus dem Feld sehr hohe Abwurfgeschwindigkeiten, die teilweise über 25 m•s-1 (90 km•h-1) betragen. Spitzenreiter waren hierbei der Olympiasieger von 2016, Dusan Mandic (SRB), mit über 27 m•s-1 und Gergö Zalanki (HUN) mit über 26 m•s-1. Bei diesen Wurfgeschwindigkeiten betrug die Reaktionszeit des Torwarts (Zeit zwischen  $t_3$ , Verlassen des Balls von der Hand, bis  $t_4$ , Passieren der Torwartposition) im Einzelfall weniger als 0.2 s (Abb. 3).

Insgesamt nimmt die Nationalmannschaft Ungarns in Bezug auf die Wurfgeschwindigkeit eine Sonderrolle ein, denn einerseits war die durchschnittliche Überlegenheit gegenüber vier von sieben Weltcupfinalisten (SRB, CRO, JAP, RSA) signifikant ( $p < 0.05$ ) und andererseits erzielten gleich fünf Spieler Wurfgeschwindigkeiten über 23 m•s-1.

In die **teilkollektiv-taktische Torwurfanalyse** wurden  $N = 395$  Schlagwürfe aller acht Teams einbezogen und dahingehend untersucht, ob das individuelle taktische Wurfverhalten, das

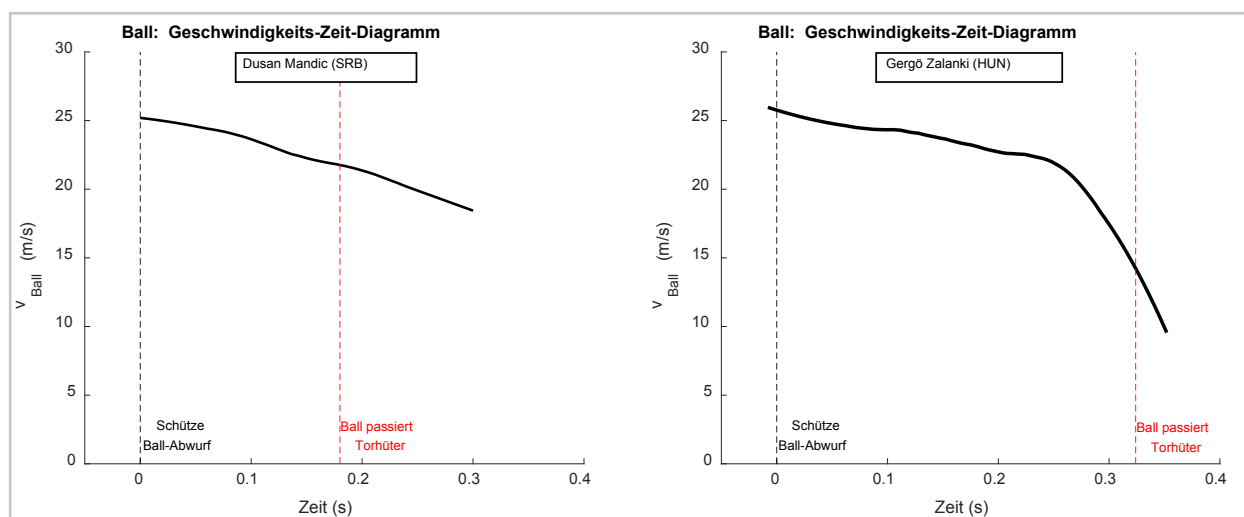


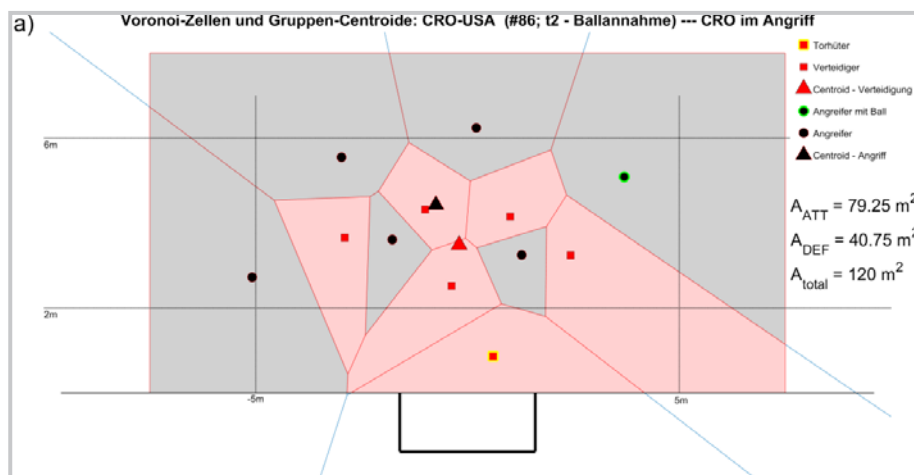
Abb. 3: Ballgeschwindigkeit (zum Zeitpunkt  $t_3$ , Verlassen der Hand) beim Torabschluss mit Schlagwurf von Weltklassewasserballern beim Weltcupfinale 2018 in Berlin

in der Position des Werfers relativ zu Tor und Torwart und seiner räumlichen Positionsveränderung während des Ballbesitzes zum Ausdruck kommt, sowie das taktische Mitspielerverhalten, hier bezogen auf die Ballgeschwindigkeit beim Zuspiel, einen Zusammenhang mit dem Erfolg des Torwurfs aufweist.

Generell hat sich gezeigt, dass die beiden Angriffsarten Positionsangriff und Überzahlangriff getrennt ausgewertet werden müssen, was jedoch die einzelnen Fallzahlen nochmals reduziert. Unter taktischem Aspekt dokumentieren die Auswertungsergebnisse, dass zuallererst die Wurfdistanz von signifikanter ( $p < 0,05$ ) Bedeutung ist, denn je näher der Werfer zum Tor aufrücken konnte, desto höher war seine Trefferquote im Positionsangriff. Weiterhin war die Trefferquote auch dann höher ( $p < 0,05$ ), wenn ein Spieler den Torwurf – mutmaßlich zum Zweck einer höheren Wurfpräzision – eher mit einer submaximalen Wurfgeschwindigkeit ausgeführt hat. Darüber hinaus ergab die Analyse, dass der angestrebte Torerfolg durch eine Positionsveränderung des Ballbesitzers begünstigt wird, d. h. wenn der Werfer im Zeitfenster zwischen der Annahme des Balls ( $t_2$ ) und dem Abwurf aufs Tor ( $t_3$ ) seine räumliche Position auf dem Spielfeld so verändert, dass dieser den Öffnungswinkel beim Torwurf vergrößert („in die Mitte ziehen“). Diese signifikante ( $p < 0,05$ ) Veränderung der Spielerposition geschieht vor allem mit dem Ziel, sich einen (breiteren) Wurfkorridor an einem Gegenspieler oder direkt am Torwart vorbei zu eröffnen. Gleichzeitig korrespondiert dieser Befund mit der bereits oben bei den Topnationen festgestellten Anwendung eher anspruchsvoller Wurfbewegungen zur

oder gegen die Wurfhandseite. Interessant ist diese erfolgsrelevante Positionsveränderung des Ballbesitzers auch deshalb, weil diese offenkundig sehr schnell erfolgen muss, denn unabhängig von der damit einhergehenden Optimierung des Wurfwinkels steigt die Trefferquote auch gleichsinnig mit einer verkürzten Ballhaltdauer des Angreifers, wobei im Überzahlangriff gegenüber dem Positionsangriff systematisch kürzere Ballhaltdauern gezeigt wurden. Neben einer schnellen Ausführung der Wurfbewegung um den Verteidiger oder Torwart herum, dürfte die Erfolgsrelevanz einer kurzen Ballhaltdauer auch daraus resultieren, dass es bei einem langen Querpass von der gegenüberliegenden Spielfeldseite aus erfolgsrelevant sein kann, möglichst schnell und direkt in die „kurze“, d. h. werfernahe Ecke abzuschließen, solange sich der Torwart noch in der Seitwärtsbewegung befindet. Dies findet naturgemäß häufiger bei Überzahlsituation statt.

Der abschließenden Analyse der **kollektiven Raumbeherrschung** liegen erneut die  $n = 395$  Schlagwürfe aller acht Teams zugrunde (Abb. 4). Der Vergleich der offensiv und defensiv kontrollierten Spielfeldteilflächen zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Torwürfen zeigt, dass das angreifende Team im Fall von erfolgreichen Angriffsabschlüssen in der Summe seiner sechs Akteure jeweils signifikant ( $p < 0,05$ ) mehr Spielfeldfläche vor dem gegnerischen Tor kontrollierte als die sechs Abwehrspieler gemeinsam mit ihrem Torwart. Bei nicht erfolgreichen Angriffsversuchen verhielt sich dieses Flächenverhältnis genau umgekehrt, die Raumbeherrschung erfolgte also dominant durch das defensive Team.



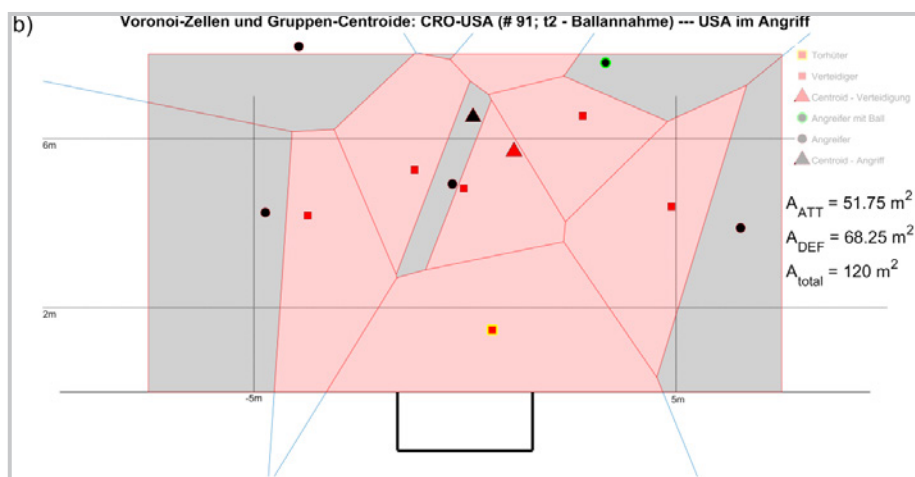


Abb. 4: Das kollektive Merkmal der Raumbeherrschung in Angriff und Abwehr am Beispiel sog. Voronoi-Zellen in Angriff (grau) und Abwehr (rosa) innerhalb einer Spielfeldseite beim Vorrundenspiel CRO-USA beim Wasserball-Weltcupfinale 2018 in Berlin

## 4 Diskussion

Der integrierte Untersuchungsansatz mit einer Kombination der Untersuchungsergebnisse auf der individuellen Analyseebene in Verbindung mit den Rahmenbedingungen (constraints) auf der kollektiven Analyseebene hat sich bewährt und eine differenzierte Aufklärung der Unterschiede im individuellen Wurfverhalten der Einzelspieler und der kollektiven Torwurfresultate der acht untersuchten Wasserballnationalmannschaften auf Weltklasseniveau ermöglicht.

Mit der Verknüpfung von bewegungstechnischen, biomechanischen und situationstaktischen Informationen konnten komplexe Erkenntnisse erzielt werden, die hoffentlich für eine sportwissenschaftlich fundierte Trainings- und Wettkampfgestaltung im Wasserball nutzbar gemacht werden können.

## 5 Literatur

Die Literaturliste ist beim Verfasser erhältlich.





# Okklusionstraining im Rudern: Effekte von Okklusionstraining im Rudern

(AZ 072030/18-19)

Steffen Held & Lars Donath (Projektleitung)

Deutsche Sporthochschule Köln, Abteilung für trainingswissenschaftliche Interventionsforschung

## 1 Einleitung

Aktuelle Forschungen haben gezeigt, dass neben beachtlichen Kraftsteigerungen durch Blutflussrestriktion (BFR) Krafttrainings-Methoden (Scott et al., 2016) auch signifikante Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) durch Radfahren (Abe et al., 2010) und Laufen (Park et al., 2010) mit BFR induziert wurden.

Basierend auf dem dominant aeroben Metabolismus während des 2000-m-Ruderwettkampfes (Roth et al., 1983), wird die  $\dot{V}O_2\text{max}$  als eine wesentliche Determinante der Ruderleistung angesehen (Ingham et al., 2002). Folglich könnte BFR als zusätzlicher Trainingsreiz während des Ruderns mit geringer Intensität eingesetzt werden.

Dementsprechend soll die aktuelle Studie prüfen, ob die Anwendung von BFR während des Rudertrainings mit geringer Intensität die  $\dot{V}O_2\text{max}$  erhöhen kann.

Bei BFR wird eine venöse Okklusion (ohne arterielle Okklusion) durch elastische Bänder induziert (Behringer et al., 2017). Die Ergebnisse dieser Studie könnten einen nennenswerten Einfluss auf die Konzeption des ruderspezifischen Trainings haben, der es ermöglicht, die Effektivität des Rudertrainings bei geringer Intensität zu verbessern.

## 2 Methoden

### 2.1 Probanden

In dieser randomisiert-kontrollierten Interventionsstudie (RCT) wurden 31 erfahrene Ruderer (siehe Tab. 1) untersucht. Das Studienprotokoll wurde vom lokalen Ethikausschuss (181/2018) genehmigt und erfüllte die internationalen Ethikstandards (Harriss & Atkinson, 2015).

Tab. 1: Anthropometrische Merkmale der Interventions- (INT) und Kontrollgruppe (CON) zu Studienbeginn (Mean  $\pm$  SD) mit p-Werten und standardisierten Mittelwertdifferenzen (SMD) für den Vergleich zwischen den Gruppen

	INT (n = 16)	CON (n = 15)	p-value	SMD
<b>Geschlecht [w/m]</b>	4/12	4/11	0,88	0,058
<b>Alter [Jahre]</b>	21,9 $\pm$ 3,2	21,7 $\pm$ 3,7	0,92	0,000
<b>Größe [cm]</b>	180,4 $\pm$ 8,7	180,7 $\pm$ 8,1	0,80	0,093
<b>Gewicht [kg]</b>	73,6 $\pm$ 10,9	72,5 $\pm$ 12,1	0,94	0,000
<b>Rudererfahrung [Jahre]</b>	8,4 $\pm$ 3,2	8,2 $\pm$ 3,7	0,92	0,000
<b>Vorheriges Trainingsvolumen [h/Woche]</b>	17,9 $\pm$ 2,1	18,1 $\pm$ 2,8	0,89	0,081

Im Allgemeinen wird BFR als eine sichere Trainingsmethode eingestuft, wenn es in einer kontrollierten Umgebung von geschultem und erfahrenem Personal eingesetzt wird (Loenneke et al., 2011). Eine epidemiologische Studie in Japan zeigte abgesehen von Hautabschürfungen nur geringe Nebenwirkungen (Nakajima et al., 2006). Trotzdem besteht das mögliche aber äußerst geringe Risiko einer Rhabdomyolyse (Iversen & Røstad, 2010; Matsumoto et al., 2016) während des BFR-Trainings, welches insbesondere bei Muskelschwund erhöht ist (Hughes et al., 2017). Dementsprechend wurden mögliche Ursachen der Rhabdomyolyse, wie Infektionen und längere Immobilisationen (Allison & Lawrence Bedsole, 2003), vor der Durchführung der BFR-Trainingsmaßnahme ausgeschlossen (Hughes et al., 2017).

## 2.2 Studiendesign

Basierend auf der *minimization* Methode (Scott et al., 2002), wurden alle Athleten entweder der Interventions- (INT) oder der Kontrollgruppe (CON) zugeordnet. Beim Eingangs- als auch beim Ausgangstest wurden jeweils die Ausdauer- und Kraftfähigkeiten mit einem  $\dot{V}O_2\text{max}$ -Rampentest ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) auf dem Ruderergometer (Treff et al., 2018) und einem Kniebeugen Einer-Wiederholungsmaximum-Test (SQ1RM) erfasst (Kraemer et al., 1995). Um die zirkadianen Auswirkungen auf die Leistung zu kontrollieren, wurden alle Messungen intraindividuell zu ähnlichen Tageszeiten durchgeführt. Während des 5-wöchigen Interventionszeitraumes absolvierten beide Gruppen ähnliche Trainingsfrequenzen, -volumina und -intensitäten (siehe Tab. 2).

Die Datenerhebung der Trainingsdokumentation (Tab. 2) basierte auf einem Dreizonenmodell (Seiler, 2010). Während INT BFR beim Rudertraining (im Boot und auf dem Ruderergometer) einsetzte, absolvierte CON das gleiche Training ohne BFR.

Die BFR der unteren Extremität wurde dreimal pro Woche durchgeführt und ausschließlich bei niedrig intensivem (aerobem) Rudertraining eingesetzt (unterhalb einer individuellen Herzfrequenz, welche einer Blutlaktatkonzentration von 2mmol/l entsprach). Während einer Trainingseinheit wurde BFR für zweimal 10 Minuten verwendet, unterbrochen von einer 10-minütigen BFR-Pause. Die verwendete BFR-Methode basierte auf Behringer et al. (2017). Dabei wurden elastische Kniebandagen (200 x 13 cm, Best Body Nutrition, Auerbach, Deutschland) am proximalen Teil des Oberschenkels verwendet.

## 2.3 Statistik

Eine univariate (einfaktorielle) ANOVA wurde für die anthropometrischen Daten und Trainingsparameter beider Gruppen berechnet. Für die primäre ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) und sekundäre *Outcome*-Messung wurde jeweils ein 2 (Gruppe: INT vs. CON) x 2 (Zeit: Eingang vs. Ausgang) *repeated measurement* ANOVA mit Kovariable berechnet. Die Effektgrößen wurden als *partial eta squared* ( $\eta^2$ ) dargestellt, wobei Werte von  $\geq 0,01$ ,  $\geq 0,06$ ,  $\geq 0,14$  jeweils kleine, mittlere oder große Effekte anzeigen (Cohen, 1988). Bei signifikanten Zeit x Gruppeninteraktionen für die jeweiligen Parameter wurden zusätzlich Bonferoni *post-hoc*-Tests durchgeführt. Standardisierte mittlere

Tab. 2: Übersicht der Trainingsparameter während der Intervention von INT und CON (Mittelwert  $\pm$  SD) mit *p*-Werten und standardisierten Mittelwertdifferenzen (SMD) für den Vergleich zwischen den Gruppen

Gruppe	%Krank [%]	Volumen [h/Woche]	Einheiten [n/Woche]	Kraft [%]	LiT-row [%]	ThT-row [%]	HiT-row [%]	LiT-Crosstraining [%]
CON	5,1 $\pm$ 10,9	13,0 $\pm$ 4,7	9,7 $\pm$ 3,1	21,2 $\pm$ 9,6	71,4 $\pm$ 2,2	1,3 $\pm$ 1,6	2,7 $\pm$ 1,7	24,6 $\pm$ 15,9
INT	5,9 $\pm$ 6,8	13,7 $\pm$ 4,4	10,3 $\pm$ 2,8	21,2 $\pm$ 9,5	73,0 $\pm$ 5,3	1,9 $\pm$ 4,7	3,3 $\pm$ 1,5	21,8 $\pm$ 15,7
<i>p</i>	0,434	0,953	0,942	0,773	0,573	0,688	0,565	0,866
SMD	0,285	0,020	0,031	-0,098	-0,214	0,169	0,235	-0,060

**%Krank:** Verletzungs- oder krankheitsbedingter Trainingsausfall; **Volumen:** Trainingsvolumen pro Woche; **Einheiten:** Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche; **Kraft:** Anteil des Krafttrainings am Gesamttrainingsvolumen; **LiT-row:** Anteil des Low-intensity-Ruderns am gesamten Ausdauertraining; **ThT-row:** Anteil des Threshold-Ruderns am gesamten Ausdauertraining; **HiT-row:** Anteil des High-intensity Ruderns am gesamten Ausdauertraining; **LiT-Crosstraining:** Anteil des Crosstrainings am gesamten Ausdauertraining

Differenzen (SMD) wurden als Maß für die paarweise Schätzung der Effektgröße berechnet (trivial:  $SMD < 0,2$ , klein:  $0,2 \leq SMD < 0,5$ , moderat:  $0,5 \leq SMD < 0,8$ , groß  $SMD \geq 0,8$ ; Cohen, 1988). Die statistischen Analysen wurden mit einem Statistiksoftwarepaket (IBM SPSS Statistics, Version 25.0, Armonk, NY, USA) durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

Die  $\dot{V}O_{2max}$  (siehe Abb. 1) zeigte signifikante Gruppe  $\times$  Zeitinteraktionen ( $p = 0,004$ ;  $\eta^2 = 0,256$ ) zugunsten von INT. Während die  $\dot{V}O_{2max}$ -Zunahmen von INT ( $63,0 \pm 7,0$  ml/min/kg auf  $69,7 \pm 9,4$  ml/min/kg,  $+9,1 \pm 6,2$  %) signifikant waren ( $p < 0,001$ ;  $SMD = 0,772$ ), zeigte CON keine signifikanten ( $p > 0,05$ ;  $SMD = 0,199$ )  $\dot{V}O_{2max}$ -Zunahmen ( $63,2 \pm 8,5$  ml/min/kg auf  $64,9 \pm 8,6$  ml/min/kg,  $+2,5 \pm 6,1$  %).

Es konnten keine Baseline-Unterschiede der anthropometrischen Daten zwischen den Gruppen (CON und INT) beobachtet werden (siehe Tab. 1). Zudem zeigten die Trainingsprotokolle (siehe Tab. 2) keine signifikanten Unterschiede und nur triviale bis kleine Effektgrößen.

### 4 Diskussion

Nach unserem besten Wissen ist dies die erste zweiarmige randomisiert-kontrollierte Studie, die darauf ausgerichtet war, die Auswirkungen von BFR auf die ruderspezifische aerobe Kapazität als relevantes Leistungssurrogat zu untersuchen. Die Gruppenzuordnung nach der *minimization*-Methode ergab ähnliche Ausgangswerte für beide Gruppen hinsichtlich anthropometrischer Merkmale und maximaler Sauerstoffaufnahme. Darüber hinaus zeigten

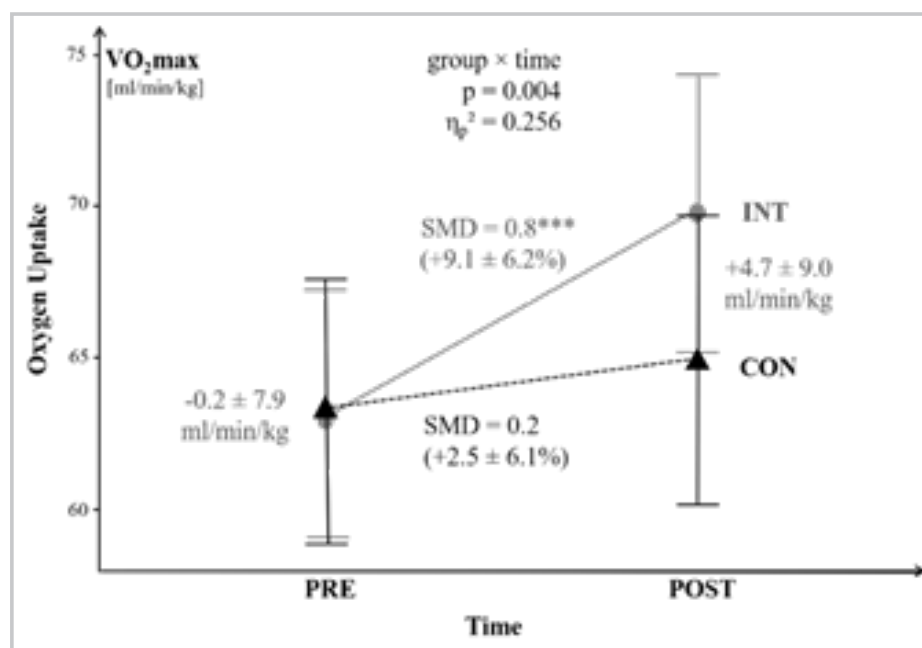


Abb. 1: Änderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2max}$ ) von INT und CON (Mittelwert  $\pm$  SD) sowie die mittlere Differenz zwischen den Gruppen ( $\pm$  SD); \*\*\*  $p < 0,001$

Die Krafttests (SQ1RM) ergaben weder Zeit ( $p = 0,527$ ,  $\eta^2 = 0,014$ ) noch Zeit  $\times$  Gruppen ( $p = 0,657$ ,  $\eta^2 = 0,007$ ) Effekte. Dementsprechend waren die SQ1RM-Zunahmen von INT ( $106,2 \pm 20,0$  kg auf  $111,9 \pm 20,9$  kg,  $+5,0 \pm 5,1$  %) und CON ( $99,1 \pm 25,1$  kg auf  $103,7 \pm 25,4$  kg,  $+4,0 \pm 5,8$  %) nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) und durch kleine Effektgrößen ( $SMD = 0,279$  bzw.  $0,185$ ) gekennzeichnet.

INT und CON vor und während der Intervention ähnliche Trainingscharakteristika. Unsere wichtigste Erkenntnis ist, dass 5 Wochen BFR-Training mit einem kumulativen Gesamtreiz von ca. 5 Stunden zu großen und beachtlichen Steigerungen der maximalen Sauerstoffaufnahme (im Vergleich zur Kontrollgruppe) führten, während sich die Kraftleistungen während des Kniebeuge-Tests nicht verbesserten.

Obwohl aktuelle Forschungsergebnisse die positiven Effekte des BFR-Trainings auf Kraft, Hypertrophie und Ausdauer bestätigen, können zugrundeliegende Mechanismen bisher nicht vollständig erklärt werden (Loenneke et al., 2011; Pope et al., 2013). Insgesamt wird vermutet, dass ein erhöhter metabolischer Stress auf zellulärer Ebene (Yasuda et al., 2012), verstärkte intramuskuläre Signale der Proteinsynthese (Fry et al., 2010) und die Proliferation von myogenen Stammzellen (Nielsen et al., 2012; Suga et al., 2012) durch BFR angeregt werden. Zudem werden muskuläre Anpassungen durch eine erhöhte Muskelfaserrekrutierung (Yasuda et al., 2009) gefördert. Darüber hinaus sollte betont werden, dass sich sowohl proximal als auch distal zur Okklusionsstelle gelegene Muskelstrukturen anpassen (Dankel et al., 2016; Yasuda et al., 2010, 2011). Aufbauend darauf können folgende Mechanismen für die  $\dot{V}O_2\text{max}$  Anpassungen der aktuellen BFR-Intervention angenommen werden: Durch die Erhöhung der Herzfrequenz, des systolischen und diastolischen Blutdrucks im Vergleich zur gleichen Übung ohne BFR-Bedingungen (Lixandrão et al., 2018) wird die zentrale kardiovaskuläre Reaktion während des BFR Trainings erhöht (Patterson et al., 2019). Allerdings scheint der *cardiac output* während des Trainings von einer BFR-Intervention nicht betroffen zu sein, da BFR-Gruppen eine proportional erhöhte Herzfrequenz und ein vermindertes Schlagvolumen im Vergleich zu Nicht-BFR-Gruppen zeigten (Lixandrão et al., 2018). Zudem deutet ein Anstieg der Phospholemmann-Isoformen (FXD1) und des *peroxisome proliferator-activated receptor- $\gamma$  co-activator 1 $\alpha$*  (PGC-1 $\alpha$  mRNA) während der BFR auf einen erhöhten oxidativen Stress und fasertypabhängige AMPK-Signalisierungen hin (Christiansen et al., 2018). Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass  $\dot{V}O_2\text{max}$ -Anpassungen durch einen Rückgang der Sauerstoffzufuhr und der Metabolitenfreisetzung während der BFR-Anwendung verursacht werden (Suga et al., 2009).

Zusammenfassend zeigte die aktuelle kontrolliert-randomisierte Interventionsstudie einen deutlichen Anstieg der  $\dot{V}O_2\text{max}$  in der BFR-Gruppe. Im Gegensatz dazu wurde die Kraft (SQ1RM) durch die BFR-Intervention nicht beeinflusst. Die vorliegenden Daten machen

deutlich, dass BFR eine geeignete Methode zur Steigerung der  $\dot{V}O_2\text{max}$  bei hoch trainierten Ausdauersportlern darstellt. Die  $\dot{V}O_2\text{max}$  gilt als wesentliche Determinante der Ruderleistung (Ingham et al., 2002). Dementsprechend bieten BFR-Methoden eine wertvolle Ergänzung zum traditionellen Rudertraining.

## 5 Literatur

- Abe, T., Fujita, S., Nakajima, T., Sakamaki, M., Ozaki, H., Ogasawara, R., Sugaya, M., Kudo, M., Kurano, M., Yasuda, T., Sato, Y., Ohshima, H., Mukai, C., & Ishii, N. (2010). Effects of Low-Intensity Cycle Training with Restricted Leg Blood Flow on Thigh Muscle Volume and  $VO_2\text{MAX}$  in Young Men. *Journal of sports science & medicine*, 9 (3), 452-458. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149640>
- Allison, R. C., & Lawrence Bedsole, D. (2003). The Other Medical Causes of Rhabdomyolysis. *The American journal of the medical sciences*, 326 (2), 79-88. <https://doi.org/10.1097/00000441-200308000-00005>
- Behringer, M., Behlau, D., Montag, J. C. K., McCourt, M. L., & Mester, J. (2017). Low-Intensity Sprint Training With Blood Flow Restriction Improves 100-m Dash. *Journal of strength and conditioning research*, 31 (9), 2462-2472. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001746>
- Christiansen, D., Murphy, R. M., Bangsbo, J., Stathis, C. G., & Bishop, D. J. (2018). Increased FXD1 and PGC-1 $\alpha$  mRNA after blood flow-restricted running is related to fibre type-specific AMPK signalling and oxidative stress in human muscle. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 223 (2), e13045. <https://doi.org/10.1111/apha.13045>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Earlbaum Associates.
- Dankel, S. J., Jessee, M. B., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2016). The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. *Sports medicine*, 46 (1), 23-33. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0407-7>



- Fry, C. S., Glynn, E. L., Drummond, M. J., Timmerman, K. L., Fujita, S., Abe, T., Dhanani, S., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2010). Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *Journal of applied physiology*, *108* (5), 1199-1209. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01266.2009>
- Harriss, D., & Atkinson, G. (2015). Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research: 2016 Update. *International journal of sports medicine*, *36* (14), 1121-1124. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1565186>
- Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, *51* (13), 1003-1011. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>
- Ingham, S., Whyte, G., Jones, K., & Nevill, A. (2002). Determinants of 2,000 m rowing ergometer performance in elite rowers. *European journal of applied physiology*, *88* (3), 243-246. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0699-9>
- Iversen, E., & Røstad, V. (2010). Low-load ischemic exercise-induced rhabdomyolysis. *Clinical journal of sport medicine : Official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, *20* (3), 218-219. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181df8d10>
- Kraemer, W. J., Fry, A. C., Maud, P., & Foster, C. (1995). *Strength Testing: Development and Evaluation of Methodology*. Human Kinetics.
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., Libardi, C. A., & Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *48* (2), 361-378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Wilson, G. J., Pujol, T. J., & Bembem, M. G. (2011). Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *21* (4), 510-518. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01290.x>
- Matsumoto, S. T. S. A., Suzuki, Y., Azuma, K., & Matsumoto, H. (2016). Rhabdomyolysis After Performing Blood Flow Restriction Training: A Case Report. *Journal of strength and conditioning research*, *30* (7), 2064-2068. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001295>
- Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., Meguro, K., Sato, Y., Nagata, T., & KAATSU Training Group, K. T. (2006). Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *International journal of KAATSU training research*, *2* (1), 5-13. <https://doi.org/10.3806/ijktr.2.5>
- Nielsen, J. L., Aagaard, P., Bech, R. D., Nygaard, T., Hvid, L. G., Wernbom, M., Suetta, C., & Frandsen, U. (2012). Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *The Journal of physiology*, *590* (17), 4351-4361. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.237008>
- Park, S., Kim, J. K., Choi, H. M., Kim, H. G., Beekley, M. D., & Nho, H. (2010). Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *European journal of applied physiology*, *109* (4), 591-600. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1377-y>
- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood flow restriction exercise position stand: Considerations of methodology, application, and safety. In *Frontiers in Physiology* (Vol. 10, Issue MAY, p. 533). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>



- Pope, Z. K., Willardson, J. M., & Schoenfeld, B. J. (2013). Exercise and Blood Flow Restriction. *Journal of strength and conditioning research*, 27 (10), 2914-2926. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182874721>
- Roth, W., Hasart, E., Wolf, W., & Pansold, P. (1983). *Untersuchung zur Dynamik der Energiebereitstellung während maximaler Mittelzeitausdauerbelastung*. Med Sport.
- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2016). Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *Journal of science and medicine in sport*, 19 (5), 360-367. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.04.014>
- Scott, N., McPherson, G., Ramsay, C., & Campbell, M. (2002). The method of minimization for allocation to clinical trials. a review. *Controlled clinical trials*, 23 (6), 662-674. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12505244>
- 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. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20861519>
- Suga, T., Okita, K., Morita, N., Yokota, T., Hirabayashi, K., Horiuchi, M., Takada, S., Takahashi, T., Omokawa, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2009). Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Journal of applied physiology*, 106 (4), 1119-1124. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90368.2008>
- Suga, T., Okita, K., Takada, S., Omokawa, M., Kadoguchi, T., Yokota, T., Hirabayashi, K., Takahashi, M., Morita, N., Horiuchi, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2012). Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *European journal of applied physiology*, 112 (11), 3915-3920. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2377-x>
- 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. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0716>
- Yasuda, T., Brechue, W. F., Fujita, T., Shirakawa, J., Sato, Y., & Abe, T. (2009). Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *Journal of sports sciences*, 27 (5), 479-489. <https://doi.org/10.1080/02640410802626567>
- Yasuda, T., Fujita, S., Ogasawara, R., Sato, Y., & Abe, T. (2010). Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clinical physiology and functional imaging*, 30 (5), no-no. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2010.00949.x>
- Yasuda, T., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., & Abe, T. (2012). Effects of Blood Flow Restricted Low-Intensity Concentric or Eccentric Training on Muscle Size and Strength. *PLoS ONE*, 7 (12), e52843. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052843>
- Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Ozaki, H., Sato, Y., & Abe, T. (2011). Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *European Journal of Applied Physiology*, 111 (10), 2525-2533. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1873-8>

# Untersuchung des hydrodynamischen Lifts im Para-Rudern

(AZ 072031/18-19)

Steffen Held & Lars Donath (Projektleitung)

Deutsche Sporthochschule Köln, Abteilung für trainingswissenschaftliche Interventionsforschung

## 1 Einleitung

Gemäß der Klassifikationsregeln des Weltruderverbandes werden drei Para-Rudern Kategorien unterschieden: *Legs, trunk and arms* (LTA), *trunk and arms* (TA) und *arms and shoulders* (AS). Die LTA Kategorie entspricht dem *able-bodied* Rudern (inklusive Rollsitze) ohne Bewegungseinschränkungen. Der Vortrieb der AS Kategorie (z.B. *PR1 single sculls*) wird ausschließlich durch AS Bewegungen erzeugt (FISA, 2017). Aufgrund dieser Einschränkung ist die Schlaglänge beim TA und AS Rudern im Vergleich zum konventionellen LTA Rudern deutlich kürzer (Cutler et al., 2017). Allerdings ist ein langer Ruderschlag für die Ruderleistung elementar (Baudouin & Hawkins, 2004b; Kleshnev, 2016). Große Rudewinkel in der vorderen Umkehrbewegung des Ruderns (Auslage) erhöhen den Vortrieb durch eine verstärkte Nutzung des hydrodynamischen Lifts (Baudouin & Hawkins, 2004a).

Durch Verschieben der Rotationsachse der Ruder (im Verhältnis zum Boot) kann der Rudewinkel verändert werden (Dudhia, 2007; Kleshnev, 2016). In diesem Zusammenhang erzeugt eine Verschiebung der Rotationsachse nach innen (zur Mitte des Bootes hin) einen vergrößerten Auslagewinkel (Kleshnev, 2016). Dementsprechend kann die folgende Hypothese formuliert werden: Die Verlagerung des Ruders von vor der Rotationsachse (NORM) nach hinter die Rotationsachse (GATE) sollte zu größeren Auslagewinkeln führen.

Vor diesem Hintergrund zielte die vorliegende Studie darauf ab, diese Hypothese zu verifizieren. Biomechanische Messungen im Ruderbecken (Trompeter et al., 2019) untersuchten, ob

GATE zu größeren Auslagewinkeln als NORM führt. Zusätzlich wurde untersucht, ob GATE zu höheren Bootsgeschwindigkeiten während des Ruderns im *PR1 single sculls* führt.

## 2 Methoden

### 2.1 Probanden

Fünfzehn erfahrene männliche *abled-bodied* Ruderer ( $21,4 \pm 3,6$  Jahre;  $187 \pm 8$  cm;  $85,4 \pm 8,2$  kg) wurden im Ruderbecken gemessen. Zusätzlich wurde ein paralympischer Elite-Ruderer (37 Jahre, 185 cm, 67 kg; 8 Jahre olympische Rudererfahrung) in einem wiederholten Messdesign im Feld (Boot) getestet. Aufgrund einer Rückenmarkverletzung wurde dieser Athlet der AS Kategorie zugeordnet. Das Studienprotokoll entsprach den ethischen Standards gemäß Harriss und Atkinson (2015) und wurde von der lokalen Ethikkommission (172/2018) genehmigt.

### 2.2 Studiendesign

Die Messungen im Ruderbecken wurden in einem randomisierten Crossover-Design durchgeführt. Zwei 2-minütige *time trials* mit einer Standard-Dolle (NORM; *Concept 2*, Morrisville, USA) und einem modifizierten Dolle (GATE; *Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten* [FES], Berlin, Deutschland) wurden in randomisierter Reihenfolge absolviert. Die letzte Minute jedes zweiminütigen *time trials* wurde zur weiteren Analyse verwendet. Um die Ruderbewegung der Para-Athleten (ohne Beinbewegung) zu simulieren, wurden die Beine mit Gurten fixiert.

Die Feldmessungen wurden in einem sechsfach-wiederholtem randomisierten Cross-over-Design absolviert. Zwischen diesen sechs Testtagen wurde jeweils eine Woche mit GATE oder NORM (5 Trainingseinheiten, je 90 min, <2mmol/L Blutlaktatkonzentration) trainiert. An jedem Testtag wurden vier 2-minütige *time trials* in randomisierter Reihenfolge durchgeführt, zwei mit GATE und zwei mit NORM. Insgesamt wurden diese Feldmessungen im eigenen (angepassten) *PR1 single scull* Paraboat des Probanden durchgeführt.

### 2.3 Datenerfassung

Ein biomechanisches Messsystem (*BioRowTel*, Berkshire, GB) wurde für die Datenerfassung (12 Bit, 25 Hz Abtastfrequenz) während des Ruderns im Ruderbecken und im Boot verwendet. Basierend auf diesen Messdaten wurden die Schlaglänge (*angle*,  $\pm 0.1$  %), der Auslagewinkel (*catch angle*,  $\pm 0.1$  %), die Schlagfrequenz (*rate*,  $\pm 0.1$  %), die Ruderleistung ( $P_{\text{row}}$ ,  $\pm 0.5$  %) und die Arbeit pro Schlag (work-per-stroke, WPS,  $\pm 0.5$  %) bestimmt (Held et al., 2019; Kleshnev, 2016). Um den Verlauf der Kraft-Weg-Kurve zu quantifizieren, wurden die Position der Kraftspitze ( $\text{Peak}_{\text{Position}} \pm 0.1$  %) und das Verhältnis zwischen durchschnittlicher und maximaler Kraft ( $\text{Peak}_{\text{Position}}$ ) bestimmt (Kleshnev, 2016). Zusätzlich wurde die durchschnittliche Bootsgeschwindigkeit ( $v_{\text{boat}}$ ) mit einem 10 Hz-GPS erfasst (*BioRowTel*, Berkshire, GB, Genauigkeit  $\pm 0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Die Daten zur Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) wurden mit einem spirometrischen System (*Metamax 3b*, *Cortex Biophysics*, Leipzig, Deutschland) während des Ruderns im Feld erhoben. In Bezug auf die Leistungsökonomie wurden die Ruderleistung pro Sauerstoffaufnahme ( $P_{\text{VO}_2}$ ) und die Bootsgeschwindigkeit pro Sauerstoffaufnahme ( $v_{\text{VO}_2}$ ) bestimmt.

### 2.4 Statistik

Die Daten wurden als Mittelwert  $\pm$  SD dargestellt. Nach der Überprüfung der Normalverteilung und Varianzhomogenität wurde eine Varianzanalyse mit wiederholten Messungen (rANOVA) durchgeführt, um Modus-Unterschiede (GATE

vs. NORM) für die jeweiligen Zielparameter bei den Messungen im Ruderbecken zu untersuchen. Darüber hinaus wurden 2 (Modus)  $\times$  6 (Zeit) rANOVA für jedes Zielparameter der Feldmessungen im Boot berechnet. Die Effektgrößen für rANOVA wurden als partielles *eta*-Quadrat ( $\eta_p^2$ ) angegeben, wobei die Werte  $\geq 0.01$ ,  $\geq 0.06$ ,  $\geq 0.14$  jeweils kleine, mittlere und große Effekte anzeigten (Cohen, 1988). Im Falle von signifikanten Modus  $\times$  Zeit-Interaktionen wurden nachträglich *Bonferroni*-Post-hoc-Tests berechnet. Zum paarweisen Effektgrößenvergleich wurden die standardisierten Mittelwertdifferenzen (SMD) als Differenzen zwischen den Gruppen dividiert durch die gepoolten Standardabweichungen beider Gruppen berechnet (trivial:  $\text{SMD} < 0.2$ , klein:  $0.2 \leq \text{SMD} < 0.5$ , mäßig:  $0.5 \leq \text{SMD} < 0.8$ , große  $\text{SMD} \geq 0.8$ ) (Cohen, 1988). Statistische Analysen wurden mit Hilfe eines Statistiksoftwarepakets (*IBM SPSS Statistics*, Version 25.0, Armonk, NY, Vereinigte Staaten) durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgelegt.

## 3 Ergebnisse

Die rANOVA zeigte keine statistisch signifikanten Effekte (Tab. 1) für die *rate*,  $\text{Peak}_{\text{Position}}$  und  $\text{Ratio}_{\text{mean-max}}$  (zwischen NORM und GATE) bei den Messungen im Ruderbecken. Im Gegensatz dazu zeigten  $P_{\text{row}}$ , WPS, *angle* und *catch angle* statistisch signifikante Effekte bei den Messungen im Ruderbecken (Tab. 1). Post-hoc-Tests ergaben statistisch signifikant ( $p < 0.010$ ) höhere Werte von  $P_{\text{row}}$  ( $+55.8 \pm 57.3$  %), WPS ( $+59.7 \pm 67.2$  %), *angle* ( $+19.9 \pm 23.9$ ; Abb. 1A) und *catch angle* ( $+97.1 \pm 120.4$  %; Abb. 1B) für GATE im Vergleich zu NORM.

Während der Feldmessungen (Tab. 1) zeigte die rANOVA keine statistisch signifikanten Mode  $\times$  Zeit Interaktionen für alle Output-Parameter (*rate*,  $v_{\text{boat}}$ ,  $P_{\text{row}}$ , WPS, *angle* [Abb. 1A],  $\text{Peak}_{\text{Position}}$ ,  $\text{Ratio}_{\text{mean-max}}$ ,  $P_{\text{VO}_2}$  und  $V_{\text{VO}_2}$ ) außer dem *catch angle*. Post-hoc-Tests zeigten einen statistisch signifikant ( $p < 0.021$ ) größeren *catch angle* ( $+11.9 \pm 3.2$  %) für GATE im Vergleich zu NORM bei allen Messungen im Boot (Abb. 1A).

Tab. 1: Output Parameter der Messungen im Ruderbecken und -boot

	Ruder-Becken					Feldmessungen im Boot				
	NORM	GATE	$p$	$\eta_p^2$	SMD	NORM	GATE	$p$	$\eta_p^2$	SMD
rate [spm]	34,3 ± 2,8	34,2 ± 3,4	0,980	0,000	-0,032	33,9 ± 1,0	33,3 ± 1,1	0,955	0,091	-0,571
$v_{boat}$ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	---	---	---	---	---	3,23 ± 0,21	3,17 ± 0,17	0,997	0,028	-0,314
$P_{row}$ [W]	101 ± 44	146 ± 60	0,006	0,423	0,855	303 ± 13	296 ± 11	0,999	0,017	-0,581
WPS [J]	177 ± 82	261 ± 121	0,010	0,388	0,813	537 ± 21	534 ± 21	0,990	0,047	-0,143
Angle [°]	44,8 ± 9,4	52,4 ± 14,1	0,010	0,391	0,634	94,3 ± 1,7	94,5 ± 1,8	0,066	0,599	0,114
Catch angle [°]	<b>9,4 ± 7,3</b>	<b>18,0 ± 12,5</b>	<b>0,001</b>	<b>0,547</b>	<b>0,840</b>	<b>55,2 ± 1,9</b>	<b>61,8 ± 2,9</b>	<b>0,001</b>	<b>0,810</b>	<b>2,692</b>
Peak <sub>Position</sub> [%]	39,5 ± 5,6	40,1 ± 7,2	0,730	0,009	0,093	24,9 ± 1,9	23,9 ± 0,9	0,063	0,603	-0,673
Ratio <sub>mean-max</sub> [%]	48,2 ± 5,0	48,1 ± 4,9	0,914	0,001	-0,020	51,3 ± 1,8	52,2 ± 1,9	0,134	0,525	0,486
$P_{VO_2}$ [ $W \cdot min \cdot L^{-1}$ ]	---	---	---	---	---	117 ± 9	116 ± 9	0,614	0,269	-0,111
$v_{VO_2}$ [ $m \cdot s^{-1} \cdot min \cdot L^{-1}$ ]	---	---	---	---	---	1,26 ± 0,14	1,24 ± 0,12	0,786	0,192	-0,160

**Rate:** Schlagfrequenz;  $v_{boat}$ : Bootsgeschwindigkeit;  $P_{row}$ : Ruderleistung; WPS: Arbeit pro Schlag; **Angle:** Schlaglänge; **Catch angle:** Auslagewinkel; Peak<sub>Position</sub>: Position der Kraftspitze; Ratio<sub>mean-max</sub>: Verhältnis zwischen maximaler und durchschnittlicher Kraft;  $P_{VO_2}$ : Ruderleistung pro Sauerstoffaufnahme;  $v_{VO_2}$ : Bootsgeschwindigkeit pro Sauerstoffaufnahme). Zusätzlich sind die jeweiligen Signifikanzen ( $p$ ) und Effektgrößen ( $\eta_p^2$ ) der rANOVA (Modus bzw. Modus  $\times$  Zeit Interaktionen) für beide Ruderbedingungen dargestellt.

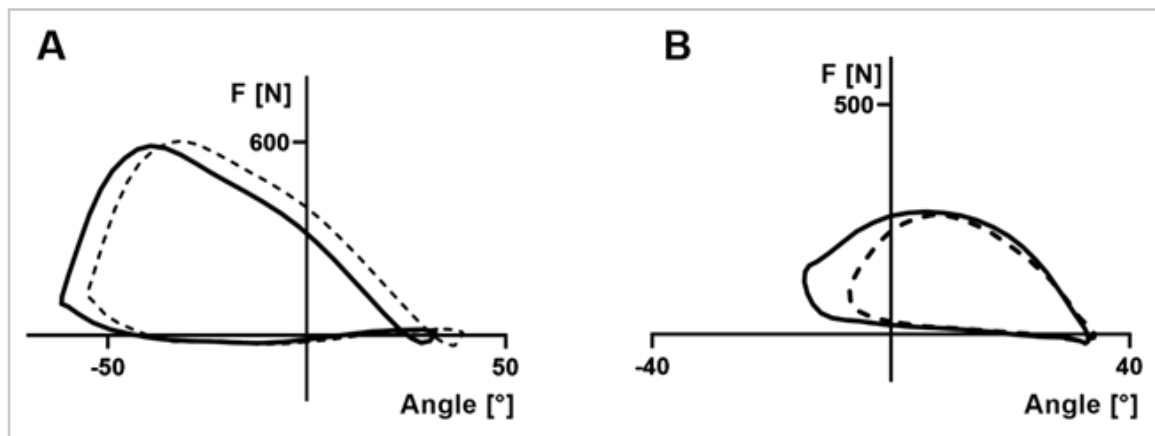


Abb. 1: Darstellung der durchschnittlichen Kraft ( $F$ ) als Funktion des Ruderwinkels (angle) bei Messungen im Boot (A) und im Ruderbecken (B). GATE wird in durchgezogenen Linien und NORM in gestrichelten Linien dargestellt.

## 4 Diskussion

Unsere zentralen Ergebnisse zeigten, dass die Verlagerung des Ruders von vor der Rotationsachse (NORM) nach hinter die Rotationsachse (GATE) zu signifikant größeren Auslagewinkeln im Ruderbecken und im PR1 single scull führte. Während die Schlaglänge, die Ruderleistung und die Arbeit pro Schlag bei GATE im Ruderbecken zunahm, wurden keine signifikanten Veränderungen dieser Leistungsparameter zwischen GATE und NORM im Boot beobachtet. Auch die ökonomiebezogenen Parameter (Leistung oder Geschwindigkeit pro Sauerstoffaufnahme) und die Bootsgeschwindigkeit zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen GATE und NORM

beim Rudern im Feld. Davon abgesehen hat GATE sowohl im Ruderbecken als auch im Boot keinen Einfluss auf die Form der Kraft-Winkel-Kurve (Position der Kraftspitze und Verhältnis zwischen durchschnittlicher und maximaler Kraft).

Insbesondere für das Mannschaftsrudern wird in der Trainerliteratur (O'Brien, 2011) und der wissenschaftlichen Forschung (Baudouin & Hawkins, 2004a; Cuijpers et al., 2017; Wing & Woodburn, 1995) eine perfekte Synchronität aller Bewegungen im Boot angestrebt. Eine verbesserte Synchronität im Mannschaftsboot kann durch die Anpassung der Ruderwinkel (Schlaglänge und Auslagewinkel) der einzelnen Ruderer erreicht werden.



Dementsprechend ermöglichen unsere Ergebnisse, die Synchronität im Mannschaftsboot zu erhöhen, indem die Auslagewinkel anhand von GATE oder NORM für verschiedene Athleten aufeinander abgestimmt werden. Bereits bei der Ruderweltmeisterschaft 2019 wurde die Kombination von GATE und NORM zu diesem Zweck in einem (Para-) Mannschaftsboot eingesetzt.

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass die Verlagerung des Ruders von vor der Rotationsachse (NORM) nach hinter die Rotationsachse (GATE) den gesamten Ruderschlag in Richtung Auslage verlagert, ohne andere Parameter wie Schlaglänge, Ruderleistung, Arbeit pro Schlag, Ökonomie (Leistung oder Bootsgeschwindigkeit pro Sauerstoffaufnahme) und Form der Kraft-Winkel-Kurve zu beeinflussen. Da die Synchronität im Mannschaftsboot durch Abstimmung der Ruderwinkel der einzelnen Mannschaftsmitglieder verbessert werden kann, erscheint die Kombination von GATE und NORM in Mannschaftsbooten sinnvoll, um die Synchronisierung zu verbessern, welche für einen optimalen Vortrieb wesentlich ist.

## 5 Literatur

- Baudouin, A., & Hawkins, D. (2004a). Investigation of biomechanical factors affecting rowing performance. *Journal of Biomechanics*, 37(7), 969-976. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.11.011>
- Baudouin, A., & Hawkins, D. (2004b). Investigation of biomechanical factors affecting rowing performance. *Journal of Biomechanics*, 37(7), 969-976. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.11.011>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Earlbaum Associates.
- Cuijpers, L. S., Passos, P. J. M., Murgia, A., Hoogerheide, A., Lemmink, K. A. P. M., & de Poel, H. J. (2017). Rocking the boat: does perfect rowing crew synchronization reduce detrimental boat movements? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(12), 1697-1704. <https://doi.org/10.1111/sms.12800>
- Cutler, B., Eger, T., Merritt, T., & Godwin, A. (2017). Comparing para-rowing set-ups on an ergometer using kinematic movement patterns of able-bodied rowers. *Journal of Sports Sciences*, 35(8), 777-783. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1189587>
- Dudhia, A. (2007). *Basic Physics of Rowing*. Oxford University Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics. <http://eodg.atm.ox.ac.uk/user/dudhia/rowing/%0Aphysics/weight.html>
- FISA. (2017). *Para-Rowing Classifiers Instruction Manual*. [http://www.worldrowing.com/mm//Document/General/General/12/79/48/2017Para-rowingclassifiersmanual\\_%0AEnglish\\_Neutral.pdf](http://www.worldrowing.com/mm//Document/General/General/12/79/48/2017Para-rowingclassifiersmanual_%0AEnglish_Neutral.pdf)
- Harriss, D., & Atkinson, G. (2015). Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research: 2016 Update. *International Journal of Sports Medicine*, 36(14), 1121-1124. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1565186>
- Held, S., Siebert, T., & Donath, L. (2019). Changes in mechanical power output in rowing by varying stroke rate and gearing. *European Journal of Sport Science*, 1-9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1628308>
- Kleshnev, V. (2016). *The Biomechanics of Rowing*. Crowood Press.
- O'Brien, C. (2011). Effortless rowing. In N. Volker (Ed.), *Rowing faster* (pp. 173-182). Human Kinetics.
- Trompeter, K., Weerts, J., Fett, D., Firouzabadi, A., Heinrich, K., Schmidt, H., Brüggemann, G.-P., & Platen, P. (2019). Spinal and Pelvic Kinematics During Prolonged Rowing on an Ergometer vs. Indoor Tank Rowing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003187>
- Wing, A. M., & Woodburn, C. (1995). The coordination and consistency of rowers in a racing eight. *Journal of Sports Sciences*, 13(3), 187-197. <https://doi.org/10.1080/02640419508732227>



# Sport mit Perspektive!

## Entwicklung, Erprobung und Evaluierung von Zukunftswerkstätten im Nachwuchsleistungssport mit dem Deutschen Segler-Verband

(AZ 072033/18-19)

Nadine Thomas<sup>1</sup>, Ole Benthien<sup>2</sup> & Ralf Brand<sup>3</sup> (Projektleitung)

<sup>1</sup>Beratungsbüro Thomas, Landau

<sup>2</sup>Zentrum für praktische Sportpsychologie, UP Transfer GmbH Potsdam

<sup>3</sup>Professur für Sportpsychologie, Universität Potsdam

### 1 Problemstellung

Die Perspektive „Spitzensport“ ist für junge Talente eine große Chance, ihrer Begabung nachzugehen und ihre Leidenschaft auf höchstem Niveau auszuüben. Das Einschlagen und Verfolgen einer leistungssportlichen Karriere in Deutschland, geht jedoch mit einem gewissen Maß an Risiken und Unwägbarkeiten einher. Denn in der Lebensphase, in der von den Athletinnen und Athleten sportliche Höchstleistung erwartet wird, widmen sich Gleichaltrige ihrer schulischen und beruflichen Laufbahn. Entsprechend kann der Spitzensport im ungünstigsten Falle einen restriktiven Zugang zu nachsportlicher Bildung und Arbeit, eine fehlende finanzielle Grund- und Alterssicherung bedeuten.

Die potentiellen Risiken der leistungssportlichen Karriere scheinen Folgen zu haben: Laut der Europäischen Union (EU, 2013) ziehen sich „jedes Jahr ein Drittel der Betroffenen im Alter von 10 bis 17 Jahren aus dem Sport zurück, da sie der Ansicht sind, dass der Sport sie zu sehr in Anspruch nimmt und davon abhält, andere Inhalte im Leben zu verfolgen (z. B. Lernziele)“. Die Zahlen auf nationaler Ebene sehen nicht besser aus: Hauptursachen für das Karriereende scheinen nicht etwa Verletzungen oder das Alter zu sein, sondern 37 % Prozent befragter Athletinnen und Athleten in einer Studie von Breuer, Hallmann und Ilgner (2015) beendeten ihre sportliche Laufbahn aufgrund des Studiums oder der beruflichen Karriere.

Mit Blick auf das jahrelange Investment ist dieser Dropout von Nachwuchs- und Spitzensportlerinnen bzw. -sportler substanziell und für viele Spitzensportverbände von Brisanz.

Im Sinne der Zukunftssicherung erhält die Duale Karriere im deutschen Leistungssportssystem entsprechend große Bedeutung. Viele Leistungssportlerinnen und -sportler praktizieren sie bereits erfolgreich (vgl. Breuer et al., 2015). Doch trotz vieler Positivbeispiele und vielversprechender Forschungsbefunde rund um die Duale Karriere (z. B. Aquilina, 2013; Beckmann et al., 2006; Hackfort & Birkner, 2004), scheint sie für Nachwuchstalente eher unattraktiv.

Ein möglicher Grund können fehlende Informationswege sein, die es den Nachwuchstalente und Eltern erschweren, sich ein zutreffendes Bild über die Risiken und auch die Chancen einer dualen Karriere zu machen. Denn wenn es nicht organisiert wird, fehlt der Informationsaustausch innerhalb des Spitzenverbands, insbesondere der von „peer-to-peer“. Das heißt, der Nachwuchs kommt zu wenig mit denen ins Gespräch, die die duale Karriere schon für sich versucht haben.

Im schlimmsten Fall, wenn die Karriereberatung z. B. am Olympiastützpunkt nicht durchdringt, bleibt der Nachwuchs auf Informationen aus den Medien angewiesen. Dabei ist es wahrscheinlich, dass vor allem Informationen zu gescheiterten dualen Karrieren und den Risiken durch die Medien leichter verfügbar sind (Negativ-Bias der Medienberichterstattung; siehe z. B. Peter & Brosius, 2013).

Zudem lässt sich erwarten, dass die negativen Informationen eine größere Wirkung bei den Sportlerinnen und Sportlern hinterlassen. Denn aus der Medienwirkungsforschung wissen wir, dass Menschen bei ihrer Urteilsbildung häufig positive und negative Informationen nicht gleich stark gewichten, sondern negative Informationen deutlich stärker in die Urteilsbildung einbeziehen relativ zu derselben Menge positiver Informationen (Positiv-Negativ-Asymmetrie; siehe z. B. Peter & Brosius, 2013).

Werden der Nachwuchs und die Eltern in der kritischen Entscheidungsphase mit offenen Fragen mit Blick auf die Zukunft von den Spitzensportverbänden alleine gelassen, sind es somit möglicherweise fehlende oder gar falsche oder falschgewichtete Informationen, die dazu führen, dass der leistungssportliche Weg nicht als Alternative zum klassischen Bildungsweg wahrgenommen wird.

Die Europäische Union (2013) formulierte – mit Blick auf die Dropout-Problematik – bereits vor einigen Jahren in ihren „EU-Leitlinien zu dualen Laufbahnen von Sportlerinnen und Sportlern“:

*„Die Sportbehörden sollten in Zusammenarbeit mit den Sportorganisationen Maßnahmen koordinieren, um Trainer, Sportler und Sportlerinnen sowie ihr Umfeld für die Bedeutung dualer Laufbahnen zu sensibilisieren ... oder die Strukturen des sozialen Dialogs zu unterstützen.“*

(Auszug aus der Leitlinie 33, EU, 2013, S. 44)

## 2 Zielstellung

Ziel des Service-Forschungsprojektes war die Entwicklung, Implementierung und wissenschaftliche Begleitung eines Nachwuchsförderprogramms zur verbandsinternen, frühzeitigen Auseinandersetzung mit der „Zukunftsperspektive Spitzensport“ und dem Thema „Duale Karriere“.

Das Programm sollte konstruiert werden, um Nachwuchssportlerinnen bzw. -sportler in der „kritischen Phase sportlicher Laufbahnen“ (Ende der Schulzeit, Beginn der Ausbildung/Studium) für die Karriere im Leistungssport zu sensibili-

sieren und ihnen mit der Dualen Karriere eine zukunftsweisende Perspektive zu präsentieren. Es sollte speziell im Nachwuchsbereich ansetzen, einer Karrierephase, in der bisherige Initiativen zur Dualen Karriere z. B. des DOSB nicht greifen.

Das Nachwuchsförderprogramm wurde in Kooperation mit dem Deutschen Segler-Verband (DSV) konzipiert und an den Bundesstützpunkten in Berlin und Friedrichshafen erprobt und durchgeführt. Zum einen sollte so im DSV ein besserer Informationsfluss und intensiverer Austausch zentraler Akteure entstehen. Zum anderen werden langfristig ein geringerer Dropout der Nachwuchstalente und eine höhere Offenheit gegenüber der leistungssportlichen und dualen Karriere erwartet.

## 3 Projektverlauf

Gemeinsam mit dem Deutschen Segler-Verband (DSV) wurde eine Veranstaltungsreihe, „Sport mit Perspektive“, erarbeitet. Diese nahm den Informationsaustausch und Wissenstransfer über unterschiedlichste Akteure (ehemalige Athletinnen und Athleten, Aktive, Eltern, Trainerinnen und Trainer, Laufbahnberater und -beraterinnen) hinweg in den Fokus.

### 3.1 Co-kreative Konzeption der Veranstaltungsreihe

Die Startphase des Projekts diente der interdisziplinären Konstruktion der Veranstaltungsreihe. Hierzu fanden im DSV co-kreative Workshops (vgl. Payne, Storbacka & Frow, 2008) statt. Um bei den Veranstaltungen unterschiedliche Erfahrungen und Perspektiven einfließen zu lassen und sichtbar machen zu können, wurde das eigene Projektteam ergänzt durch: die Referentin für Leistungssport im DSV, den Leiter des Bundesstützpunktes, an dem der Olympiakader trainiert, der für den Olympiakader zuständigen Laufbahnberaterin des DOSB sowie zwei Bundesstützpunkt-Trainer.

Das Ergebnis der Workshops war das Konzept zweier aufeinander aufbauenden Veranstaltungen. Die erste der beiden Veranstaltungen, der „Tag des Leistungssports“, wurde vorwiegend als Informationsveranstaltung rund um die Themen „Zukunft im Spitzensport“ und „Duale

Karriere“ konzipiert. Die zweite Veranstaltung, die „Zukunftswerkstatt“, galt der nachhaltigen, vertiefenden und individuellen Auseinandersetzung mit den relevanten Themeninhalten. Dies geschah in einem Workshop, der die aktive Mitarbeit der Teilnehmenden forderte.

### 3.2 Durchführung und Implementierung der Veranstaltungsreihe

Die Durchführung und Erprobung der Veranstaltungsreihe erfolgte über den Frühling und Sommer 2019 an jeweils den beiden ausgewählten Bundesstützpunkten des kooperierenden Spitzenverbands. Hierbei erhielten die Nachwuchstalente und interessierte Eltern Einblick in Spitzensport- und duale Karrieren im DSV.

Zum Einsatz kamen Methoden der Personalentwicklung sowie sportpsychologische Beratungsstrategien. In Form von Impulsvorträgen, Diskussionsrunden, Gruppenarbeit sowie der Möglichkeit zu persönlichen Gesprächen gelang es, Räume zu schaffen für Praxiseinblicke, Fragen, Reflektion, Diskussion und Austausch. Gemeinsam sammelten und prüften der Teilnehmerkreis zahlreiche Argumente für und gegen eine leistungssportliche Karriere, schaute aus ganz unterschiedlichen Perspektiven auf beide Themen, erhielt wichtige Informationen und entwickelte Ideen für die Zukunft.

Auf Seiten der Referentinnen bzw. Referenten sowie der Expertinnen und Experten hatte sich eine Vielseitigkeit aus unterschiedlichen Perspektiven und Akteuren als erfolgreich erwiesen. Es kamen Bundestrainerinnen und -trainer, aktive Kaderathletinnen und -athleten, ehemalige Duale-Karriere-Spitzensportlerinnen und -sportler sowie Laufbahnberaterinnen und -berater zu Wort.

An den einzelnen Veranstaltungen teilgenommen haben Nachwuchsathletinnen und -athleten, Eltern sowie Nachwuchstrainerinnen und -trainer. Die Anzahl der Teilnehmenden war von Veranstaltung zu Veranstaltung unterschiedlich, sie reichte von 30 bis zu 70 Personen. Ein Teil beteiligte sich, wie gewünscht, an beiden Veranstaltungen.

### 3.3 Projektevaluation

Im Anschluss an die Veranstaltungsreihe wurden im Rahmen der Projektevaluation Informationen zu den einzelnen Veranstaltungen aus Perspektive der teilnehmenden Nachwuchsleistungssportlerinnen bzw. -sportlern, Eltern und Trainerinnen und Trainern erfasst. Sie zeigen, dass ein informatives, ansprechendes und interessantes Programm gelungen ist, das bei den meisten der Teilnehmenden gut bis sehr gut ankam. Inwieweit sich die Maßnahmen perspektivisch auf die Dropout-Quote und die Offenheit gegenüber der dualen Karriere auswirken, wird nun in der Folge geprüft. Gesichert erscheint, dass den Sportlerinnen bzw. Sportlern und Eltern im DSV auf eine bisher nicht dagewesene Weise ermöglicht wurde, zahlreiche Informationen einzufangen, die dabei unterstützen können, individuelle und reflektierte Zukunftsentscheidungen mit Blick auf die eigene Laufbahn zu treffen.

## 4 Transfermaßnahmen

Am Projektende standen zwei abschließende Maßnahmen, um die Nachhaltigkeit des Programms und den Transfer sicherzustellen. Sie sollen ermöglichen, dass das Programm nun in der Folge eigenständig durch den involvierten Spitzenverband und in potentiell weiteren Spitzenverbänden umgesetzt werden kann.

### 4.1 Leitfaden

Die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Projekt mündeten in einem Leitfaden. Hierzu wurden die wichtigsten organisatorischen und strukturellen Aspekte zusammengetragen. Alles was sich als erfolgsversprechend erwiesen hat und für andere potentielle ausrichtenden Spitzensportverbände hilfreich sein könnte, wurde systematisch und checklistenartig zusammengefasst. Die einzelnen organisatorischen Schritte können zukünftig der praktischen Orientierung der Spitzensportverbände bei eigener Durchführung dienen. Der Leitfaden wurde vor Kurzem durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft veröffentlicht ([https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Publikationssuche\\_Sonderpublikationen/LeitfadenSportmitPerspektive.pdf?blob=publicationFile&v=5](https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Publikationssuche_Sonderpublikationen/LeitfadenSportmitPerspektive.pdf?blob=publicationFile&v=5)).

## 4.2 Projektvideo

Zudem wurden Erfahrungsberichte und Einschätzungen zur dualen Karriere aus Sicht einiger der Referentinnen und Referenten (aktive Leistungssportlerin, ehemaliger Leistungssportler, Nachwuchstrainer, Laufbahnberaterin) in einem Video eingefangen. Zusätzlich wurde ein Fazit zum Projekt durch einen der Teilnehmer (Nachwuchsleistungssportler) und der Sportdirektorin des Deutschen Segler-Verbands videographisch festgehalten. Diese O-Töne aus dem Projekt „Sport mit Perspektive“ können auf dem Youtube-Kanal des Bundesinstituts für Sportwissenschaft angeschaut werden.

## 5 Fazit und Ausblick

Aus psychologischer Perspektive mit Blick auf den DSV lässt sich resümieren, dass die Entwicklung einer Kommunikationsstruktur gelungen ist, die dem Nachwuchs und den Eltern eine persönliche Orientierung mit Blick auf eine leistungssportliche Zukunft geben kann. Dabei wurde deutlich, dass die intensive Kommunikation zentraler Akteure des DSV mit den jungen Seglerinnen bzw. Seglern und den Eltern sehr wichtig ist. Die jungen Talente müssen frühzeitig mit relevanten Einblicken und umfassenden Informationen zur leistungssportlichen und Dualen Karriere im DSV versorgt werden – denn ohne diese Informationen ist eine bewusste Entscheidung für oder gegen diese Karriere nicht möglich. Der DSV hat die Veranstaltungsreihen als so erfolgreich empfunden, dass er sie zukünftig gerne vorführen möchte.

## 6 Literatur

- Aquilina, D. (2013). A Study of the Relationship between Elite Athletes' Educational Development and Sporting Performance. *The International Journal of the History of Sport*, 30(4), 374-392.
- Beckmann, J. Szymanski, B., Elbe, A., & Ehrleinspiel, F. (2006). *Chancen und Risiken: Vom Leben im Verbundsystem von Schule und Leistungssport*. Sportverlag Strauß.
- Breuer, C., Hallmann, K., & Ilgner, M. (2015). *Erfolgsfaktoren der Athletenförderung in Deutschland*. Sportverlag Strauss.
- Europäische Union. (2013). *EU-Leitlinien zu dualen Laufbahnen von Sportlerinnen und Sportlern*. Luxemburg.
- Hackfort, D., & H.-A. Birkner (2004). *Förderung im Hochleistungssport durch Berufsausbildung – Analyse des Werdegangs bei der BGS Sportschule Bad Endorf ausgeschiedener Sportler*. Sport & Buch Strauss.
- Peter, C., & Brosius, H.-B. (2013). Wahrnehmungsphänomene. In W. Schweiger & A. Fahr (Hrsg.), *Handbuch Medienwirkungsforschung* (S. 463-480). Springer.
- Payne, A. F. Storbacka, K., & Frow, P. (2008). Managing the co-creation of value. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36, 83-96.

# Analyse der kinematischen Kette beim Tennis-Aufschlag im Rahmen einer Trainings-Intervention im Jugend-Leistungs-Tennis mittels Silhouetten-Tracking

(AZ 072034/18-19)

Florian Paternoster, Sarah Reisinger & Ansgar Schwirtz (Projektleitung)

Technische Universität München, Professur für Biomechanik im Sport

## 1 Einleitung

Der Spieleröffnung kommt im Tennis eine wesentliche Rolle zu. Aufschlag und Return bestimmen noch mehr als in der Vergangenheit den Verlauf des Ballwechsels. Zwischen 2016 und 2018 waren bei Roland Garros und den US Open 70 % aller Ballwechsel innerhalb von 0-4 Schlägen beendet (braingametennis.com). Um der daraus ersichtlichen hohen Bedeutung des Aufschlages gerecht zu werden, muss dieser bereits im Jugendtraining entsprechend trainiert werden. Hierzu fanden Ulbricht et al. (2016) für weibliche und männliche Nachwuchsathleten mittlere bis hohe negative Korrelationen zwischen der Aufschlaggeschwindigkeit und der Platzierung in der Tennis Rangliste.

Für den Tennisaufschlag gilt die Schlägergeschwindigkeit im Moment des Ballkontaktes als leistungsbestimmender Faktor. Um eine maximale Geschwindigkeit zu erreichen, besteht ein wesentlicher Teil darin, die Geschwindigkeiten der beteiligten Segmente zu maximieren und an das nächste Segment zu übertragen, was zu einer Optimierung der kinematischen Kette führt. Ziel der Studie war es, die Effekte zweier Interventionen auf die maximale Ballgeschwindigkeit sowie die kinematische Kette hinsichtlich Geschwindigkeit und Timing zu untersuchen.

## 2 Methoden

### 2.1 Athletinnen und Athleten

Insgesamt nahmen 26 Athletinnen bzw. Athleten an der Eingangsmessung teil (♂22, ♀4). Diese wurden in eine Interventions- und Kontrollgruppe aufgeteilt. Über die einzelnen Messzeitpunkte hinweg gab es Dropouts, so dass schlussendlich 13 männliche (7 Interventions-, 6 Kontrollgruppe, Alter:  $17 \pm 1$  Jahre) und 2 weibliche Athleten alle drei Messtermine durchliefen. Auf Grund der geringen Anzahl an weiblichen Athleten werden im Folgenden nur die Ergebnisse der männlichen Gruppe dargestellt.

### 2.2 Protokoll

Die Untersuchung fand im Landeleistungszentrum des Bayerischen Tennis-Verbandes in Oberhaching statt. Insgesamt gab es drei Messtermine: eine Eingangsmessung, eine Messung nach der Technikintervention und abschließend eine Messung nach der Kraftintervention. Zu Beginn jeder Messung führten die Spielerinnen und Spieler ein individuelles Warm-Up durch inklusive einiger Probeaufschläge. Der Test selber bestand aus 20 Aufschlägen.



Die Aufgabe hierbei bestand darin, die Aufschläge maximal schnell durch die Mitte zu schlagen. Dies wurde den Athleten und Athletinnen im Vorfeld mitgeteilt. Am zweiten und dritten Messtermin fanden im Anschluss an die Aufschlagmessungen vier verschiedene Krafttests statt. Für die untere Extremität wurden ein Counter-Movement Jump (CMJ) und Squad Jump (SJ) durchgeführt, wobei die Hände in der Hüfte platziert waren. Die obere Extremität wurde mittels eines Überkopf-Medizinballwurfes getestet sowie über einen Medizinballstoß (ähnlich einem Druckpass beim Basketball), welcher im Sitzen durchgeführt wurde. Bei allen vier Tests absolvierten die Testpersonen insgesamt 3 Versuche.

Zusätzlich wurden die Aufschläge aus insgesamt 8 verschiedenen Positionen durchgeführt: An der Grundlinie, 2 Meter vor der Grundlinie, 2 Meter hinter der Grundlinie, auf Grundlinienhöhe, aber außerhalb der Doppelseitenlinie jeweils auf der Einstand- sowie Vorteil-Seite.

## 2.4 Kraftintervention

Ziel war es, einen Kraftblock im Saisonbetrieb durchzuführen. Der Zeitraum der Kraftintervention betrug 6 Wochen à 3 Einheiten pro Woche. In den ersten 3 Wochen wurde ein Maximalkrafttraining durchgeführt mit den drei Übungen Bankdrücken, Kniebeuge (90°) und Kreuzheben.

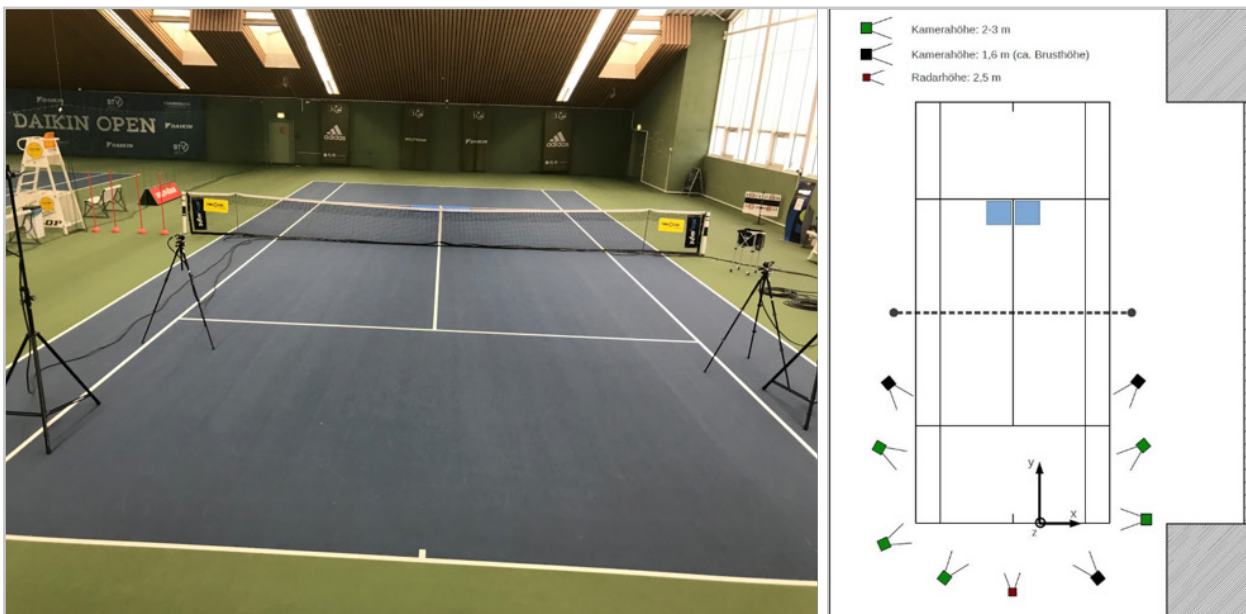


Abb. 1: Links: Messplatzaufbau. Rechts: Schematischer Messplatzaufbau  
Rot = Radarpistole. Grund/Schwarz = Hochgeschwindigkeitskameras

## 2.3 Technikintervention

Ziel war es, das vorherrschende Techniktraining aufzubrechen und neue Reize zu setzen. Die Technikintervention wurde über 4 Wochen à 3 Einheiten pro Woche durchgeführt, welche ca. 20 Minuten dauerte. Insgesamt wurden pro Einheit 50 Aufschläge durchgeführt unterteilt in 5 Blöcke. Das Techniktraining wurde in Anlehnung an das differenzielle Lernen (Schöllhorn, 1999) durchgeführt. Es wurden dabei Variationen der Beinsetzung, des Ballwurfs, der Schlagbewegung und der Kombination aus den genannten Punkten verwendet.

Die Trainingsdauer pro Einheit betrug ca. 45 Minuten aufgeteilt in 3 Sätze à 5 Wiederholungen pro Übung und einer Pausenzeit von 5 Minuten. Das Gewicht war so ausgelegt, dass der Athlet bzw. die Athletin die 5 Wiederholungen unter Beibehaltung einer sauberen Technik durchführen konnte, jedoch eine 6. Wiederholung nicht mehr möglich war. In den zweiten 3 Wochen erfolgte ein Schnellkrafttraining. Dabei wurden Reaktivsprünge über eine Hürde durchgeführt, Medizinballwürfe (Überkopf) sowie Reaktivsprünge mit gleichzeitigem Medizinballwurf beidarmig. Die Belastungskriterien waren

3 Einheiten pro Woche à 3 Sätze mit jeweils 9 Wiederholungen, bei maximaler Ausführungsgeschwindigkeit und 3 Minuten Serienpause. Gewicht des Medizinballes und Hürdenhöhe wurden im Vorfeld festgelegt.

Während den Interventionsphasen führte die Kontrollgruppe ihr normales Training fort.

## 2.5 Messmethoden

Die Ballgeschwindigkeit wurde mittels eines Radarmessgerätes gemessen (Stalker Sport, Stalker Radar). Die kinematische 3D-Analyse erfolgte mit 8 High-Speed Kameras (200 Hz) mittels Silhouetten Tracking (Simi Shape, Simi Reality Motion Systems). Ein Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass die Testpersonen nicht speziell vorbereitet werden müssen (z. B. Marker). Somit konnte der Athlet bzw. die Athletin mit minimalem Zeitaufwand, rückwirkungsfrei getestet werden. Die Sprunghöhe wurde mittels Impulsverfahren unter der Verwendung von Kraftmessplatten (1000 Hz, CTP Dual Force Plate, Contemplas) ermittelt. Die Wurf- bzw. Stoßweite bei den Medizinballtests (2 kg) wurde mittels einer Maßbands, welches am Boden befestigt war, abgelesen. Des Weiteren wurde eine qualitative Analyse durch zwei Trainer anhand eines Fragebogens durchgeführt. Für die Bewertung wurden Videos aus der seitlichen und der Perspektive von hinten verwendet.

## 2.6 Datenanalyse

Aus den 20 Aufschlägen wurden die 3 schnellsten Aufschläge ausgewertet, welche gemäß Wettkampfgregeln gültig waren. Im Bereiche der kinematischen Analyse wurde die maximale Extensionsgeschwindigkeit im Kniegelenk, die maximale Rotationsgeschwindigkeit im Oberkörper, die maximale resultierende Geschwindigkeit des Oberarm-, Unterarm- sowie des Handsegments ausgewertet. Zudem wurde der Zeitpunkt der jeweiligen Maxima bestimmt mittels Zeitnormalisierung des Aufschlags, wobei die Zeitspanne zwischen maximaler Knieflexion vorderes Bein (0 %) bis Schläger-Ballkontakt (100 %) verwendet wurde.

Außerdem wurde die maximale Aufschlaggeschwindigkeit, die Anzahl gültiger Aufschläge und die Anzahl weiterer schneller Aufschläge bestimmt (= innerhalb linker Grenze 95 % Konfidenzintervall). Für die maximale Aufschlaggeschwindigkeit sowie die kinematischen Parameter wurde der Mittelwert aus den 3 besten Versuchen berechnet. Aus den 4 Krafttest wurde die Sprunghöhe sowie Wurf-/Stoßweite des besten Versuchs für die weitere Analyse verwendet. Die Auswertung der qualitativen Analyse erfolgte mittels eines Fragebogens und einer 5-stufigen Likert-Skala. Die Analyse war unterteilt in die Kategorien Schlagvorbereitung, Beschleunigung, Zeitpunkt des Kontakts, Follow-Through und kinematische Kette. Die qualitative Bewertung der Trainer wurde gemittelt.

## 2.7 Statistik

Die Daten wurden mittels einer Mixed-Design ANOVA analysiert (Zwischensubjektfaktor: Gruppe. Innersubjektfaktor: Zeit (Pre/Mid/Post). Innersubjektfaktoren Krafttests: Zeit (Mid/Post)). Bei Verletzung der Sphärizität wurde eine Greenhouse-Geisser Adjustierung vorgenommen. Bei der qualitativen Analyse wurde ein Wilcoxon-Mann-Whitney Test durchgeführt. Das alpha Level wurde auf  $\alpha = 0.05$  festgelegt. Für die Analyse wurde die Software JASP (JASP Team [2020]) verwendet.

## 3 Ergebnisse

Bezüglich der maximalen Aufschlaggeschwindigkeit, der Anzahl an gültigen oder zusätzlichen schnellen Aufschlägen konnten keine signifikanten Effekte zwischen Gruppe x Zeit gefunden werden ( $p > 0.05$ ). Die qualitative Analyse der Trainer zeigte ebenfalls keinen Unterschied zwischen den Gruppen ( $p > 0.05$ ).

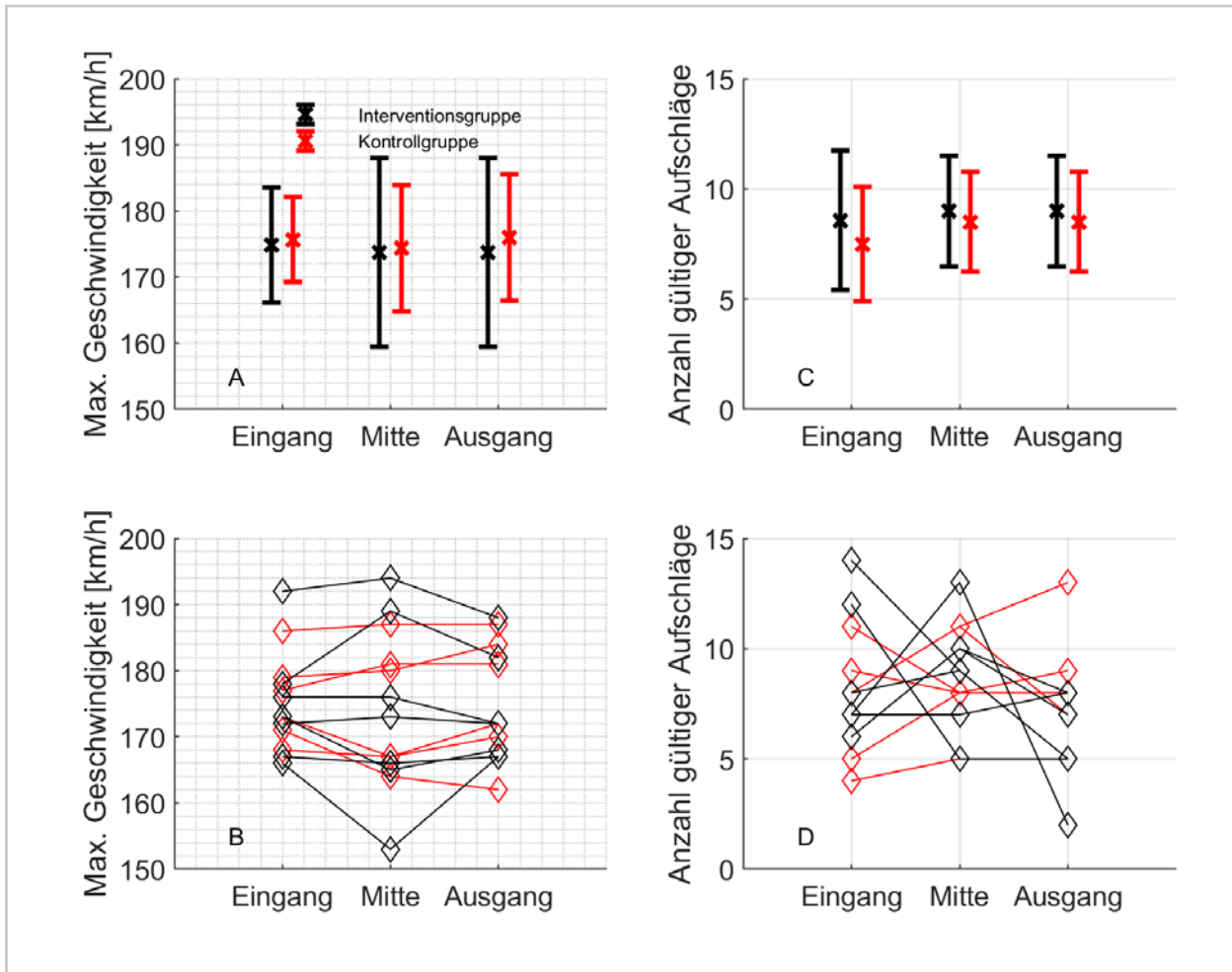


Abb. 2: A: Mittelwert und Standardabweichung der max. Aufschlaggeschwindigkeit  
 B: Darstellung der individuellen Ergebnisse der maximalen Aufschlaggeschwindigkeit  
 C: Anzahl gültiger Aufschläge für beide Gruppen zu den jeweiligen Zeitpunkten  
 D: Darstellung der individuellen Ergebnisse der Anzahl gültiger Aufschläge

Das gleiche Ergebnis zeigte sich auch für die kinematischen Daten hinsichtlich der Geschwindigkeiten sowie den Zeitpunkten der Maxima ( $p > 0.05$ ) (Tab. 1 und 2 exemplarisch für Armsegment).

Auch bei den Krafttests konnte zwischen den Gruppen über den zeitlichen Verlauf kein Unterschied festgestellt werden ( $p > 0.05$ ).

Tab. 1: Segmentgeschwindigkeiten des dominanten Armes gemittelt über die drei schnellsten Aufschläge  
 IG = Interventionsgruppe; KG = Kontrollgruppe; KM = Kinematische Messung

	Hand [m/s]			Unterarm [m/s]			Oberarm [m/s]		
	KM1	KM2	KM3	KM1	KM2	KM3	KM1	KM2	KM3
<b>IG MW</b>	15,7	16,0	15,8	9,7	9,7	9,7	6,3	6,2	6,3
<b>IG SD</b>	0,5	2,0	0,5	0,4	0,9	0,3	0,3	0,4	0,4
<b>KG MW</b>	14,8	14,5	15,0	9,4	9,1	9,3	6,7	6,5	6,6
<b>KG SD</b>	1,2	1,3	1,0	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6

Tab. 2: Prozentuales Auftreten der jeweiligen Parameter in der zeitnormalisierten Aufschlagbewegung  
 IG = Interventionsgruppe; KG = Kontrollgruppe; MW = Mittelwert; SD = Standard Abweichung;  
 KM = Kinematische Messung

	Hand [%]			Unterarm [%]			Oberarm [%]		
	KM1	KM2	KM3	KM1	KM2	KM3	KM1	KM2	KM3
<b>IG MW</b>	89,6	89,1	90,5	86,7	85,4	86,6	73,7	75,0	74,9
<b>IG SD</b>	1,0	1,4	1,4	2,0	2,3	3,0	5,4	8,9	7,4
<b>KG MW</b>	89,6	89,8	90,0	84,4	83,4	83,8	68,4	70,3	69,4
<b>KG SD</b>	1,6	1,5	1,6	1,6	2,4	3,1	7,5	6,0	7,6

## 4 Diskussion

Bezüglich der Einordnung der Aufschlaggeschwindigkeit zeigten die Athleten beider Gruppen vergleichbare Ergebnisse wie bei Ulbricht et al. (2016), aber langsamere Geschwindigkeiten als bei Hayes et al. (2018).

Bei der vorliegenden Studie konnte für die Technik- als auch Kraftintervention kein positiver Effekt der Interventionsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe nachgewiesen werden.

Bisherige Studien welche variables oder differenzielles Lernen verwendeten, zeigten Verbesserungen in der Zielgenauigkeit der Athleten, jedoch keine Unterschiede hinsichtlich der maximalen Aufschlaggeschwindigkeit zwischen den Gruppen (Hernández-Davo et al., 2014; Humpert & Schöllhorn, 2006). Somit können die Ergebnisse hinsichtlich der maximalen Aufschlaggeschwindigkeit bestätigt werden. Jedoch zeigte die Analyse im Bereich der kinematischen Kette sowie der qualitativen Analyse keine positiven Effekte des differenziellen Lernens gegenüber einem normalen Tennistraining. Das Ausbleiben eines positiven Effektes nach der Krafttrainingsintervention kann teilweise durch die niedrige Teilnahmequote der Athleten von weniger als 85 % an den Einheiten erklärt werden. Somit konnten Adaptationsprozesse nicht in dem geforderten Maße stimuliert werden. Gründe für die mangelnde Teilnahme sind in der hohen Turnierbelastung mit einhergehenden Reisestrapazen zu finden, aber auch in dem Fehlen eines Rahmentrainingskonzeptes für den Bereich Kraft. Letzteres wäre wünschenswert für die Akzeptanz aber auch aus leistungstechnischer sowie präventiver Sicht.

## 5 Literatur

- Hayes, M. J., Spits, D. R., Watts, D. G., & Kelly, V. G. (2018). The Relationship Between Tennis Serve Velocity and Select Performance Measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002440>
- Hernández-Davo, H., Urbán, T., Sarabia, J. M., Juan-Recio, C., & Moreno, F. J. (2014). Variable training: Effects on velocity and accuracy in the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 32(14), 1383-1388. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.891290>
- Humpert, V., & Schöllhorn, W. I. (2006). Vergleich von Techniktrainingsansätzen zum Tennisaufschlag. JASP Team. JASP (Version 0.12.2) [Computer software].
- Schöllhorn, W. (1999). Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport*, 2, 7-11.
- Ulbricht, A., Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2016). Impact of fitness characteristics on tennis performance in elite junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 989-998.





# Periodisierung des Krafttrainings im Nachwuchsleistungssport Schwimmen

(AZ 072038/18-19)

Christoph Clephas (Projektleitung)<sup>1</sup>, Jan-Peter Brückner<sup>1</sup>, Simon Bäcker<sup>1</sup>, Jan Klocke<sup>2</sup>, Stefan Fuhrmann<sup>2</sup>, & Moritz Schumann<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Sportwissenschaft

<sup>2</sup>Olympiastützpunkt Hamburg/Schleswig-Holstein

<sup>3</sup>Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin

## 1 Problem

Krafttraining verbessert verschiedene Leistungsindikatoren wie z. B. Time Trial Performance, Bewegungsökonomie und die maximale Laufgeschwindigkeit bei trainierten AusdauersportlerInnen verschiedener Sportarten (Laufen, Radfahren, Skilanglauf, Schwimmen). (Beattie et al., 2004; Berryman et al., 2018). Im Schwimmen ist Explosivkraft maßgeblich für den schnellen Start vom Block (Peterson Silveira et al., 2018; García-Ramos et al., 2016) verantwortlich, während Maximalkraft beim freien Schwimmen mit einem besseren Vortrieb zusammenzuhängen scheint (Crowley et al., 2017; Girolid et al., 2007). Bezüglich der Periodisierung eines solchen Krafttrainings im Zusammenhang mit Ausdauertraining/Schwimmen ist die Studienlage besonders im Elite-Bereich lückenhaft. Ziel der Studie war es, die Effekte des periodisierten und nicht-periodisierten Krafttrainings auf Leistungsparameter bei Nachwuchsschwimmern zu untersuchen.

## 2 Methode

Insgesamt N = 16 Schwimmer einer Trainingsgruppe des Olympiastützpunktes Hamburg/Schleswig-Holstein trainierten 17 Wochen in randomisierten Gruppen. Alle Schwimmer hatten zu Beginn der Intervention ein Trainingsalter von mindestens 5 Jahren im Schwimmen und 1.5 Jahren im Krafttraining. Dabei wurde von allen Athleten das gleiche Schwimmtraining durchgeführt. Dies bestand aus 7-8 Einheiten pro Woche mit einer jeweiligen Dauer von 1.5-2 Stunden. Innerhalb dieser Einheiten wurde sowohl die Dauerperiode bei mittleren und niedrigen Intensitäten angewendet als auch hochintensives Intervalltraining. Das Schwimmtraining war 3:1 periodisiert. Intensität und Volumen stiegen also 3 Wochen lang kontinuierlich an und wurden dann in der vierten Woche zur Regeneration wieder reduziert. Zusätzlich gab es eine sieben-tägige Taperingphase vor der finalen Messung. Die Trainingsintensitäten wurden basierend auf Blutlaktatkonzentrationen und maximalen Schwimmgeschwindigkeiten festgelegt. In den ersten sieben Wochen führten beide Gruppen zweimal wöchentlich das gleiche Hypertrophietraining durch (3 Sätze à 6-10 Wiederholungen bei 75-85 % des 1RM). Ab Woche 8 wurde in der Interventionsgruppe (N = 9) ein Maximal- und Explosivkrafttraining durchgeführt (4 Sätze à 3-4 Wiederholungen bei 85-90 % des 1RM). Die Kontrollgruppe führte in Woche 8-17 weiter ein Hypertrophietraining durch.

Tab. 1: Krafttrainingsprogramme von Sprint- &amp; Mittelstreckenschwimmern.

Sprint						
Übung	Hypertrophie			Maximal/Explosiv		
	Session 1	Session 2	Session 3	Session 1	Session 2	Session 3
Halbe Kniebeuge	4 x 6-10		4 x 6-10	4 x 3-4		5 x 3-6
Kreuzheben	4 x 6-10		4 x 6-10	4 x 6-10		5 x 6-10
Klimmzug		4 x 6-10	4 x 6-10		4 x 3-4	5 x 3-6
Bankdrücken		4 x 6-10	4 x 6-10		4 x 3-4	5 x 3-6
Andere Übungen	2-3 x 8	3 x 8-15	3 x 8-15	2-3 x 8	3 x 8-15	3 x 8-15
Squat Jumps				3 x 5		
Ball Slam				3 x 5		
10-m-Sprint				3 x 1		

Mittelstrecke				
Übung	Hypertrophie		Maximal/Explosiv	
	Session 1	Session 2	Session 1	Session 2
Halbe Kniebeuge	3-4 x 6-10	4 x 6-10	3-4 x 3-4	4 x 3-4
Kreuzheben	3-4 x 6-10	4 x 6-10	3-4 x 6-10	4 x 3-4
Klimmzug	4 x 6-10	3-4 x 6-10	4 x 3-4	3-4 x 3-4
Bankdrücken	4 x 6-10	3-4 x 6-10	4 x 3-4	3-4 x 3-4
Andere Übungen	3 x 8-15	3 x 8-15	3 x 8-15	3 x 8-15
Squat Jumps			3 x 5	
Ball Slam			3 x 5	
10-m-Sprint			3 x 1	

Zu Beginn des Trainings sowie nach Woche 8 und 17 wurden die aerobe Kapazität (4 x 400 m Stufentest (Pansold, 1977; 1993)), die Maximalkraft (1RM bei Kniebeuge und Bankdrücken) sowie die Explosivkraft (Counter Movement Jump auf Kraftmessplatte) gemessen.

Die Maximalkraft wurde erfasst, indem jeder Schwimmer nach einem normierten Aufwärmen (5 Wiederholungen bei 60 % des 1RM) maximal 5 Versuche benötigen durfte, um das persönliche Maximalgewicht zu bewegen. Die Pause zwischen den Versuchen war 5 Minuten.

Die Explosivkraft wurde erfasst, indem jeder Schwimmer 3 Versuche hatte, mit den Händen an der Hüfte die maximale Höhe beim Counter Movement Jump zu erreichen. Die Pause zwischen den Versuchen betrug eine Minute. Der beste Versuch wurde gewertet. Darüber hinaus wurde die Trainingsbelastung über den gesamten Zeitraum erfasst (Rating of Perceived Exertion (sRPE)).

### 3 Ergebnisse

Die totale im Schwimmtraining geschwommene Distanz unterschied sich statistisch nicht signifikant zwischen den Gruppen. Die Anzahl der absolvierten Krafttrainingseinheiten unterschied sich ebenfalls nur geringfügig.

Die Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol<sup>-1</sup> Blutlaktat (4LT) verbesserte sich gleichermaßen nach 7 Wochen in der Interventionsgruppe (2.6 ± 1.8 %, p = 0.009) und in der Kontrollgruppe (3.4 ± 2.4 %, p = 0.042) und stagnierte danach. Die maximale 400-m-Schwimmzeit (Abb. 1) blieb statistisch unverändert in beiden Gruppen während der Intervention (p > 0,05). Die Maximalkraft stieg auf ähnliche Weise während der 17 Wochen linear an (Kniebeuge: Interventionsgruppe, 19.6 ± 14.9 %; Kontrollgruppe 24.1 ± 17.6 %, beide p = 0.007; Bankdrücken: Interventionsgruppe, 14.1 ± 4.8 %, p < 0.001; Kontrollgruppe 18.3 ± 10.6 %, p = 0.002).

Die Höhe des Counter Movement Jump erhöhte sich signifikant mehr ( $p = 0.046$ ) in der Interventionsgruppe ( $19.4 \pm 7.0 \%$ ,  $p < 0.001$ ) verglichen mit der Kontrollgruppe ( $9.3 \pm 6.9 \%$ ,  $p = 0.009$ ). Darüber hinaus wurde eine statistisch signifikante Korrelation für die gemeinsamen Veränderungen beider Gruppen in der halben Kniebeuge und 400-m-Schwimmzeit ( $r = -0,527$ ,  $p = 0,036$ ) und V4 ( $r = 0,560$ ,  $p = 0,024$ ) festgestellt (Abb. 2).

Krafttraining mit individuell angepassten Inhalten profitieren können.

Der zunächst starke Anstieg der aeroben Leistungsfähigkeit und die darauffolgende Stagnation lässt sich durch die zeitliche Verordung der Trainingsintervention nach der Sommerpause erklären. Dazu kommt ein vermehrter Fokus auf kurze, schnelle Intervalle im Schwimmtraining in den Wochen 8-16, was die Athleten auf ihren Spezialstrecken möglicherweise zwar schneller

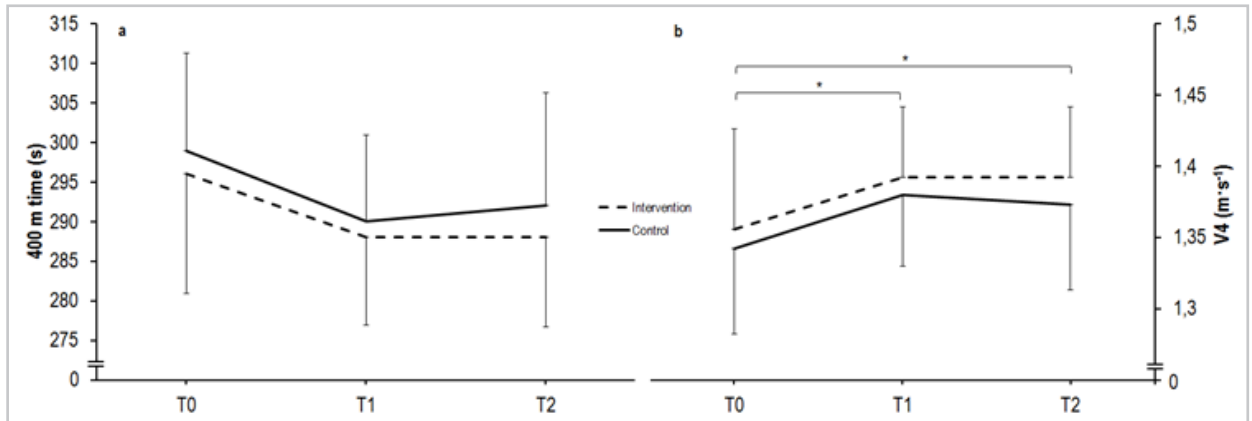


Abb. 1: Maximale 400m Schwimmzeit (a) und V4 (b) für die Interventions- und Kontrollgruppe bei T0, T1 und T2; \* $p < 0,05$

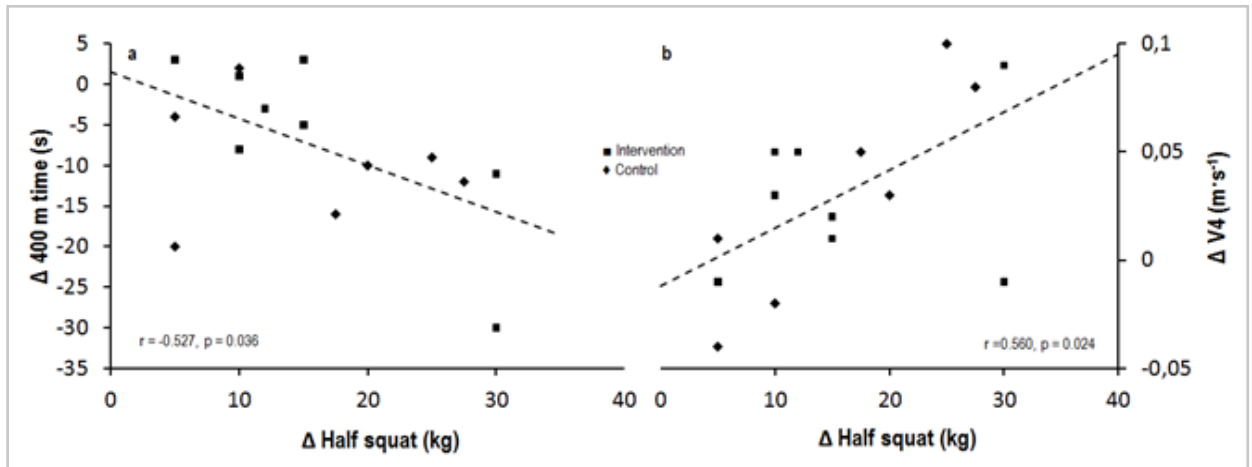


Abb. 2: Korrelation zwischen Veränderungen in der halben Kniebeuge und 400m Schwimmzeit (a) und V4 (b)

## 4 Diskussion

Periodisiertes Krafttraining mit Maximal- und Explosivkraftanteilen erwies sich verglichen mit nicht-periodisiertem Hypertrophietraining in Bezug auf die Startleistung und aerobe Leistungsfähigkeit nicht als überlegen. Korrelationen zwischen verbesserter Unterkörperkraft und V4 sowie 400-m-Schwimmzeit suggerieren, dass besonders schwache AthletInnen von

macht, sich aber nicht in einem Ausdauerstest wie den 4 x400 m äußert.

Der lineare Anstieg der Kraftfähigkeiten wurde bereits ähnlich in vorliegender Literatur beobachtet (Crowley et al., 2017). Wir erwarteten allerdings größere Verbesserungen bei Maximalkrafttraining im Vergleich zu Hypertrophietraining, die nicht eingetreten sind. Wie oftmals bei sehr guten Athleten der Fall, war in dieser Studie die Probandenzahl recht gering.

Der Transfer in die Praxis erfolgte bereits parallel zur Studie. Alle involvierten Personen aus der Praxis (Trainer, Trainingswissenschaftler sowie Wissenschaftskoordinator) wurden über die Prozesse in Kenntnis gesetzt. Dazu kam eine Informationsveranstaltung der ersten Ergebnisse direkt nach den Testungen mit allen Athleten sowie dem gesamten Trainerteam. Nach Abschluss aller Auswertungen und dem in Bezug setzen aller Kennziffern zueinander fand ein zweiter Austausch mit allen beteiligten sowie interessierten Personen statt. Dazu ist eine Implementierung des Themas in die Ausbildung der A-Lizenz des Deutschen Schwimm-Verbandes bereits terminiert.

Der Transfer in die Wissenschaft erfolgte ebenso bereits. Hier war die Veröffentlichung von Schumann et al. (2020) das zentrale Element, die Erkenntnisse in die Breite zu tragen.

## 5 Literatur

- Beattie, K. et al. (2004). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.) 44(6), 845-865.
- Berryman, N. et al. (2018). Strength Training for Middle- and Long-Distance Performance. A Meta- Analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(1), 57-63.
- Crowley, E. et al. (2017). The Impact of Resistance Training on Swimming Performance. A Systematic Review. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 47(11), 2285-2307.
- García-Ramos, A. et al. (2016). The Relationship Between the Lower-Body Muscular Profile and Swimming Start Performance. *Journal of Human Kinetics*, 50, 157-165.
- Girolid, S. et al. (2007). Effects of dry-land vs. resisted- and assisted-sprint exercises on swimming sprint performances. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 599-605.
- Pansold, Zinner, Buckwit, & Dehmlow (1993). *Leistungsdiagnostik mit Laktat und Mini 8*. Berlin.
- Pansold, B. (1977). *Leistungsphysiologische Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung des Informationsgehalts der Laktatkonzentration im Blut an Leistungssportlern der Sportart Schwimmen*. Diss. Uni Greifswald.
- Peterson Silveira, R. et al. (2018). Key determinants of time to 5 m in different ventral swimming start techniques. *European Journal of Sport Science*, 18(10), 1317-1326.
- Schumann et al. (2020) (im Druck). Strength-Training Periodization: No Effect on Swimming Performance in Well-Trained Adolescent Swimmers. *International Journal of Sport Physiology and Performance*.

# Verletzungsprophylaxe im Frauennachwuchsleistungssport des Sportspiels Handball

(AZ 072040/18-19)

Marcus Schmidt, Kevin Nolte & Thomas Jaitner (Projektleitung)

TU Dortmund, AG Bewegungs- und Trainingswissenschaft

## 1 Problem

Im Handball lässt sich in den letzten Jahren eine zunehmende Zahl an Verletzungen der unteren Extremitäten beobachten, die vermutlich der in den letzten Jahren deutlich erhöhten Dynamik, dem zunehmenden Tempo der Spielaktionen, der daraus resultierenden hohen physischen Beanspruchung sowie der fehlenden Integration geeigneter Trainingsprogramme geschuldet ist (Luig et al., 2018). Insbesondere weibliche Nachwuchssportler weisen Defizite in der Kniegelenkstabilität und dem Landeverhalten auf und unterliegen damit einem erhöhten Risiko von Kreuzbandverletzungen. Eine höhere Verletzungsinzidenz in der zweiten Spielhälfte deutet zudem darauf hin, dass Ermüdung das Verletzungsrisiko weiterhin erhöht. Insgesamt liegen jedoch bezüglich des Einflusses von Ermüdung auf die Gelenkstabilität der unteren Extremitäten sowie Sprung- bzw. Landebewegungen nur eingeschränkte Erkenntnisse vor. Studien zur Verletzungsprophylaxe belegen, dass sich durch sensomotorisches und plyometrisches Training das Auftreten von Knieverletzungen reduzieren lässt. Das damit erzielte höhere Kraftniveau in Kombination mit einer höheren Gelenkstabilität trägt u. a. zur Vermeidung des dynamischen Valguskollaps in Risikosituationen für vordere Kreuzbandverletzungen bei. Ein weiterer, bislang wenig berücksichtigter Faktor für eine effektive Verletzungsprophylaxe wird in der Optimierung der Bewegungstechniken bei Sprüngen und Landungen gesehen (Gokeler et al., 2018).

Die Zielstellung des Forschungsvorhabens war somit zweigeteilt: Zum einen wurde analysiert, wie sich Risikofaktoren für Knieverletzungen unter Ermüdung verändern. Zum zweiten wurde

ein handballspezifisches Interventionsprogramm zur Verbesserung der Gelenkstabilität der unteren Extremitäten sowie zur Optimierung der Landetechnik bei ein- und beidbeinigen Sprüngen entwickelt und evaluiert.

## 2 Methode

### 2.1 Analyse ermüdungsbedingter Veränderungen biomechanischer Merkmale von verletzungsrelevanten Risikofaktoren

15 Nachwuchsleistungssportlerinnen ( $15,9 \pm 0,9$  Jahre) nahmen an der Untersuchung teil. Es wurden nur Spielerinnen zugelassen, die sich in einem guten gesundheitlichen und körperlichen Zustand befanden. Ausschlusskriterien waren Muskel-, Band- oder Knochenverletzungen der unteren Extremitäten, die weniger als 2 Monate zurücklagen oder noch nicht vollständig regeneriert sind. Die Teilnehmerinnen absolvierten nach einem standardisierten Aufwärmen jeweils drei Durchgänge mit je drei beidbeinigen (DLL) und einbeinigen (SLL) Landungen aus 30 cm Höhe sowie Sidecuts (SC). Zwischen den Messungen wurden zwei handballspezifische Ermüdungsprotokolle absolviert. Das Ermüdungsprotokoll umfasste eine Reihe von Bewegungen wie Side-steps, Sprünge sowie hoch- und mittelin-tensive Läufe mit kurzen Unterbrechungen und eine Dauer von 20 Minuten, was die effektive Spielzeit einer Halbzeit im Nachwuchsfrauenhandball repräsentiert. Kinematische und kinetische Bewegungsmerkmale der unteren Extremitäten wurden mit einem 3D-Kamerasystem (120 Hz, Fa. Qualisys©) sowie zwei Kraftmessplatten (Fa. AMTI©) erfasst. Hüft- und Kniewinkel sowie Drehmomente in beiden Gelenken



wurden mittels inverser Dynamik berechnet und für das dominante und nicht-dominante Bein separat mittels ANOVA ausgewertet.

## 2.2 Entwicklung, Durchführung und Überprüfung der Effekte eines Präventionsprogrammes zur Vermeidung von Verletzungen der unteren Extremitäten

25 Spielerinnen von der C- bis zur A-Jugend ( $16,3 \pm 1,2$  Jahre,  $172 \pm 6$  cm,  $70 \pm 10$  kg) absolvierten die Interventionsstudie. Das Studiendesign beinhaltete zwei Messzeitpunkte und eine Interventionsphase. Die Spielerinnen wurden nach Beendigung des Pretests in eine Interventionsgruppe (IG; N = 14) und eine Kontrollgruppe (KG; N = 11) aufgeteilt. Während des Interventionszeitraums trainierte die Kontrollgruppe handballspezifisch, sodass die gleichen Trainingsumfänge erreicht wurden. Insgesamt wurden 10 Trainingseinheiten mit einer Dauer von 35 bis 45 Minuten in einem Zeitraum von 12 Wochen durchgeführt. Die Intervention kombinierte sensomotorische Trainingsinhalte, plyometrische Sprungformen, spezifisches Techniktraining ein- und beidbeiniger Sprung- und Cutting-Bewegungen sowie ein stabilisierendes Krafttraining mit einem Fokus auf die Rumpfkraftfähigkeiten. Nach Beendigung der Intervention erfolgte die Überprüfung der Interventionseffekte durch eine erneute Durchführung der bereits oben dargestellten Testbatterie. Auch die Erhebung und Weiterverarbeitung der kinematischen und kinetischen Merkmale erfolgte analog zum oben geschilderten Vorgehen. Zur Überprüfung der Interventionseffekte wurden mittels t-Tests die Veränderungen von Pre- zu Posttest in den einzelnen Parametern untersucht. Als Effektstärken wurde Cohens d berechnet. Bei allen Analysen wurden die Werte für das dominante und das nicht-dominante Bein separat betrachtet.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Analyse ermüdungsbedingter Veränderungen biomechanischer Merkmale von verletzungsrelevanten Risikofaktoren

Die ANOVA zeigt für die Kinetik weder für das dominante noch für das nicht-dominante Bein einen Ermüdungseffekt. Ein signifikanter Effekt wurde für den initialen Knieflexionswinkel des dominanten Beins während SC gefunden ( $\eta^2 = ,359$ ;  $p = ,002$ ). Beim nicht-dominanten Bein unterschieden sich unter Ermüdung der initiale Hüftflexionswinkel während SC sowie die initialen und maximalen Knieflexionswinkel in allen Testaufgaben signifikant ( $\eta^2 = ,209$  bis  $,487$ ;  $p = ,000$  bis  $,038$ ).

### 3.2 Entwicklung, Durchführung und Überprüfung der Effekte eines Präventionsprogrammes zur Vermeidung von Verletzungen der unteren Extremitäten

Während bei der Kontrollgruppe lediglich Veränderungen des initialen und maximalen Hüftflexionswinkels bei DLL und SC sowie des Hüftabduktionsmomentes bei DLL auftraten, liegen für die Interventionsgruppe umfassende Veränderungen vor allem kinetischer Parameter vor. Zum einen kam es zu einer signifikanten Reduktion der vertikalen Bodenreaktionskraft auf der dominanten Seite bei DLL ( $p = ,004$ ;  $d = 1,482$ ) sowie auf der nicht-dominanten Seite bei SLL ( $p = ,004$ ;  $d = 0,572$ ). Abb. 1 zeigt die weiteren Parameter der Interventionsgruppe, bei denen es zu signifikanten Änderungen von Pre- zu Posttest kam.

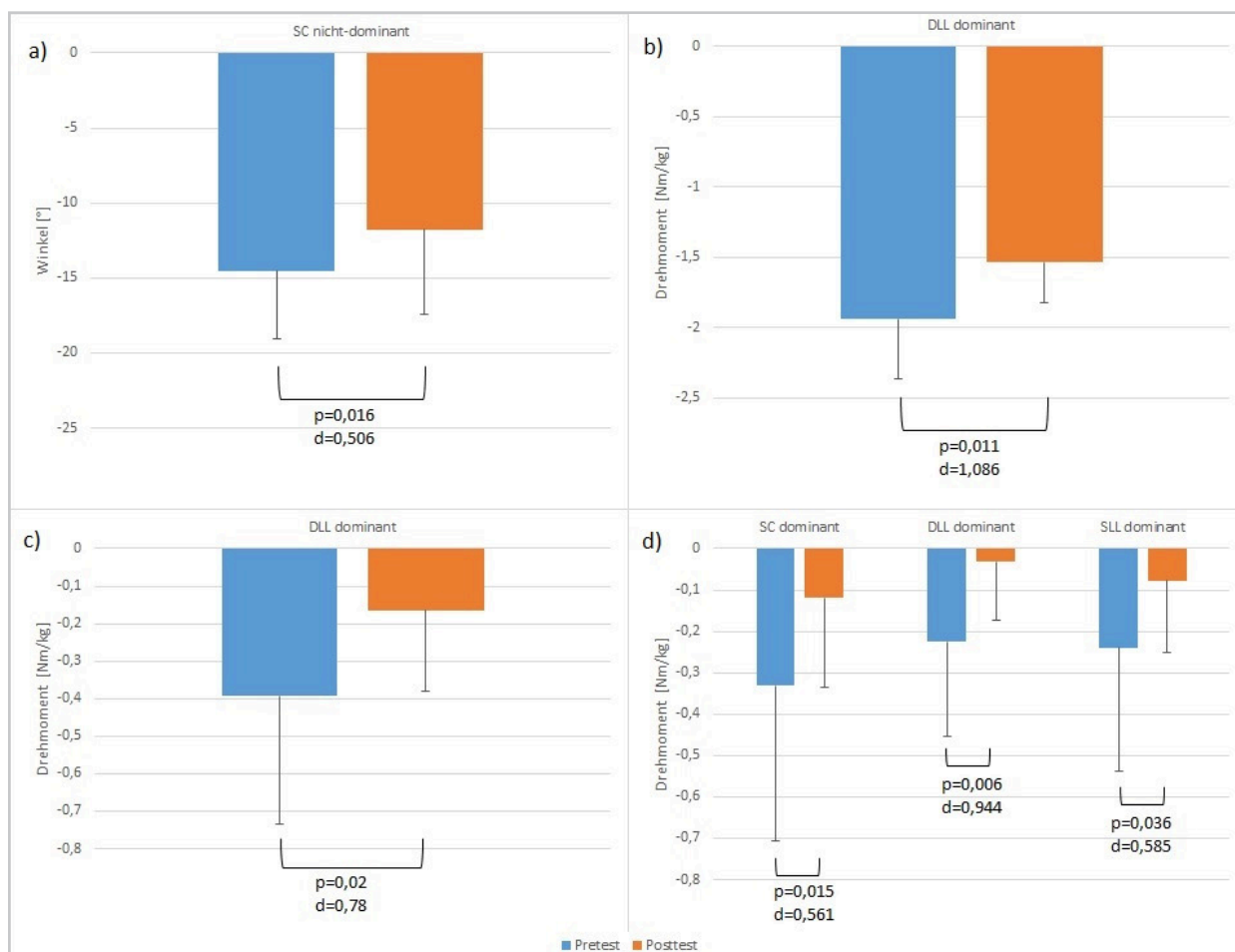


Abb. 1: Biomechanische Landeparameter der Interventionsgruppe. a) maximale Hüftabduktionswinkel des nicht-dominanten Beins bei SC; b) Knieflexionsmoment des nicht-dominanten Beins bei DLL; c) Hüftabduktionsmoment des dominanten Beins bei DLL; d) Knieabduktionsmoment des dominanten Beins bei SC sowie DLL und SLL

## 4 Diskussion

### 4.1 Analyse ermüdungsbedingter Veränderungen biomechanischer Merkmale von verletzungsrelevanten Risikofaktoren

Bemerkenswert an den Ergebnissen der Analyse ermüdungsbedingter Veränderungen biomechanischer Merkmale von verletzungsrelevanten Risikofaktoren ist, dass die induzierte Ermüdung die Lande- und Cuttingbewegungen bei Nachwuchshandballerinnen primär die kinematischen Merkmale der nicht-dominanten Seite verändert. Gegenüber Studien mit hochintensiven Ermüdungsprotokollen ändern sich die kinetischen Merkmale nicht (McLean et al., 2009). Präventive Maßnahmen im Training, aber

auch das Verhalten im Spiel mit zunehmender Ermüdung sollte diesem Aspekt ein besonderes Augenmerk widmen. Neben den gruppenübergreifenden Ergebnissen stellt vor allem auch die individuelle Analyse der Daten besondere Möglichkeiten dar. Abb. 2 veranschaulicht die Auswirkungen von Ermüdung auf den Abduktionswinkel des Knies einer Sportlerin. Ein negativer Abduktionswinkel indiziert dabei eine Valgusstellung. Es ist zu erkennen, dass sowohl zu Beginn der Landung als auch während der gesamten Stützphase höhere Knievalguswinkel unter Ermüdung erreicht werden. In Kombination mit einem geringeren Knieflexionswinkel begünstigt dies das Auftreten einer Kreuzbandverletzung (Kernozek et al., 2008) und sollte dementsprechend bei individuellen, präventiven Trainingsmaßnahmen oder im Spielverlauf entsprechend berücksichtigt werden.

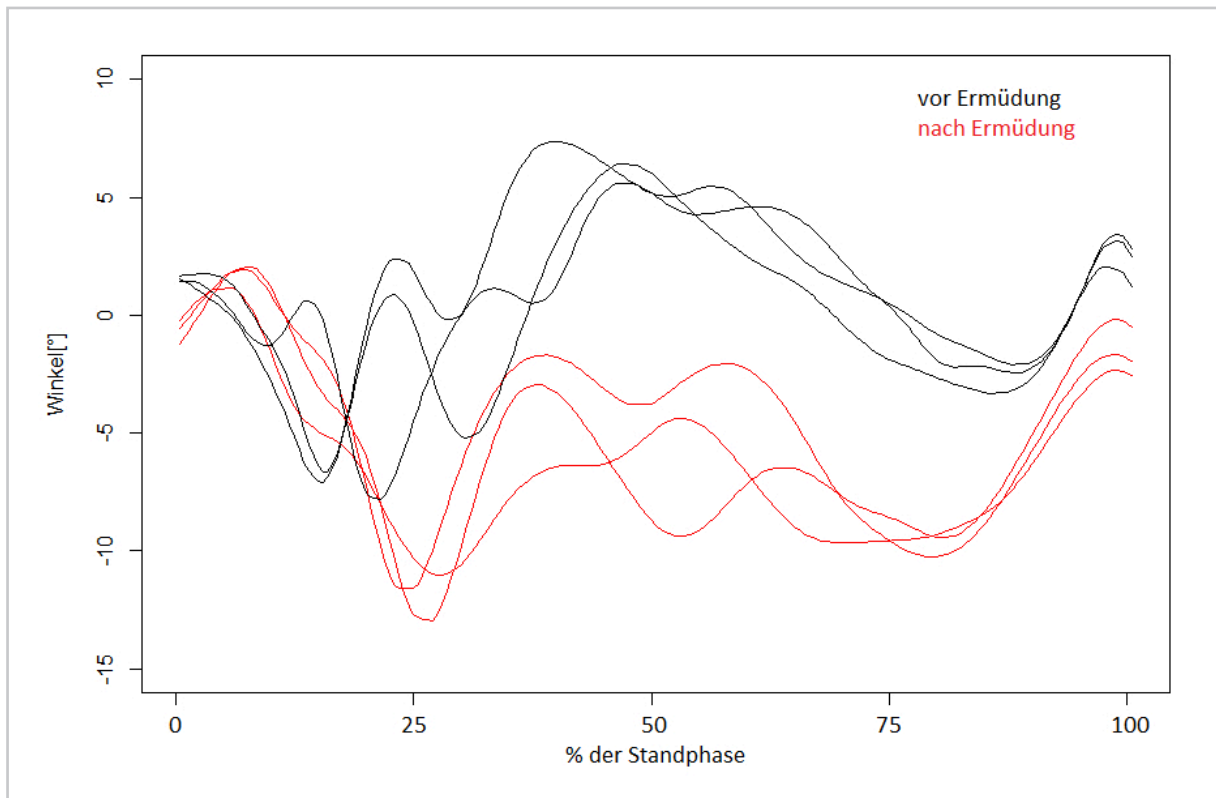


Abb. 2: Verlauf des Knieabduktionswinkels der nicht-dominanten Seite einer Athletin bei DLL vor (schwarz) und nach beiden Ermüdungsprotokollen (rot)

#### 4.2 Entwicklung, Durchführung und Überprüfung der Effekte eines Präventionsprogrammes zur Vermeidung von Verletzungen der unteren Extremitäten

Die durchgeführte Trainingsintervention führte primär zu Verbesserungen bezüglich der kinetischen Bewegungsmerkmale bei Lande- und Cuttingbewegungen der jugendlichen Handballerinnen. In Übereinstimmung mit Myer et al. (2005) führte die mehrwöchige Intervention zu reduzierten Knievalgusdrehmomenten. Diese Änderungen betreffen die dominante Seite der Spielerinnen, während auf der nicht-dominanten Seite bei Cutting-Bewegungen nicht-signifikant reduzierte Werte (Pre:  $0,74 \pm 0,42$  Nm/kg; Post:  $0,66 \pm 0,55$  Nm/kg) auftreten. Bei einer vergleichbaren Untersuchung kommen Hewett et al. (1996) zum Ergebnis, dass eine Intervention basierend auf plyometrischem Training zu reduzierten Bodenreaktionskräften bei Landungen und damit einem verringerten Verletzungsrisiko führt. Neben den genannten signifikant reduzierten Bodenreaktionskräften (DLL dominante

Seite, SLL nicht-dominante Seite) liegen auch für alle anderen Bedingungen (SC beide Seiten, DLL nicht-dominante Seite und SLL dominante Seite) reduzierte Werte im Posttest vor. Die bei allen Testaufgaben fehlenden Veränderungen der kinematischen Merkmale deuten darauf hin, dass die niedrigeren Drehmomente weniger auf Änderungen der Bewegungstechnik zurückzuführen sind, als vielmehr auf veränderte neuromuskuläre Ansteuerungsmechanismen (Cawley et al., 2017). Diese Aspekte müssen jedoch in zukünftigen Studien ausführlicher untersucht werden.

Neben den gruppenübergreifenden Ergebnissen eröffnet auch hier eine individuelle Datenanalyse besondere Einblicke in ein mögliches Verletzungsrisiko oder die Effekte einer Trainingsintervention, sowie Unterschiede der dominanten und nicht-dominanten Seite. Ergänzend zu den dargestellten Veränderungen der biomechanischen Bewegungsmerkmale bei Lande- und Cuttingbewegungen, zeigen Myer et al. (2005), dass durch eine mit dieser Studie vergleichbare Trainingsintervention ebenfalls Verbesserungen der vertikalen Sprungkraft

hervorgehoben werden können. Chaabene et al. (2019) zeigen darüber hinaus, dass plyometrisches Training bei jugendlichen Handballerinnen auch die Schnelligkeit bei Linearsprints und Richtungswechseln positiv beeinflusst. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass durch das dargestellte Präventionsprogramm auch Steigerungen des sportartspezifischen Leistungsvermögens bei Nachwuchshandballerinnen erreicht werden können. Die in diesem Projekt durchgeführte Trainingsintervention umfasste insgesamt lediglich 10 Einheiten innerhalb von 12 Wochen während der Saison. Dennoch zeigen sich bereits große Effektstärken (0,561 bis 0,944) bei der Reduktion des Knievalgusdrehmoments. Diese Ergebnisse verdeutlichen mögliche Ursachen für die in früheren Studien gefundenen positiven Effekte präventiver Trainingsintervention im Nachwuchshandball (Achenbach et al., 2018). In der ausgewählten Stichprobe traten im Interventionszeitraum keine Verletzungen auf, die mit längeren Ausfallzeiten der Spielerinnen verbunden waren. Dementsprechend kann eine ganzjährige Integration des Präventionsprogramms empfohlen werden, um langfristig sowohl Verletzungen zu vermeiden als auch die Leistungen im Sportspiel zu erhöhen. Wesentlich für die Umsetzung ist dabei der Einbezug aller beteiligten Personen (Spielerinnen, Vereinstrainer und -trainerinnen, Verbands- und Sichtungstrainer bzw. -trainerinnen, Vereinsfunktionäre oder Physiotherapeuten und -therapeutinnen) zur Erhöhung des Wissens bezüglich der präventiven Maßnahmen. Vor allem in der Trainerausbildung sollte diesem Thema mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden, um langfristig in den Vereinen klare Strukturen und Trainingskonzeptionen zur nachhaltigen Minimierung von Verletzungen zu implementieren (Møller et al., 2018).

## 5 Literatur

- Achenbach, L., Krutsch, V., Weber, J., Nerlich, M., Luig, P., Loose, O., ... Krutsch, W. (2018). Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. *Knee Surgery, Sports Traumatology Arthroscopy*, 26(7), 1901-1908.
- Chaabene, H., Negra, Y., Moran, J., Prieske, O., Sammoud, S., Ramirez-Campillo, R., & Granacher, U. (2019). Plyometric Training Improves Not Only Measures of Linear Speed, Power, and Change-of-Direction Speed But Also Repeated Sprint Ability in Female Young Handball Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*.
- Cowley, J. C., & Gates, D. H. (2017). Inter-joint coordination changes during and after muscle fatigue. *Human Movement Science*, 56 (Pt B), 109-118.
- Gokeler, A., Benjaminse, A., Seil, R., Kerkhoffs, G., & Verhagen, E. (2018). Using principles of motor learning to enhance ACL injury prevention programs. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 34(1), 23-30.
- Hewett, T. E., Stroupe, A. L., Nance, T. A., & Noyes, F. R. (1996). Plyometric Training in Female Athletes: Decreased Impact Forces and Increased Hamstring Torques. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6), 765-773.
- Kernozek, T. W., Torry, M. R., & Iwasaki, M. (2008). Gender differences in lower extremity landing mechanics caused by neuromuscular fatigue. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(3), 554-565.
- Luig, P., Bloch, H., Klein, C., & Büsch, D. (2018). *Diagnostik und Betreuung im Handball – Praktikable Tests und Tools zur Leistungssteigerung und Verletzungsprävention*. Hamburg: VBG.
- McLean, S. G., & Samorezov, J. E. (2009). Fatigue-induced ACL injury risk stems from a degradation in central control. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(8), 1661-1672.
- Møller, M., Ageberg, E., Bencke, J., Zebis, M. K., & Myklebust, G. (2018). Implementing Handball Injury Prevention Exercise Programs: A Practical Guideline. In L. Laver, P. Landreau, R. Seil, & N. Popovic (Eds.), *Handball Sports Medicine: Basic Science, Injury Management and Return to Sport* (pp. 413-432). Springer.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Palumbo, J. P., & Hewett, T. E. (2005). Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *Journal of Strength Conditioning Research*, 19(1), 51-60.





# Quantitative Analyse der Schwimmtechnik

(AZ 072041/18-19)

Armin Kibele<sup>1</sup> (Projektleitung), Rainer Lienhart<sup>2</sup> (Projektleitung), Sebastian Fischer<sup>1</sup>,  
Moritz Einfalt<sup>2</sup>, Lisa Claußen<sup>1</sup> & Dan Zecha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität Kassel

<sup>2</sup>Universität Augsburg

## 1 Problem

Es war das Ziel dieses Service-Forschungsprojektes, empirisch abgeleitete Technikleitbilder für die Sportart Schwimmen zu entwickeln und diese für die Leistungsdiagnose und -prognose zu nutzen. Die Bewegungsanalyse im Schwimmen wird bislang durch ein halbautomatisches oder vollautomatisches Markertracking basierend auf den Daten aus Videobildern durchgeführt, wobei optische Farb- bzw. Infrarotinformationen genutzt werden. Insbesondere bei Spitzenschwimmern und -schwimmerinnen ist der Einsatz von Markern durch den erhöhten Gesamtwiderstand, das stark beeinflusste Wassergefühl und die damit einhergehenden Veränderungen im Bewegungsverlauf keine Option in der Leistungsdiagnostik. Daher wurden in diesem Forschungsprojekt aus Technikanalysevideos von Schwimmern und Schwimmerinnen, die im Rahmen einer Leistungsdiagnostik aufgezeichnet wurden, quantitative Informationen über deren Segmentbewegungen gewonnen. Eine spezielle Software zur markerlosen Erkennung der Gelenkpositionen kam hierbei zum Einsatz (Lienhart et al., 2014) und soll die aufwendige und schwierige Bewegungsanalyse im Schwimmen vereinfachen.

Anschließend wurden die Daten über ein faktorenanalytisches Verfahren auf gemeinsame Merkmale hin analysiert. Dieses Verfahren wurde in der Vergangenheit bereits zur Identifikation von Individuen aufgrund ihres Gangverhaltens (Troje, 2002) und zur Quantifizierung der sportlichen Technik im Ski Alpin eingesetzt (Federolf et al., 2014).

Auf Basis der aus der Faktorenanalyse gewonnenen Bewegungsmuster erfolgte die mathematisch-statistische Beschreibung eines Technikleitbildes. Das Ziel war die Einbindung einer quantitativen Bewegungsanalyse der Schwimmtechnik im Rahmen der Leistungsdiagnostik. Es sollten dabei „digitale, adaptive Technikleitbilder“ entstehen, die es ermöglichen konkrete Vergleiche zwischen Technikleitbild und der individuellen Schwimmtechnik eines aktuell zu diagnostizierenden Schwimmers bzw. einer aktuell zu diagnostizierenden Schwimmerin durchzuführen.

## 2 Methode

Hierzu wurden in einem mehrstufigen Prozess zunächst aus Videoaufzeichnungen von Schwimmerinnen und Schwimmern quantitative Informationen über deren Segmentbewegungen gewonnen, wobei ein spezieller Detektionsalgorithmus auf der Grundlage von neuronalen Netzen für die markerlose Erkennung der Körpersegmentpositionen zum Einsatz kam (Lienhart et al., 2014). Die erste Analysestufe beinhaltete dabei zunächst das markerlose Tracking von Segmentendpunkten in Einzelbildern und danach das Tracking ganzer Bildsequenzen. In einem dritten Schritt mussten die ermittelten Körpersegmentkoordinaten einer manuellen Korrektur unterzogen und auf Gütemaßstäbe hin überprüft werden. In einem vierten Schritt erfolgte die Zeitnormierung der Bildsequenzen, um im fünften Schritt über ein multivariates Verarbeitungsverfahren ein Technikleitbild abzuleiten, das die wesentlichen Gemeinsamkeiten der untersuchten Schwimmerinnen und Schwimmer beinhaltete.

## 2.1 Markerloses Tracking von Körpersegmentkoordinaten in Einzelbildern

Im ersten Auswerteschritt wurde ein Detektionsalgorithmus aus dem Antragsforschungsprojekt AZ 072003/16-17 (*Vollautomatische zeitkontinuierliche Bestimmung intrazyklischer Phasengeschwindigkeiten im Strömungskanal mittels hochmoderner tiefer neuronaler Netze*) zur Bestimmung der für die Bewegungsanalyse wichtigsten Körpersegmentpositionen angepasst und implementiert. Das auf der Arbeit von He et al. (2017) basierende Auswertemodell umfasst die Detektion der Körpersegmente sowie die daran anschließende Schätzung der 2D-Gelenkkoordinaten. Dieses Auswerteverfahren entspricht dem aktuellen Forschungsstand zur menschlichen Posenschätzung. Darunter versteht man die Abschätzung von Körpersegmentkoordinaten einer bestimmten Körperhaltung. Die Pose entspricht dabei der durch die Koordinaten geschätzten Körperhaltung, die nicht exakt deckungsgleich mit der Körperhaltung in den Videos sein muss. Die hier eingesetzten neuronalen Netze wurden zuvor in den Antragsforschungsprojekten AZ 070602/13-14

sowie AZ 072003/16-17 mit Daten von Schwimmern und Schwimmerinnen im Schwimmkanal trainiert und getestet (Abb. 1). Dabei wurden sowohl von der Schwimmelage abhängige als auch von der Schwimmelage unabhängige Netze trainiert und für jede Schwimmelage jeweils das Beste ausgewählt.

## 2.2 Markerloses Tracking von Körpersegmentkoordinaten in Bildsequenzen

Das Ziel des zweiten Auswerteschrittes betraf die Erzeugung von Posensequenzen zu Videoaufzeichnungen der besten deutschen Schwimmerinnen und Schwimmer aus den vergangenen Jahren. Zu diesem Zweck wurden vom OSP Hamburg archivierte Videos aus dem Test- und Trainingsbetrieb zur Verfügung gestellt und diese zunächst auf ihre Verwertbarkeit überprüft. Von insgesamt 160 Videos waren 60 Videos nicht für die Weiterverarbeitung geeignet. Ein Teil dieser Videos zeigte keine brauchbare Kameraperspektive oder beinhaltete störende Ein- und Überblendungseffekte von anderen Kameras. Ein geringer Teil wurde zudem wegen fehlenden oder unvollständigen

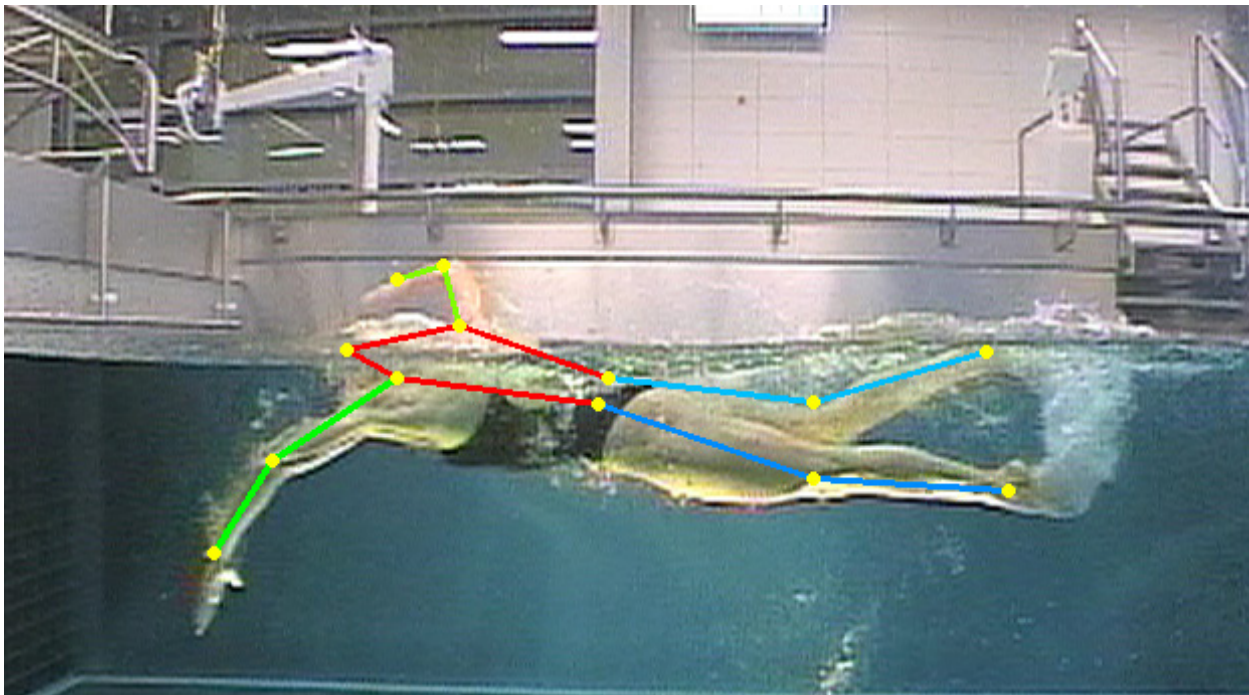


Abb. 1: Beispiel geschätzter Posen von Kraulschwimmern im Schwimmkanal in Leipzig, das System erkennt kontinuierlich und zuverlässig Posen, aus denen kinematische Parameter extrahiert werden können (Lienhart et al., 2014)

Metadaten (Name des Sportlers, Aufnahme-datum, Fließgeschwindigkeit) verworfen. Die verbleibenden 100 Videos zeigten mindestens einen vollständigen Schwimmzyklus und waren vollständig mit Metadaten annotiert. Die Qualität der berechneten Körpersegmentkoordinaten erwies sich über das komplette Videomaterial hinweg als sehr unterschiedlich. Während für Brust- und Schmetterlingsschwimmer gute qualitative Detektionsergebnisse erzielt wurden, waren viele der für die Schwimmlagen Rücken und Freistil erzeugten Koordinaten an bestimmten Stellen nicht brauchbar. Ein qualitativer Vergleich zwischen der durch die neuronalen Netze ermittelten Körpersegmentpositionen und den zugehörigen Videos zeigte in vielen Fällen deutliche Unterschiede.

Folgende Ursachen können zusammenfassend für die schlechten Detektionsergebnisse ausgemacht werden:

- Die Qualität der vom OSP Hamburg zur Verfügung gestellten Videos ist nicht mit den Videos für das zuvor erfolgte Training der neuronalen Netze vergleichbar. So waren insbesondere alle \*.avi Videos (50 % der Datenmenge) in einer rötlichen Falschfarbdarstellung gespeichert worden. Der Versuch einer Farbkorrektur führte nicht zu besseren Detektionsergebnissen. Zudem waren viele der nunmehr verwendeten 100 Videos im Gegensatz zu den für das Training der Neuronalen Netze herangezogenen Videos unterschiedlich ausgeleuchtet.
- Körperteile der Schwimmerinnen bzw. Schwimmer sind in einzelnen Abschnitten/Bildern der Videosequenzen verdeckt oder abgeschnitten.

### 2.3 Datenaufbereitung durch manuelle Digitalisierung

Für die Nutzung von neuronalen Netzen zur Detektion einer größeren Anzahl von Objekten werden im Normalfall repräsentative Stichproben dieser Objekte ausgewählt und für das Trai-

ning der Netze eingesetzt. Größere Unterschiede in den Merkmalen der zum Training verwendeten Objekte und den dort nicht einbezogenen Objekten führten bei Letzteren zu schlechteren Detektionsergebnissen. Da die zur Videoanalyse herangezogenen neuronalen Netze mit anderen Schwimmvideos trainiert wurden, war damit zu rechnen, dass die Detektionsergebnisse beeinträchtigt sein könnten. Insofern wurde zur Verbesserung der detektierten Posen ein am Augsburger Lehrstuhl für Multimedia und Maschinelles Sehen entwickeltes Optimierungsverfahren zur robusten Posenverbesserung (Zecha et al., 2018; Zecha, Einfalt & Lienhart, 2019) angewendet. Dieses führte auf ganze Bewegungszyklen bezogen zu besseren kontinuierlichen Posenschätzungen. Da in vielen Zyklen der aktuellen Analyse größere Detektionsfehler auftraten, war die vollautomatische Korrektur der Posensequenzen nicht ausreichend. Zur Erstellung eines Leitbildes werden lediglich zwei gut detektierte Zyklen pro Video benötigt. Daher wurde in Absprache zwischen den beteiligten Forschungsgruppen beschlossen, die jeweils am besten detektierten Zyklen pro Video manuell zu bestimmen und etwaige Detektionsfehler, sofern vorhanden, manuell zu beheben. Nach der manuellen Korrektur wurden die korrigierten Körperkoordinaten mit den unkorrigierten Werte aus dem markerlosen Erkennungsverfahren statistisch verglichen. Dabei zeigten sich abhängig vom Gelenk unterschiedliche Abweichungen zwischen beiden Datensätzen.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Ableitung von Technikleitbildern

Für das Schmetterlingschwimmen wurden 13 Videos von vier Männern und drei Frauen und für das Rückenschwimmen 14 Videos von vier Männern und vier Frauen herangezogen. Alle Schwimmer haben mindestens eine Teilnahme an Weltmeisterschaften im Erwachsenenbereich vorzuweisen und wurden mit ihrer relevanten Wettkampfgeschwindigkeit aufgezeichnet. Aus den Einzelposen der Schwimmerinnen und Schwimmer, welche sich zu einer zyklischen Schwimmbewegung zusammensetzen, wurden zwei Zyklen mit gleichbleibender Schwimmgeschwindigkeit selektiert.



Aufgrund unterschiedlicher Erhebungszeitpunkte lagen die Videos in 25 Hz (\*.avi Codec) und 29,97 Hz (\*.mp4 Codec) vor, sodass für die manuell nachbereiteten Koordinatendaten zunächst eine Zeitnormalisierung vorgenommen werden musste. Anschließend wurde für jeden einzelnen Schwimmer und jede einzelne Schwimmerin eine Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis (PCA)) durchgeführt. Die PCA bietet die Möglichkeit, Informationen zu komprimieren und auf wesentliche Merkmale zu reduzieren. Die im folgenden beschriebene Analyse der Segmentkoordinaten der zyklischen Schwimmbewegung orientiert sich am Vorgehen von Troje (2002) bei der Ermittlung von männlichen und weiblichen Gangmustern. Mithilfe einer ersten PCA sollten für jeden Schwimmer und jede Schwimmerin über die Einzelposen hinweg die Schwimmbewegungen in der jeweiligen Lage auf die markantesten Bewegungsmerkmale reduziert und relevante Technikkomponenten extrahiert werden. Dabei ergeben sich die in Abb. 2 für die beiden Schwimmlagen dargestellten fünf Hauptkomponenten, die aufsummiert 98 % der Gesamtvarianz der Posensequenzen aufklärt.

Da Schwimmen eine zyklische Bewegungsform ist, kann das zeitliche Verhalten der fünf Komponenten mittels einfacher Sinusfunktionen modelliert werden (Troje, 2002). Jede Sinusfunktion ist durch ihre Frequenz, ihre Amplitude und ihre Phase charakterisiert. Auf dieser Basis konnten für alle fünf Hauptkomponenten Funktionswerte abgeleitet werden, die das

zeitliche Verhalten der Bewegung im Mittel mit einer hohen Übereinstimmung widerspiegeln. Aufgrund dieser Funktionen bestand die Möglichkeit, einen Vektor zu kreieren, der Informationen beinhaltet

- › zur Lage/Position des Schwimmers bzw. der Schwimmerin,
- › zur individuellen Bewegungstechnik und
- › zu den dazugehörigen zeitlichen Mustern.

Das Besondere dieser Darstellung ist, dass sie verwandelbar ist. So lässt sich eine „mittlere Schwimmtechnik“ ableiten, welche auf den individuellen Bewegungsmustern basiert und die größtmögliche Gemeinsamkeit zwischen Topschwimmer bzw. -schwimmerinnen charakterisiert (Tab.1, Seite 5).

Im zweiten Schritt der Technikanalyse sollte die Matrixstruktur dafür genutzt werden, weitere Informationen aus den Bewegungstechniken zu filtern. Hierzu wurde eine weitere Hauptkomponentenanalyse angewendet. Dabei gingen die normalisierten Komponenten der Schwimmerinnen und Schwimmer in die Faktorenanalyse ein, da eine PCA äußerst sensitiv auf Skalierungen reagiert. Auf Basis der mittleren Bewegungstechnik konnten die wichtigsten Kriterien für Unterschiede in der Bewegungstechnik identifiziert werden. Durch die Erstellung der Komponenten und Ableitung der Technikmerkmale konnten klassenübergreifende Unterschiede

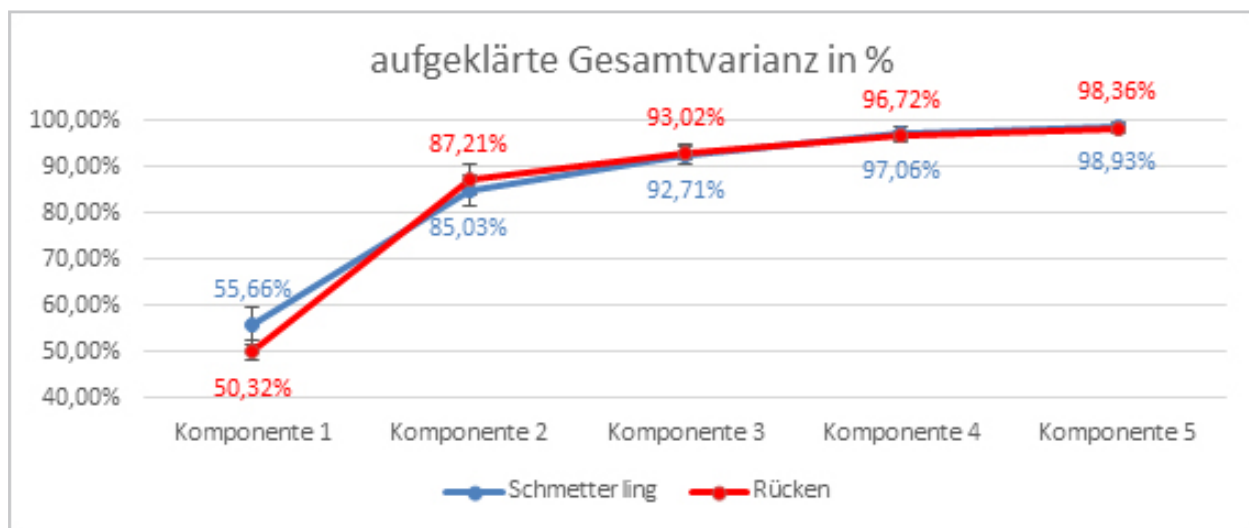


Abb 2: Aufgeklärte aufsummierte Gesamtvarianz in Abhängigkeit der eingehenden Hauptkomponenten in %

Tab.1: Ableitung der Hauptkomponenten aus der Faktorenanalyse auf Basis der Schwimmart Schmetterling

Schmetterling	1	2	3	4	5
aufgeklärte Varianz	56 %	29 %	8 %	4 %	2 %
aufsummierte Gesamtvarianz	56 %	85 %	93 %	97 %	99 %
Mittelwert des Eigenwertes der Hauptkomponente	5,22	2,81	0,73	0,41	0,18
Komponenten in Anlehnung an die Technikmerkmale von Maglischo (1993)	Armstroke Entry and Stretch, Outsweep and Catch Phase	Body Undulations	Breathing & Armstroke Insweep	"Armstroke Release and Recovery"	"Armstroke Upsweep"

zwischen verschiedenen Merkmalsausprägungen in der Schwimmtechnik erstellt werden. Mittels einer linearen Diskriminanzanalyse konnte auf signifikante Unterscheidungen der oben abgeleiteten Technikmerkmale (Tab.1) geprüft und dafür geeignete oder ungeeignete Merkmale benannt werden.

### 3.2 Entwicklung digitale Technikleitbilder

In Abb. 3 wird erstmals der Unterschied zwischen der gemittelten Bewegungstechnik ehemaliger Topschwimmer (die errechneten Gelenkpunkte werden in das Video durch rote Punkte eingefügt) in der Schwimmart Rücken im Vergleich zu einem aktuellen Toprückenschwimmer dargestellt.

Dabei zeigt sich eine Übereinstimmung von über 95 %, wobei insbesondere in der Armaktion Abweichungen zu finden sind. Diese Bildreihe stammt aus einem Video, welches neben den Informationen zum räumlichen Verlauf auch Informationen zum zeitlichen Verlauf beinhaltet. Für die Unterscheidung zwischen Männern und Frauen in der Schwimmart Rücken kann mit einer Genauigkeit von 73,3 % das Geschlecht des Schwimmers bzw. der Schwimmerin aus der ersten Komponente der PCA über die Topschwimmer und -schwimmerinnen abgeleitet werden. Dabei wurden jeweils zwei Männer und zwei Frauen aus einer Gruppe von 15 Videos falsch klassifiziert. Dies ist insofern von Interesse, als bislang weder in der deutschen noch in der internationalen Fachliteratur zum Schwim-

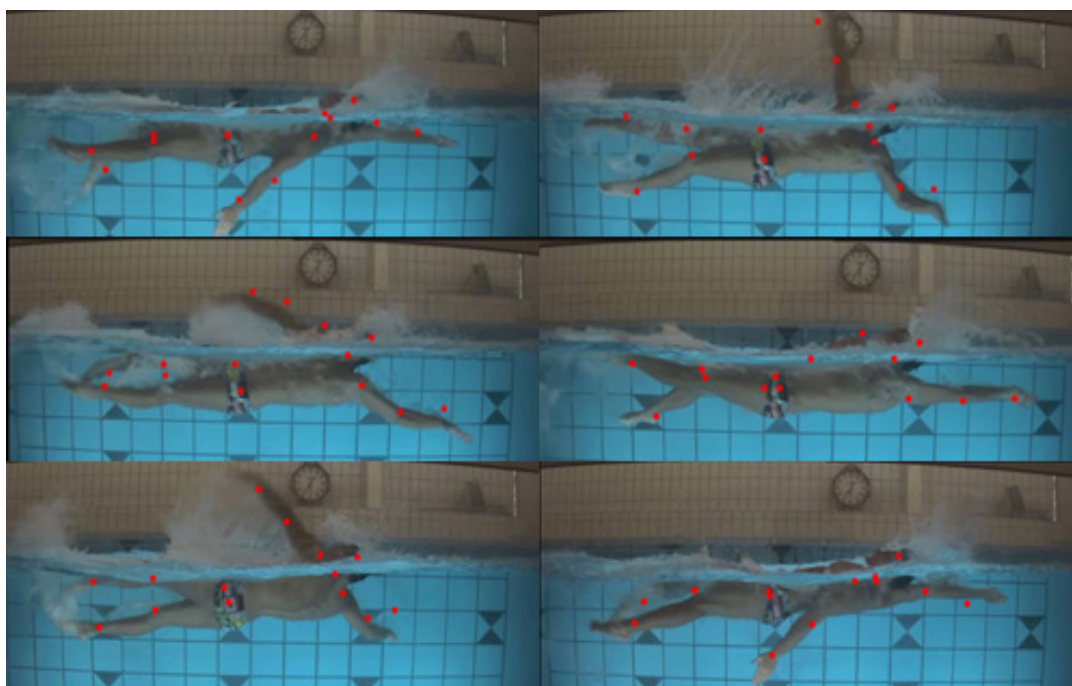


Abb. 3: Überlagerung des Technikleitbildes für die Schwimmart Rücken (männlich/100 m) auf einen Topschwimmer bei einer Schwimmgeschwindigkeit von 1,80m/s



men geschlechterdifferenzierte Technikleitbilder im Schwimmen vorliegen. Überträgt man nun die geschaffenen technischen Möglichkeiten der linearen Diskriminanzanalyse auf eine Differenzierung in Streckenlängen (und den damit einhergehenden Schwimmgeschwindigkeiten) zwischen 100 m und 200 m, so kann mit einer 92,3 % Wahrscheinlichkeit aus den Technikkomponenten der Bewegungsmerkmale die Streckenlänge abgeleitet werden und das geschlechterübergreifend. Somit können nun erstmals Bewegungstechniken in Abhängigkeit von Schwimmgeschwindigkeit und Geschlecht auf Basis deutscher Spitzenschwimmer und -schwimmerinnen bestimmt werden. Damit geht die Möglichkeit einher, streckenlängenspezifische und geschlechterspezifische Technikmerkmale für die Schwimmerinnen und Schwimmer sichtbar zu machen und in einem Videoformat darzustellen. Anknüpfend können zeitliche, räumliche und dynamische Merkmale abgeleitet werden.

## 4 Diskussion

In diesem Projekt wurde exemplarisch gezeigt, dass durch die Nutzung archivierter Videos von ehemaligen Topschwimmern in Verbindung mit dem Einsatz neuer technischer Verfahren neues Wissen generiert werden kann. So erhält man durch die Ableitung der Bewegungstechnik aus vergangenen Zeiten und dem Vergleich mit aktuellen Topschwimmern bzw. -schwimmerinnen eine Rückmeldung über mögliche Bewegungsfehler, aber auch ein Feedback zur Weiterentwicklung in den Bewegungstechniken.

Dieses Projekt kann folgende Möglichkeiten für die Betreuung der Nationalmannschaft erschließen:

- › Diagnostik und Veranschaulichung des Bewegungsablaufes auf Basis eines „digitalen, adaptiven“ Technikleitbildes im Rahmen sämtlicher Trainings- und Leistungsdiagnostiklehrgänge des DSV
- › Erfassung der Abweichung der individuellen Bewegungstechnik vom Leitbild in Abhängigkeit von der Zielstreckenlänge und Schwimmart
- › Verbesserung des Expertenwissens durch Schulung der Trainer und Trainerinnen
- › Förderung der Nachwuchssichtung und der Talentdiagnostik
- › Fortbildungen über angepasste Technikleitbilder im Rahmen der A-, B- und C-Trainer Ausbildung im Schwimmen

Auf Basis der bisher geleisteten Arbeit muss das Ziel nunmehr darin bestehen, die Grundlage für die neu erstellten Technikleitbilder sukzessiv zu erweitern. Für unsere Auswertung standen leider keine Videos von Schwimmerinnen und Schwimmern aus dem IAT Leipzig zur Verfügung, womit eine größere Stichprobe möglich gewesen wäre. Dabei hängt die Qualität der Technikleitbilder insbesondere auch von einer systematischen Einspeisung neuer aktueller Videos ab.

## 5 Literatur

- Federolf, P., Reid, R., Gilgien, M., Haugen, P., & Smith, G. (2014). The application of principal component analysis to quantify technique in sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(3), 491-499.
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask r-cnn. *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (2961-2969).
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. UTB für Wissenschaft: Vol. 2099. Limpert.
- Karlsson, D., & Lundberg, A. (1994). Accuracy estimation of kinematic data derived from bone anchored external markers. *Proceedings of the 3rd International Symposium on 3D Analysis of Human Movement* (Vol. 3, pp. 27-30). Stockholm, Sweden.
- Knoll, S. Deutsche Lehren aus Schwimm-WM: *Von England schwimmen lernen*. <http://www.faz.net/aktuell/sport/mehr-sport/deutsche-lehren-aus-schwimm-wm-von-england-schwimmen-lernen-15128396.html>
- Leardini, A., Chiari, L., Della Croce, U., & Cappozzo, A. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation. *Gait & posture*, 21(2), 212-225. doi:10.1016/j.gaitpost.2004.05.002
- Lienhart, R., Küchler, J., & Zecha, D. (2014). *Vollautomatische zeitkontinuierliche Bestimmung intrazyklischer Phasengeschwindigkeiten von Schwimmern im Schwimmkanal einschließlich Zugfrequenz und Zuglänge*. Augsburg. BISp Website: [https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Projektlisten/Projekte\\_2014/Prozessbegl\\_Bewegungswiss\\_2014/Lienhart\\_070602\\_13\\_14.html](https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Projektlisten/Projekte_2014/Prozessbegl_Bewegungswiss_2014/Lienhart_070602_13_14.html)
- Troje, N. F. (2002). Decomposing biological motion: a framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision*, 2(5), 371-387. doi:10.1167/2.5.2
- Zecha, D., Einfalt, M., Eggert, C., & Lienhart, R. (2018). Kinematic Pose Rectification for Performance Analysis and Retrieval in Sports. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (1791-1799).
- Zecha, D., Einfalt, M., & Lienhart, R. (2019). Refining Joint Locations for Human Pose Tracking in Sports Videos. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (pp. 0-0).



# Videotrack2D/3D

## Softwaresystem zur optischen Messung von Bewegungsabläufen

(AZ 072042/18-19)

Ulrich Schwanecke (Projektleitung), Fabian Stahl & Maxim Dolgich

Hochschule Rhein-Main

### 1 Problem

Sportschützinnen und -schützen benötigen ein hohes Maß an Präzision, da sie in kürzester Zeit Zielscheiben anvisieren müssen und gleichzeitig den Rückstoß bei einer Schussabgabe absorbieren müssen. Um mehr Sicherheit zu erlangen, müssen feste Abläufe deshalb immer wieder trainiert werden. Die Leistungsdiagnostik erlaubt dabei eine genauere Analyse der Bewegungsabläufe. Mit ihrer Hilfe können kleine Abweichungen erkannt werden und zielgerichtete Optimierungen vorgenommen werden.

Das aktuelle System basiert auf einem Beschleunigungsmesser, der an dem Sportgerät über einen Draht angebracht wird. Das Gegengewicht, das an dem Draht angebracht ist, wird von den Sportlerinnen und Sportlern als störend empfunden und beeinträchtigt damit ihren Bewegungsablauf. Aus diesem Grund wurde ein neues System entwickelt, das den Bewegungsablauf mittels optischer Vermessungen aufzeichnen kann. Das System ist flexibel gestaltet und

funktioniert sowohl mit einer herkömmlichen USB-Webcam als auch mit qualitativ hochwertigeren Industriekameras. Im Vergleich zu High-Speed Geräten sind USB-Webcams günstiger, was vor allem den Gebrauch in kleinen Vereinen erleichtert.

### 2 Methode

Das Ziel des Projekts war es, ein auf Videometrie basiertes Bewegungsanalysesystem zu entwickeln. Das Sportgerät wird hierzu mit Markern versehen, die so angebracht werden, dass sie den Schützen bzw. die Schützin nicht behindern (zum Beispiel wie in Abb.1). Das Kamerabild wird gezielt auf Marker durchsucht. Wenn sie gefunden werden lässt sich aus den Pixeldaten mit Hilfe einer kalibrierten Kamera die 3D-Pose des Sportgeräts bestimmen.

Aus ihrer Änderung über die Zeit lassen sich Geschwindigkeit und Beschleunigungsdaten berechnen.

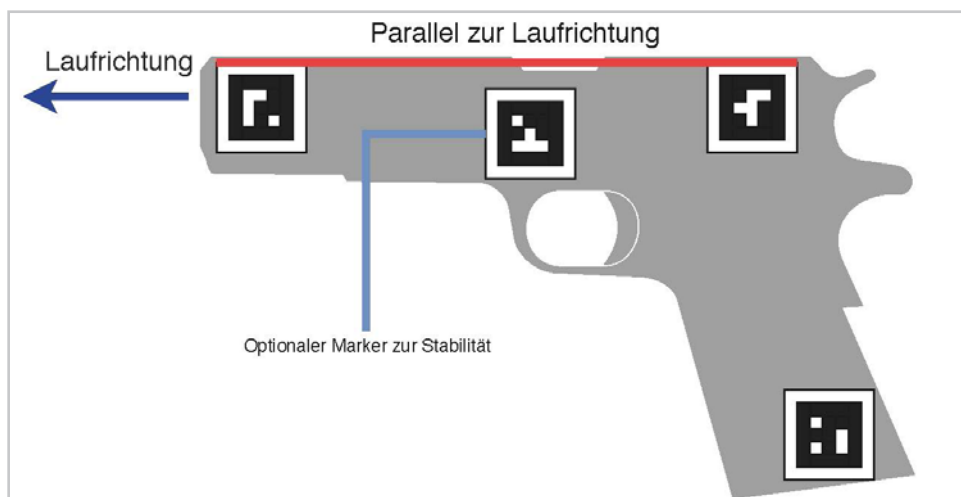


Abb. 1: Anbringung der Marker auf dem Sportgerät

Zur Erkennung der Marker wird die *ArUco*<sup>1</sup> Bibliothek verwendet. Sie zeichnet sich besonders durch ihre hohe Erkennungszuverlässigkeit aus und bietet eine Routine, um die Marker den eigenen Bedürfnissen anzupassen. Es wurden Marker verwendet, die möglichst große Kacheln haben, um eine Erkennung auch bei einer weit entfernten Kamera zu ermöglichen.

### 3 Ergebnisse

Die Verfolgung der Marker und die Bestimmung der Pose wurde implementiert und getestet. Abb. 2 zeigt den gemessenen Bewegungsablauf einer Testperson, die das Sportgerät hebt und wieder senkt. Die Trajektorie wird aus den errechneten 3D-Messpunkten als Ausgleichskurve ermittelt.

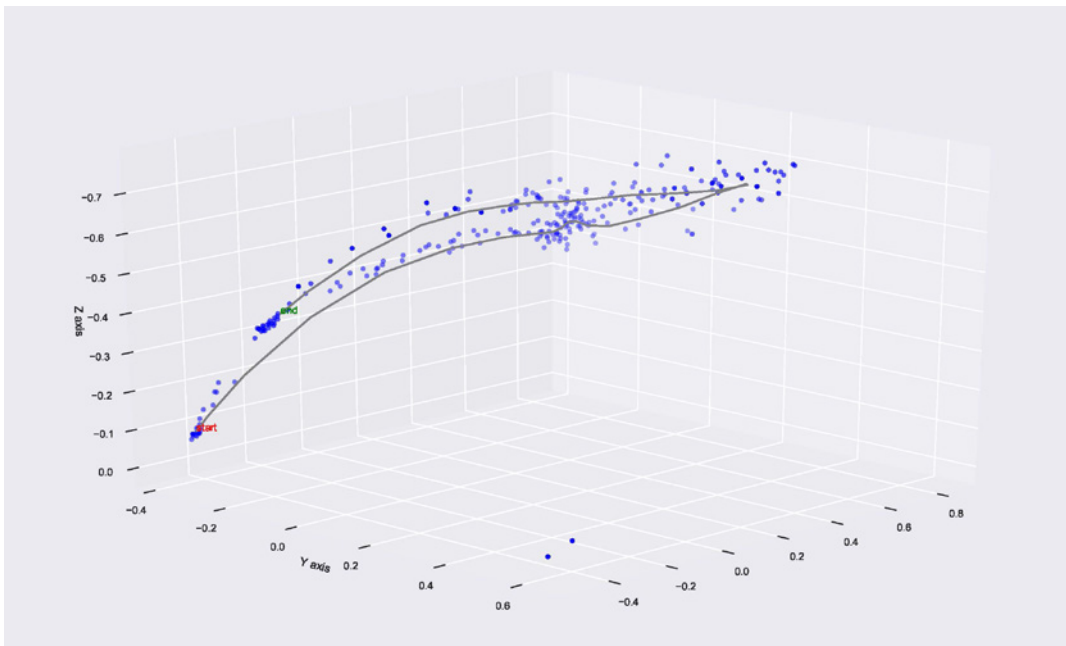


Abb. 2: Ermittelte Messpunkte mit daraus als Ausgleichskurve errechneter Trajektorie.

Zur einfacheren Anwendung wurde außerdem eine Benutzeroberfläche gebaut, die sich aus vier Kacheln zusammensetzt (siehe Abb. 3, Seite 3). Per Doppelklick auf eine der Kacheln kann diese in den Vollbildmodus gebracht werden, um eine nähere Betrachtung zu ermöglichen.

Über ein angeschlossenes Mikrofon gibt es zusätzlich die Möglichkeit, Schüsse zu registrieren und diese ebenfalls im Diagramm darzustellen. Die Schuss- und Positionsdaten werden mit Hilfe einer Exportfunktion als CSV-Datei zur Verfügung gestellt. Außerdem wird ein Mitschnitt des Videos als AVI-Datei gespeichert und kann so zu einem späteren Zeitpunkt wieder in das Projekt geladen werden. Die Oberfläche erlaubt das Verändern von einigen wichtigen

<sup>1</sup>ArUco Library in OpenCV



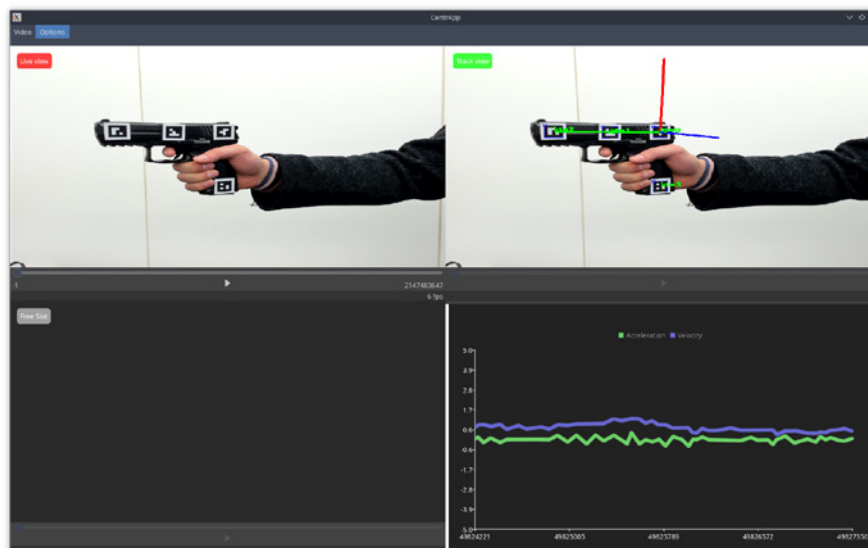


Abb. 3: Grafische Oberfläche des Systems.

Video-, Audio- und Exportoptionen, wie zum Beispiel der Belichtungszeit, dem Fokus oder dem akustischen Schwellwert zur Erkennung von Schüssen.

## 4 Diskussion

Je nach Bildgröße und Aufnahmelänge variiert die Dauer für die Auswertung einer kompletten Bewegungssequenz von ein paar Sekunden bis hin zu mehreren Minuten. Für die Anwendung in der Leistungsdiagnostik ist es allerdings notwendig, dass Feedback innerhalb von wenigen Sekunden gegeben werden kann. Zukünftige Forschung könnte versuchen, das Verfahren zu beschleunigen, zum Beispiel indem nur gezielte Bildbereiche nach den Markern durchsucht werden.

Für eine präzise Messung ist es außerdem wichtig, dass die Marker in möglichst vielen Bildern erkannt werden. Um scharfe Aufnahmen zu erzielen, kann zum Beispiel die Belichtungszeit verringert werden.

Außerdem ist es wichtig, dass der Fokus passend gewählt wird und automatische Anpassungen der Kamera bezüglich Farbe, Kontrast und Belichtungszeit unterbunden werden. Reguläre Consumer-Webcams sind jedoch oft nicht für dieses Maß an Steuerbarkeit ausgelegt, sodass es schwer ist, eine sinnvolle Tarierung für alle WebCam-Typen bereit zu stellen. Deutlich flexibler ist man hier mit Industriekameras. Es wurde daher auch die Aufnahme mittels Industriekameras ermöglicht. Für sie existieren zumeist zuverlässige und eigens dafür entwickelte Schnittstellen, sodass auch stabile Aufnahmen mit deutlich höherer Bildrate möglich werden. Dies erlaubt zwar schärfere Aufnahmen, hat aber zur Folge, dass das Bild durch die kürzere Belichtungszeit dunkler wird. Hier muss evtl. durch eine entsprechende Raumbeleuchtung entgegen gewirkt werden, wobei darauf zu achten ist, dass die Testperson nicht geblendet wird. Eine Lösung, die weitgehend unabhängig von der Beleuchtungssituation ist, ließe sich mit Hilfe von aktiven Infrarot-Markern realisieren.



# Entwicklung und Evaluation eines „Wireless Sensor Moduls“ für die Pistolendisziplinen. Teilprojekt II: Waffenbox und Softwareapplikation.

(AZ 072043/18-19)

*Hannah Steingrebe & Thorsten Stein (Projektleitung)*

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Sport und Sportwissenschaft (IfSS), BioMotion Center

## 1 Problemstellung

Die regelmäßige Diagnostik der Leistungsfähigkeit nimmt im Prozess der Trainingssteuerung eine wichtige Rolle ein. Dabei sollte es das Ziel der Leistungsdiagnostik sein, den aktuellen Leistungszustand rückwirkungsfrei und sportartspezifisch zu erfassen (Schnabel, Harre & Krug, 2008). Im Schützensport, der durch sehr schnelle und kleinräumige Bewegungen charakterisiert ist, kommt dabei der apparativ gestützten Leistungsdiagnostik zur Detektion von kleinsten, visuell nur schwer wahrnehmbaren jedoch leistungsbestimmenden Abweichungen eine besondere Bedeutung zu. Studien zeigen, dass vor allem die Arm- bzw. Waffenbewegung sowie die Druckapplikation am Zügel bei Schussauslösung großen Einfluss auf die Endleistung im Pistolenschießen haben (Pyatkov et al., 2017; Mon et al., 2015), weshalb ein in der Leistungsdiagnostik eingesetztes Messsystem die präzise Erfassung dieser Parameter erlauben sollte. Der Deutsche Schützenbund (DSB) verfügt seit 1993 über ein solches Messsystem (RASS System). Das kabelgebundene System ist jedoch stark rückwirkungsbehaftet und beeinflusst die sportliche Technik dadurch negativ, wodurch die Situation während der Leistungsdiagnostik nur unzureichend jener im Wettkampf entspricht.

Vor diesem Hintergrund wurde in einem ersten Service-Forschungsprojekt (TP I) zunächst die A/D Wandler Einheit („Datenbox“) des Messsystems erneuert und eine passende Softwareapplikation entwickelt. Nach der Neugestaltung der Datenbox bleibt jedoch weiterhin die Problematik der stark rückwirkungsbehafteten Sensorik an der Waffe bestehen. In der Literatur finden

sich ähnliche Messsysteme vor allem im militärischen Bereich (Goldberg et al., 2014) sowie im Sport beim Biathlon (Nitzsche, 2000). Zur Erfassung der Pistolen- oder Gewehrbewegung werden dabei am häufigsten kabellose optoelektronische Systeme wie das „Scatt Shooter Training System“ oder „Noptel ST 2000 Sport“ eingesetzt (Ball, Best & Wrigley, 2003; Ihalainen et al., 2017). Bei diesen kommerziell verfügbaren Systemen besteht jedoch keine Möglichkeit, zusätzliche Sensorik einzubinden. Das Scatt System verfügt als einziges System über die Möglichkeit, mittels eines instrumentierten Züngels (Scatt Trigger Sensor) die Abzugskraft zu erfassen. Problematisch hierbei ist, dass die meisten Athleten im Hochleistungsschützensport individuell angepasste Zügel verwenden, deren Integration jedoch nicht möglich ist. Eine relativ neue Methode zur Erfassung von Waffenbewegung und -geschwindigkeit stellt die Nutzung von Beschleunigungssensoren dar (Koptuyug & Ainegren, 2015; Davidson et al., 2016). Diese haben den Vorteil einer sehr kleinen und leichten Bauweise. Jedoch müssen die genutzten Sensoren über eine gute Schockresistenz verfügen, um die hohen Beschleunigungen während der Schussauslösung im Bereich von 8G (Koptuyug & Ainegren, 2015) tolerieren zu können, und gleichzeitig eine feingranulare Auflösung der Waffenbewegung vor und nach der Schussauslösung erlauben.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass der DSB mit dem RASS System über ein mehr als 25 Jahre altes System zur Erfassung des Druckverlaufs und der Waffenbewegung während des Schussvorgangs verfügt. Die Sensortechnik des Systems ist jedoch veraltet und dadurch stark rückwirkungsbehaftet. Aufbau-

end auf den Ergebnissen aus TP I hat dieses Service-Forschungsprojekt (TP II) daher zum Ziel, die waffenseitige Hardware („Waffenbox“) neu aufzusetzen und die Softwareapplikation an die neue Sensorik anzupassen und zu erweitern.

## 2 Projektziele

Zu Projektbeginn wurden zunächst gemeinsam mit dem DSB die nachfolgenden Ziele definiert:

- Das zu entwickelnde Messsystem soll die vom DSB und in der wissenschaftlichen Literatur als relevant identifizierten kinematischen (Bewegung der Waffe & Zeitmessung) und dynamischen Messgrößen (Kraft-/Druckverlaufsmessung beim Auslösen) sensorisch erfassen können.
- Die an der Waffe angebrachten Sensoren sollen eine kabellose Übertragung der Messdaten ermöglichen, um die Rückwirkung auf den Sportler zu minimieren.
- Die Darstellung und Auswertung der Messdaten soll Trainern, Leistungsdiagnostikern und Athleten im Trainingsprozess unmittelbar zu Verfügung stehen.
- Die Hardwarekomponenten sollen in einer Form entwickelt und der Entwicklungsprozess so dokumentiert werden, dass eine Vervielfältigung des Messsystems in kleiner Stückzahl möglich ist, damit der DSB das Messsystem an verschiedenen Stützpunkten einsetzen kann.

## 3 Entwicklungsprozess und Ergebnisse

Während der Projektlaufzeit wurde kontinuierlich an der Weiterentwicklung der Datenbox und der Softwareapplikation sowie der Neuentwicklung der Waffenbox und ihrer Sensorik gearbeitet. In kurzen Entwicklungszyklen wurden dem Praxispartner DSB Prototypen der entwickelten

Bauteile zur Verfügung gestellt und durch den DSB in der Praxis evaluiert. Bei einer gemeinsamen Testmessung wurde die Funktionalität der Hardwarekomponenten insbesondere des instrumentierten Messzüngels und der Beschleunigungssensoren unter Realbedingungen evaluiert und weiterhin ein Modelldatensatz eines Kaderathleten aufgezeichnet, auf dessen Basis die Weiterentwicklung der Softwareapplikation stattfand.

### 3.1 Datenbox

Die im Rahmen des TP I entwickelte Datenbox wurde im Verlauf des TP II wie folgt modifiziert:

- Entfernung des 8-Kanal Funk-schalt-systems. Die kabellose Übertragung des Startsignals über die Funkstrecke führt zu einer konstanten Zeitverzögerung von 300 ms bis zum Einlaufen des Startsignals in der Datenbox. Die softwareseitige Verrechnung dieses Delays ist zwar möglich, macht jedoch eine Pufferung aller Daten notwendig. Da dies zu Komplikationen bei der Zeitsynchronisation mit anderen Messsystemen führen kann, wurde die Funkstrecke in Absprache mit dem Praxispartner DSB wieder durch eine kabelgebundene Übertragung des Startsignals ersetzt.
- Erweiterung der Datenbox um eine externe Empfangseinheit für die Waffenbox aufgrund der Nutzung eines optischen Signals für die Datenübertragung von Waffen- zu Datenbox (vgl. Kap. Waffenbox). Dies erlaubt das Aufstellen der Datenbox in Rechner-nähe sowie die Platzierung des Waffenbox-Empfängers in unmittelbarer Nähe zur Waffenbox.

Die entwickelte Datenbox wurde weiterhin dupliziert, um die simultane Weiterentwicklung sowie Evaluation des Systems bei Lehrgängen des DSB zu ermöglichen.

### 3.2 Startsignal-Sensor

Die Einführung einer neuen Form von Ampelanlagen auf vom DSB im Rahmen der Leistungsdiagnostik genutzten Schießanlagen machte eine Neuentwicklung des Startsignal-Sensors notwendig. Bei dieser Anlagenart werden, im Gegensatz zu älteren Anlagen, das grüne Start- und rote Stopp-Signal nicht über zwei separate Leuchten angezeigt, sondern über eine mit roten und grünen LED-Dioden versehene Kombinations-Anzeige dargestellt. Daher wurden nun zusätzlich zwei Fotosensoren integriert, die spezifisch grünes bzw. rotes Licht erfassen können, wodurch bei den LED basierten Ampelanlagen zwischen Start- und Stopp-Signal unterschieden werden kann.

### 3.3 Waffenbox

Bei der Entwicklung der Waffenbox wurde vor allem eine leichte und kleine Bauweise aller Komponenten angestrebt, die zusätzlich die individualisierte Einstellung der Waffe nicht behindern. Zur Erfassung der Waffenbewegung und -geschwindigkeit wurden Beschleunigungssensoren verbaut. Diese sollen langfristig auch für die Detektion der Schussauslösung genutzt werden, um das Schussmikrofon zu ersetzen.

Weiterhin wurde der bisher zur Erfassung des Abzugsdrucks auf der Zügeloberfläche

genutzte FSR-Sensor durch ein instrumentiertes Messzüngel ersetzt. Hierdurch sollte zukünftig auch die absolute Messung der Abzugskraft möglich werden. Um die Nutzung individuell angepasster Zügel zu ermöglichen, wurde nicht der Trigger selbst, sondern eine Rahmenkonstruktion mit Dehnungsmessstreifen (DMS) instrumentiert (vgl. Abb. 1). Bei Evaluationsmessungen ergaben sich dabei folgende Problemstellungen:

- Zu große Baugröße der Trägereinheit verhindert die individuelle Einstellung der Zügelposition in anterior/posteriorer Richtung.
- Der resultierende Kraftwert ist abhängig vom Ort der Kraftapplikation. Dabei sind die Messwerte vor allem bei seitlicher Druckapplikation, wie sie beim sogenannten „Rollen“ stattfindet, deutlich geringer.
- Bei Entlastung des Züngels fällt das Messsignal nicht auf den Ausgangswert zurück, und es kommt zu einem Nulllinienversatz.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde das instrumentierte Zügel schrittweise weiterentwickelt (vgl. Abb. 1C-1E).



Abb. 1: Entwicklungsverlauf des instrumentierten Züngels. A: Herkömmliche Schnellfeuerpistole (Pardini); B: Erster Prototyp verbaut in Schnellfeuerpistole, Position des Dehnungsmessstreifen in Rot; C-E: Weiterentwicklung des Züngels mit abnehmender Baugröße sowie zweiseitiger DMS-Platzierung.



Durch Repositionierung der DMS sowie Modifikation der Rahmenkonstruktion konnte die Baugröße verringert sowie der Nulldrift korrigiert werden. Aktuell konnte jedoch noch keine abschließende Lösung hinsichtlich der Nicht-Linearität der Messwerte abhängig vom Ort der Kraftapplikation gefunden werden.

Die entwickelte Waffenbox beinhaltet einen 3D-Beschleunigungssensor mit 8G Schockresistenz, einen 8-Kanal-analogen-Multiplexer (Texas Instruments, CD4051) sowie einen Infrarot-Sender. Alle parallel einlaufenden Kanäle werden zunächst über den Multiplexer in ein serielles Signal gewandelt und anschließend via Infrarot-Strecke an den Waffenbox-Empfänger übertragen. Dort wird das Signal wieder in die ursprünglichen 8-Eingangssignale aufgesplittet. Hierfür beinhaltet ein Kanal ein konstantes Sync-Signal, das die korrekte Zuordnung der Datenpunkte zu den Eingangskanälen ermöglicht. Die Nutzung von Infrarot zur Signalübertragung ermöglicht die gewünschte geringe Baugröße des Systems. Jedoch ist für eine störfreie Übertragung der Daten die Platzierung des Waffenbox-Empfängers in Sichtweite zur Waffenbox nötig. Aus diesem Grund wurde der Waffenbox-Empfänger nicht in die Datenbox integriert, sondern ist lediglich über eine 16-polige Steckverbindung an diese angeschlossen.

Aufbauend auf den Entwicklungen aus dem TP I wurde die Softwareapplikation im Verlauf des TP II unter anderem in folgenden Punkten weiterentwickelt:

- › Verstärkte Automatisierung der Mess-Funktion. Nach Starten der Messung werden die einlaufenden Rohsignale für einen individuell einstellbaren Zeitraum gepuffert. Ab Detektion des Startsignals werden die Daten für eine disziplinspezifische Dauer (bei Schnellfeuerpistole z. B. 4, 6 oder 8 Sekunden) sowie zusätzlich für eine individuell einstellbare Nachlaufzeit aufgezeichnet und danach die Messung automatisch gestoppt. Hierdurch ist es möglich, das Athletenverhalten auch

vor und nach der eigentlichen Schusshandlung zu erfassen und somit das Diagnosepotenzial des Systems zu erweitern (vgl. Abb. 2, Seite 5).

- › Modifikation in der Vorverarbeitung der Bewegungsgeschwindigkeit hinsichtlich einer Herabskalierung der Amplitude für die Dauer der Auftaktbewegung. Dies ist notwendig, da die Auftaktbewegung in Relation zu den sehr kleinräumigen Bewegungen beim Übergang zwischen zwei Scheiben relativ großräumig und schnell erfolgt. Eine absolute Skalierung der y-Achse auf den während der Auftaktbewegung gemessenen Maximalwert führt zu einer unzureichend detaillierten Darstellung relevanter Waffenbewegungen zwischen den Schüssen.
- › Implementierung eines Multi-Window-Konzepts, das die simultane Darstellung mehrerer Funktionen in einzelnen, individuell zusammenstellbaren und skalierbaren Fenstern ermöglicht.

## 4 Diskussion

Mit dem Abschluss des Service-Forschungsprojekts konnte ein Messsystem entwickelt werden, das die Erfassung und kabellose Übertragung leistungsbestimmender Parameter in der Leistungsdiagnostik der Pistolendisziplinen des DSB ermöglicht. Durch die Entwicklung und Implementierung des Systems konnte die Rückwirkung während der Leistungsdiagnostik reduziert und dadurch die Aussagekraft der erhobenen Leistungsparameter verbessert werden. Die Neuentwicklung der A/D-Wandler-Einheit sowie der Softwareapplikation erlaubt nun die Nutzung des Messsystems in Verbindung mit modernen Rechnersystemen, wodurch die Problematik der Störanfälligkeit des alten RASS System überwunden werden konnte.

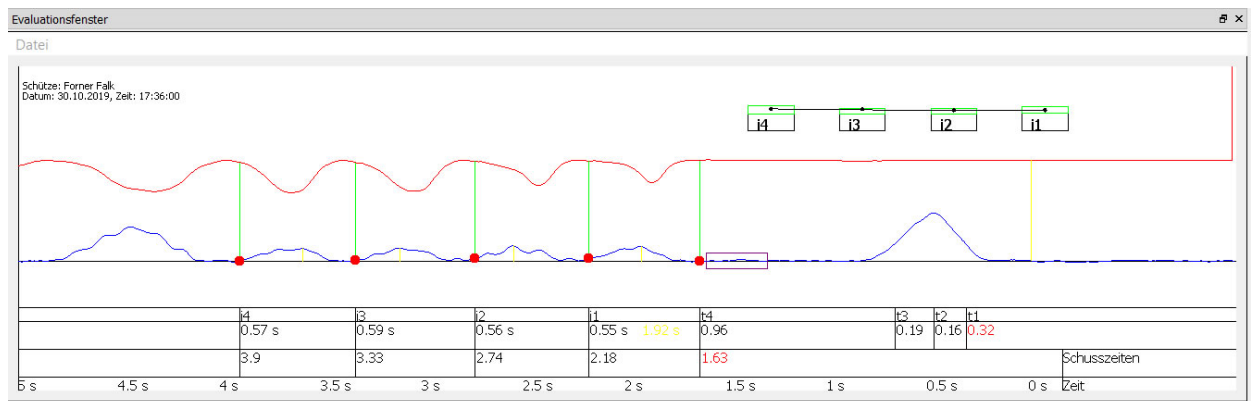


Abb. 2: Auswertebildschirm für die Disziplin Schnellfeuerpistole.

Trotz der bisher geleisteten Entwicklungsarbeit konnten aufgrund der komplexen messtechnischen Anforderungen des Schützensports bisher nicht für alle vom DSB gewünschten Neuentwicklungen zufriedenstellende Lösungen gefunden werden. Im Rahmen gemeinsamer zukünftiger Entwicklungsarbeiten werden daher folgende Punkte im Fokus stehen:

- (1) Optimierung des Algorithmus zur Berechnung der Waffenbewegung auf Basis der verbauten Beschleunigungssensoren;
- (2) Weiterentwicklung des instrumentierten Züngels, sodass eine valide Erfassung reeller Kraftwerte möglich ist;
- (3) Integration weiterer Datenverarbeitungs- und Analyseroutinen für die Disziplinen Luftpistole sowie Sportpistole Präzision/Duell.

Im Projektverlauf ergaben sich noch weitere Entwicklungspotenziale wie beispielsweise die ergänzende Integration von Gyroskop-Sensoren zur Erfassung der Waffenneigung oder die simultane Aufnahme von Videodaten im Messsystem. Aktuell befindet sich der DSB im Aufbau eines neuen Messplatzes zur Leistungsdiagnostik für die beiden Disziplingruppen Gewehr und Pistole, in den das entwickelte System integriert werden soll. In diesem Zuge sollte zukünftig evaluiert werden, in wie weit es bei der optischen Übertragung des Messsignals zwischen Waffen- und Datenbox zu Interferenzen mit anderen optischen Messsystemen wie z. B. einem infrarotbasierten Motion Capture System oder dem Zielwegesystem (Scatt) kommt.

## 5 Literatur

- Ball, K. A., Best, R. J. & Wrigley, T. V. (2003). Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters. Inter- and intra-individual analysis. *Journal of sports sciences*, 21 (7), 559-566.
- Davidson, S. P., Cain, S. M., McGinnis, R. S., Vitali, R. R., Perkins, N. C. & McLean, S. G. (2016). Quantifying warfighter performance in a target acquisition and aiming task using wireless inertial sensors. *Applied ergonomics*, 56, 27-33.
- Goldberg, B., Amburn, C., Brawner, K. & Westphal, M. (2014). Developing Models of Expert Performance for Support in an Adaptive Marksmanship Trainer. In *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC) 2014* (Paper No. 14214).
- Ihalainen, S., Mononen, K., Linnamo, V. & Kuitunen, S. (2017). Which technical factors explain competition performance in air rifle shooting? *International journal of sports science & coaching*, 13 (1), 78-85.
- Koptyug, A. & Ainegren, M. (2015). Experimental Measurement of Rifle Dynamics during the Range Shooting of Biathlon Weapons. *Procedia engineering*, 112, 349-354.
- Mon, D., Zakyntinaki, M., Cordente, C., Antón, A., Rodríguez, B. & López Jiménez, D. (2015). Finger Flexor Force Influences Performance in Senior Male Air Pistol Olympic Shooting. *PLoS ONE*, 10 (6): e0129862. 5
- Nitzsche, K. (2000). Entwicklung eines Messplatzes zur Objektivierung der Biathlonschießleistung. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch 2000* (S. 161-172). SPORT und BUCH Strauß.
- Pyatkov, V.T., Bilinski, J., Petriv, O.S. & Magmet; T.M. (2017). Dynamic of arm's micro movements of elite athlete in Olympic exercises Rapid Fire Pistol and Air Pistol. *Physical education of students*, 21 (2).
- Schnabel, G., Harre, H.-D., & Krug, J. (2008). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft: Leistung – Training – Wettkampf*. Meyer & Meyer.

# Sportartbezogenes Blicktraining zur Verbesserung der Schlagleistung im Softball

(AZ 072046/18-19)

Stefanie Klatt (geb. Hüttermann) (Projektleitung), Benjamin Noël & Wolfgang Walther

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

## 1 Problem

Forschungsarbeiten zum Softball konzentrierten sich bisher hauptsächlich auf Verletzungsprävention und die Biomechanik der sportartspezifischen Bewegungen, meist als Teil einer gemeinsamen Untersuchung zu Baseball und Softball. Es fehlten jedoch Untersuchungen zum Kern des Spiels, zum Duell zwischen Schlagfrau und Pitcherin, und hier insbesondere zu den spezifischen Eigenheiten von Softball im Vergleich zu Baseball. Um die Leistungen der deutschen Nationalspielerinnen zu verbessern und sie im internationalen Vergleich konkurrenzfähig zu machen, wurde dieses Service-Forschungsprojekt durchgeführt: ein Interventionsprogramm zur Verbesserung der Schlagleistung.

Schlagleute stehen grundsätzlich vor dem Problem, dass die Zeit, in der sie auf den geworfenen Ball (Pitch) reagieren können, sehr kurz ist. Sie müssen die Platzierung des Balls erkennen und sich für oder gegen einen Schwung entscheiden, je nachdem, ob sie den Ball innerhalb der Strike Zone vermuten oder nicht. Erschwert wird das durch die verschiedenen Arten von Pitches, die mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und unterschiedlicher Rotation geworfen werden, was Einfluss auf die Flugkurve hat. Heutzutage muss man aufgrund der hohen Pitchgeschwindigkeit von 350 bis 400 Millisekunden ausgehen bis der Ball das Schlagmal erreicht. Eine Schlagfrau benötigt etwa 200 Millisekunden für den Schwung (Messier & Owen, 1984). Es bleiben also lediglich 150 bis 200 Millisekunden für Wahrnehmung und Entscheidung. Bahill und LaRitz (1984) gaben die Winkelgeschwindigkeit eines

Wurfs mit bis zu 500 Grad pro Sekunde an, während sich das menschliche Auge mit maximal 150 Grad pro Sekunde bewegen kann. Ein kontinuierliches Verfolgen (Tracking) des Balls bis zum Kontakt ist daher nicht möglich. Es bedarf stattdessen einer für die Aufgabe spezifischen Strategie. Kern des Interventionsprogramms war daher die Vermittlung einer visuellen Strategie, mit der sich Art und Platzierung des Pitches besser einschätzen lassen. Im Detail sollte herausgefunden werden, ob und wie ein an die speziellen Bedingungen des Softballs angepasstes Blicktraining die Schlagleistung von Spielerinnen verbessert. Die Untersuchung konzentrierte sich darauf, ob das weiter unten genauere beschriebene Blicktraining zu einer Veränderung der Blickstrategie führen kann. Aber auch an den Spielstatistiken der Folgemonate sollte sich ablesen lassen, ob sich die Zahl falsch eingeschätzter Bälle und erfolgloser Schlagversuche verringert hat und die Schlagquote gestiegen ist.

## 2 Methode

### 2.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen 22 Spielerinnen aus der Damen-Softball-Bundesliga Nord an der Studie teil, entweder in der Kontroll- oder Interventionsgruppe. Drei Teilnehmerinnen gehörten während der Studie zum Kader der Damennationalmannschaft (1 x Intervention, 2 x Kontrolle), zwei zum Kader der Nationalmannschaft der U19-Juniorinnen (1 x Intervention, 1 x Kontrolle), und sechs waren ehemalige Nationalspielerinnen (3 x Intervention, 3 x Kontrolle).

## 2.2 Trainingsintervention

Über einen Zeitraum von zwölf Wochen durchlief jede der beiden Gruppen 17 Trainingseinheiten. Die Kontrollgruppe orientierte sich beim Aufbau der Übungen und der Zahl der Wiederholungen an den Protokollen der Interventionsgruppe. Der Aufbau der Übungen und die Zahl der Wiederholungen waren identisch. Die Interventionsgruppe erhielt zusätzlich Anweisungen zum Blickverhalten, um folgende vierteilige Blickstrategie zu erlernen.

- › *Preparatory ocular movements:* Während der Vorbereitungsphase der Pitcherin fixiert die Schlagfrau nach eigenem Rhythmus abwechselnd zwei selbstgewählte Punkte auf dem Oberkörper der Pitcherin, um die Augen auf die richtige Entfernung einzustellen und die Augenmuskulatur auf die anstehenden schnellen Sakkaden vorzubereiten. Gleichzeitig kann die Schlagfrau so erkennen, wann die Pitcherin mit der Wurfbewegung beginnt.
- › *Visueller Anker:* Mit Beginn der Wurfbewegung sucht die Schlagfrau das vordere Knie der Pitcherin (deren Fuß befindet sich zu diesem Zeitpunkt noch in der Luft) und stimmt ihre eigene Bewegung auf die Bewegung der Pitcherin ab, indem sie ihren Fuß gleichzeitig aufsetzt. Während sie den Fuß aufsetzt, führt die Schlagfrau einen Blicksprung auf den Abwurfbereich leicht seitlich und oberhalb des Knies der Pitcherin durch, weil im nächsten Moment der Ball dort auftaucht.
- › *Quiet-Eye (QE, cf. Vickers, 1996):* Die Schlagfrau verharrt mit ihrem Blick auf dem Abwurfpunkt und verfolgt die Flugkurve des Balls bis zur Hälfte der Entfernung zur Pitcherin peripher beziehungsweise mithilfe von kleineren Anpassungen ihres visuellen

Fokus. Der Ball bewegt sich innerhalb der nächsten 175 bis 200 Millisekunden noch innerhalb eines Seh winkels von drei Grad. Die Schlagfrau nimmt die erste Hälfte der Flugkurve wahr, antizipiert den restlichen Verlauf und entscheidet dann, ob sie den Schwung fortführt oder abbricht (vgl. Go-Nogo-Task).

- › *Eye-Head-Stabilization:* Mit der Entscheidung über den Schwung richtet die Schlagfrau Kopf und Blick auf den antizipierten Treffpunkt aus und führt dann den Schwung aus, möglichst ohne den Kopf noch zu bewegen.

## 2.3 Schlagtest

Außerdem durchlief jede Teilnehmerin je einen 90-minütigen standardisierten Schlagtest als Pre-, Post- und Retentionstest, bei denen Schlagleistung und Blickverhalten erfasst wurden. Der Pretest und die Intervention fanden in der Off-Season 2018-2019 statt, der Posttest direkt vor und der Retentionstest nach dem ersten Drittel der Saison 2019. Die standardisierten Pre-, Post- und Retentionstests bestanden aus einer simulierten Spielsituation mit echtem Pitcher. Als Pitcher standen drei Spieler der Herren-Softball-Nationalmannschaft zur Verfügung. Die Pitcher warfen ohne Sprungbewegung und daher mit leicht reduzierter Geschwindigkeit, um eine genauere Platzierung der Pitches zu ermöglichen. Die Reihenfolge der drei Pitcher war bei jeder Teilnehmerin gleich, von langsam zu schnell. Jede bekam zwischen 96 und 120 Pitches pro Test.

Die Teilnehmerinnen trugen zur Kontrolle ihrer Blickstrategie ein mobiles Eye-Tracking-System (Pupil Core, Pupil Labs GmbH, Berlin). Zwei Videokameras (Apple iPad Pro) nahmen jeden Pitch mit 120 Hertz aus zwei Perspektiven auf. Der Rapsodo Hitting Monitor (Rapsodo Inc, USA) nahm gleichzeitig neben der Pitchgeschwindigkeit auch die Geschwindigkeit und den Abflugwinkel der geschlagenen Bälle auf. Vor jedem Schlagtest wurden außerdem Schlägergeschwindigkeit und Schwungdauer mit



dem Inertialsensor gemessen (Pretest: Zepp Softball; Post- und Retentionstest: Diamond Kinetics Softball). Dazu schlug jede Teilnehmerin jeweils zehn Mal von einem Batting Tee. Folgende Aspekte der Schlagleistung wurden bewertet:

- **StrikeSwing%**: Anteil an Strikes, auf die sie geschwungen hat,
- **BallSwing%**: Anteil an Balls, auf die sie geschwungen hat,
- **Foul%**: Anteil an Schwüngen, bei denen sie den Ball foul geschlagen hat,
- **InPlay%**: Anteil an Schwüngen, bei denen sie den Ball ins Spielfeld geschlagen hat.

## 2.4 Spielstatistiken

Zusätzlich flossen die Spielstatistiken der laufenden Saison und der Vorjahre ein. Die folgenden Spielstatistiken der Jahre 2017 bis 2019 wurden mit einem speziell dafür entworfenen Computerprogramm kurz vor dem Ende der Spielsaison 2019 extrahiert und in einer Datenbank gespeichert:

- **SLG** = Slugging-Percentage;  
 $SLG = (H + 2B + 2 * 3B + 3 * HR) / AB$ ; Zahl der pro Schlagdurchgang erreichten Bases als Maß für die Schlagkraft der Schlagfrau
- **OBP** = On-Base-Percentage;  
 $OBP = (H + BB) / (AB + BB)$ ; Anteil der Schlagdurchgänge, in denen die Schlagfrau auf Base gelangt, also nicht out geht.
- **OPS** = On-Base-Plus-Slugging;  
 $OPS = OBP + SLG$ ; zusammenfassendes Maß für die Schlagleistung
- **BABIP** = Batting Average on Balls in Play;  
 $BABIP = H / (AB - K)$ ; Anteil der erfolgreichen Schlagdurchgänge bezogen auf alle Schlagdurchgänge mit Ballkontakt als Maß für die Qualität der Kontakte
- **BB%** = Base-on-Balls-Percentage;  
 $BB\% = BB / (AB + BB)$ ; Anteil der Base-on-Balls als Maß für die Qualität der Wahrnehmungsentscheidung
- **K%** = Strikeout-Percentage;  
 $K\% = K / (AB + BB)$ ; Anteil der Strikeouts als inverses Maß für die Qualität der Wahrnehmungsentscheidung.

Neben den Daten der Studienteilnehmerinnen wurden auch die Daten aller restlichen Spielerinnen der Liga als Referenz genutzt.

## 3 Ergebnisse

Die Wirkung der Intervention war klar zu erkennen. Fast alle Variablen des Bewegungs- und Blickverhaltens veränderten sich über den Verlauf der Schlagtests so, wie durch die Intervention erwartet. Die Genauigkeit der Kopfbewegung in der anfänglichen Ballverfolgung nahm im Vergleich zur Kontrollgruppe zu, ebenso die Anzahl der vorbereitenden Blicksprünge und die Genauigkeit des Timings beim Aufsetzen des Fußes. Bei der Anwendung der QE-Strategie konnte lediglich ein nicht signifikanter Trend festgestellt werden.

Dahingegen konnte die Interventionsgruppe die Geschwindigkeit der geschlagenen Bälle im Posttest deutlich steigern. Das zeigte auch die Messung der Schlägergeschwindigkeit, die zwar die Änderung der Ballgeschwindigkeit nur zu etwa einem Drittel erklären kann, aber die zumindest zum Post-Test signifikant zugenommen hat.

Für die Variable InPlay% zeigte sich für die Interventionsgruppe keine Verbesserung im Verhältnis zur Kontrollgruppe. Allerdings erhöhte sich die Kontaktrate insofern, als die Interventionsgruppe beim Posttest signifikant häufiger den Ball zumindest als Foulball getroffen hat, anstatt vorbei zu schwingen. Dieser Effekt ist aber beim Retentionstest wieder verschwunden.

Die Interventionsgruppe verbesserte auch ihre tatsächliche Schlagleistung in Ligaspielen, allerdings von einem Wert unterhalb des Ligadurchschnitts auf einen überdurchschnittlichen Wert, während die Kontrollgruppe ihre Leistung nicht veränderte. Der post-hoc-Test zeigte jedoch, dass die Verbesserung vorwiegend gegenüber dem Ligaschnitt und weniger gegenüber der Kontrollgruppe stattgefunden hat (vgl. Abb. 1).

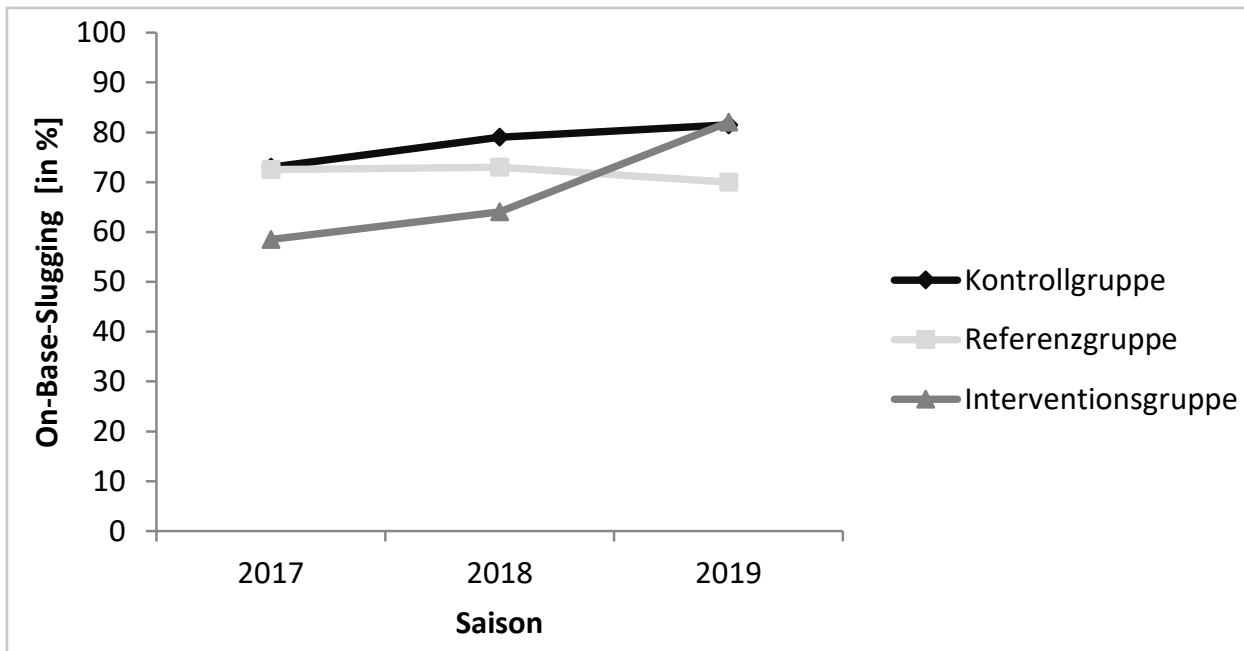


Abb. 1: Übersicht über die Entwicklung der Schlagleistung (OBS) von 2017-2019 für die Interventions-, Kontroll- und Referenzgruppe (Ligaschnitt). Die Intervention fand vor der Saison 2019 statt.

Die Parameter SLG, OBP und BABIP zeigten alle ein ähnliches Bild. Bei der Variable BB% zeigt sich, dass sich beide Gruppen gegenüber dem Ligaschnitt verbessert haben. Bezogen auf K% wurde keine signifikante Veränderung festgestellt. Hier zeigte sich lediglich eine Tendenz zur Reduktion der Strikeouts durch die Interventionsgruppe – zumindest im Vergleich zum Ligaschnitt.

## 4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die Trainingsintervention die Schlagleistung (OPS) der Interventionsgruppe deutlich verbessert hat. Die Differenz von +0,200 Punkten in OPS entsprach in der Saison 2019 einer Verbesserung von einer unterdurchschnittlichen Spielerin (0,35-Quantil = 0,609) zu einer überdurchschnittlichen Spielerin (0,65-Quantil = 0,808). Die besseren Slugging-Werte (SLG) deuten darauf hin, dass die Teilnehmerinnen den Ball härter und weiter schlugen und dadurch mehr Bases erlaufen konnten. Die besseren BABIP-Werte deuten ebenfalls auf eine höhere Ballgeschwindigkeit beim Schlag, denn die damit verbundene kürzere Reaktionszeit der Feldspieler führt zu einer höheren Wahrscheinlichkeit, die erste Base zu erreichen. Die im Vergleich mit BABIP etwas

größere Verbesserung bei der On-Base-Percentage (OBP) ist vermutlich durch mehr Base-on-Balls (BB%) zu erklären. Sowohl die Veränderung von BB% als auch die von OBP war in der Tendenz jedoch auch in der Kontrollgruppe zu beobachten. Die Teilnehmerinnen zeigten also vermutlich gegenüber der Kontrollgruppe keine Verbesserung im Entscheidungsverhalten beim Schwingen auf Balls und Strikes.

Weder StrikeSwing% noch BallSwing% zeigten eine Interaktion zwischen den Gruppen. Es war also auch im Schlagtest kein Unterschied im Entscheidungsverhalten zu erkennen. Die weitere Kontrollvariable Schwungzeit (Duration) zeigte ebenfalls keinen Unterschied zwischen den Gruppen. Das bedeutet, dass die Trainingsintervention für beide Gruppen in Bezug auf die Technik ähnlich genug war und sich nur in den Anweisungen zur Blickstrategie unterschied. Die Trainingsintervention scheint also in erster Linie Auswirkungen auf die Qualität der Kontakte gehabt zu haben.

Ein wichtiger Punkt, um die Qualität des Kontakts zu erhöhen, ist das richtige Timing. Im Schlagtest schlugen die Teilnehmerinnen gegen vergleichsweise schnelles Pitching, waren also gefordert, ihr Timing anzupassen. Der Interventionsgruppe wurde dafür vermittelt, die eigene Bewegung mit der des Pitchers abzustimmen,

indem der eigene Fuß und der Fuß des Pitchers zum gleichen Zeitpunkt aufsetzen sollten. Wer seinen Fuß zu spät aufsetzt, kann die Bewegung nicht komplett ausführen. Das führt automatisch zu schlechteren Kontakten. Hier zeigte sich bei der Interventionsgruppe eine Verringerung dieses Timing-Fehlers um 44 Millisekunden – bei einer Schwungzeit von 200 Millisekunden ist das hochrelevant.

Für die Qualität des Kontakts ist außerdem die Kopfposition während des Schwungs wichtig – Schritt vier in der Blickstrategie (Head Lock). Das Verfolgen des Balls mit dem Kopf und die Ausrichtung des Kopfs auf den Kontaktpunkt führen dazu, dass der Schwung in Richtung des Balls geht, ohne die geringste Abweichung. Der Ball wird dabei genau dann getroffen, wenn der Schläger am schnellsten ist. Die Auswertungen des Eye-Trackers zeigen, dass die Interventionsgruppe beim Posttest ihre Kopfgeschwindigkeit besser an die Geschwindigkeit des Balls im ersten Teil der Flugkurve anpassen konnte als die Kontrollgruppe.

Auch das Phänomen des Quiet-Eye wird mit einer präziseren Bewegungsausführung in Verbindung gebracht. Eine Verbesserung der Quiet-Eye-Parameter müsste also zu einem besseren Kontaktpunkt führen. Die Werte zeigten aber lediglich Tendenzen, und auch die sind nicht schlüssig zu erklären. Hier lässt sich nicht ausschließen, dass die Methodik der Auswertung den Quiet-Eye-Effekt nicht ausreichend erfassen konnte. Die Werte zum Blickverhalten während der Vorbereitungsphase zeigten ebenfalls eine Veränderung: Mehr Sakkaden und längere Fixationen entsprachen dem im ersten Schritt der Blickstrategie (preparatory ocular movements) gelehrt Verhalten.

Die Tatsache, dass die Spielerinnen ihr Entscheidungsverhalten nicht änderten, lässt sich am ehesten damit begründen, dass weder in der Trainingsintervention noch im Schlagtest in einer bzgl. des Entscheidungsverhaltens spielnahen Situation geschlagen wurde. Beim Schlagtest gab es keine vollständigen Schlag-

durchgänge, bei denen Fehlentscheidungen Konsequenzen gehabt hätten. Hier gab es nur eine Folge von 32 bis 40 Pitches. Vor diesem Hintergrund erscheint es möglich, dass die Schritte 1 und 3 durch eine bessere Vorbereitung und eine bessere Wahrnehmung des Balls lediglich die Voraussetzungen für ein besseres Entscheidungsverhalten schaffen können. Um das Entscheidungsverhalten unter diesen besseren Voraussetzungen aber gezielt zu trainieren, braucht es viel mehr echte oder simulierte Schlagdurchgänge. Aus praktischen Gründen – fehlende Pitcher, fehlende Wiederholungen – ist das im normalen Training meist nicht zu realisieren. Hier könnte in Zukunft das Training in einer virtuellen Realität helfen.

Die Spielerinnen der Interventionsgruppe (bis auf eine Ausnahme) verbesserten ihre Schlagleistung (OPS) vom Vorjahr. Sie gaben durchweg positives Feedback zum Blickstrategietraining. Gleichzeitig wurde jedoch im Verlauf des Trainings und beim Feedback klar, dass – insbesondere bei Spielerinnen mit viel Vorerfahrung und bereits antrainiertem Bewegungs- und Blickverhalten – eine starke Individualisierung sowohl der Blickstrategie als auch der Trainingsinhalte nötig wäre. Das zeigte sich auch daran, dass sich zwar nahezu alle Spielerinnen in der OPS verbesserten, die Bandbreite der Veränderung aber sehr groß war. Sie reichte von +0,100 bis +0,500. Einige der Spielerinnen hätten mit Sicherheit eine individuellere Lösung benötigt, um ihr maximales Potential zu entfalten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Blickstrategietraining sehr gut funktioniert hat und ein Teil der erwarteten Leistungsverbesserungen eingetreten ist. Weitere Leistungsverbesserungen sind zu erwarten, wenn das Blickstrategietraining ganzjährig ins Training aufgenommen wird. Wegen der umfangreichen Vorerfahrungen und des bereits implizit antrainierten Bewegungs- und Blickverhaltens geübter Spieler verspricht ein hochgradig individualisiertes Blickstrategietraining für den Spitzensport am meisten.

## 5 Literatur

- Bahill, A. T., & LaRitz, T. (1984). Why can't batters keep their eyes on the ball? *American Scientist*, 72(3), 249-253.
- Messier, S. P., & Owen, M. G. (1984). Bat Dynamics of Female Fast Pitch Softball Batters. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 55(2), 141-145. <https://doi.org/10.1080/02701367.1984.10608390>
- Vickers, J. N. (1996). Control of Visual Attention during the Basketball Free Throw. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6\_suppl), S93-S97. <https://doi.org/10.1177/036354659602406S25>

# Analyse individueller Entwicklungspotentiale in der sportlichen Technik bei deutschen Parakanuten

(AZ 072003/19-20)

C. Jahn, C. Janke & M. Witt (Projektleitung)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unter Mitarbeit von E. Böker, A. Brendel (DKV), M. Englert (IAT), D. Herz, A. Lischke, T. Warnke, (IAT) & A. Weiße  
Universität Leipzig, Sportwissenschaftliche Fakultät, Abteilung Biomechanik

## 1 Problem

Parakanu ist eine sehr junge Sportart (seit 2010 Bestandteil der Weltmeisterschaften und seit 2016 der Paralympics), die einen hohen Individualisierungsgrad des Wettkampfgeräts erfordert. Es existiert bisher kein Technikmodell, das diese Besonderheiten berücksichtigt. In der vorliegenden Untersuchung sollte deshalb ausgehend vom Technikmodell der Rennkanuten geprüft werden, welche Merkmale übergreifend gelten und welche Modifikationen auf der Basis der individuellen Leistungsressourcen vorgenommen werden müssen. Im Rahmen des Projekts sollten sowohl systematisierte Aussagen zur Nutzung des Leistungsfaktors Sporttechnik im Parakanu erarbeitet als auch individuelle Leistungspotentiale in Vorbereitung der Paralympischen Spiele erschlossen werden.

## 2 Methodik

An den Untersuchungen nahmen fünf weibliche und zwei männliche Athleten (30,6 ( $\pm$  8,8) Jahre) der Deutschen Nationalmannschaft im Para Kanu (vier Athleten Kajak, drei Athleten Va'a) teil. Im Trainingslager der Para Kanu Nationalmannschaft in Kienbaum wurden zwischen dem 03.08.2019 und 06.08.2019 qualitative Leitfadeninterviews mit allen Teilnehmern geführt (sieben Sportler, drei Trainer). Außerdem wurden 2D-Videoaufnahmen für die individuelle Technikanalyse von der Sagittal- und Frontalebene erstellt. Zwei Highspeed-Kameras (Photon Focus DR1) kamen mit einer Aufnahmefrequenz von 100 Hz zum Einsatz (Shutter: 1/1250s). Der Bildausschnitt wurde auf 2048 x 672 Pixel eingestellt. Damit wurden insgesamt drei bis fünf

auswertbare Bewegungszyklen je Durchfahrt erfasst, abhängig von Bewegungsgeschwindigkeit und Bahn. Für die Aufzeichnung der Videos wurde die Bewegungsanalysesoftware TEMPLO 9 der Firma Contemplas verwendet. Für Aufnahmen in der Frontalansicht wurde zusätzlich eine Drohne vom Typ DJI Mavic Air (1920x1080 Pixel, 90 Hz) eingesetzt. Der Abstand zum Sportler war variabel (z. B. durch Wind) und betrug etwa 5 m vor dem Boot.

Basierend auf dem Technikleitbild für den Kanurennsport von Schmidt (2011) wurde für die Bootsklasse Kajak ein Beobachtungskatalog mit den Parametern Paddelwinkel, Zugarmspannung, Druckhandposition, (Gegen-)Verwindung, Oberkörperhaltung, Paddelstichpunkt, Ellenbogenhöhe, Beinstreckung und Bootsbeziehung erstellt. Die Kriterien wurden zu den charakteristischen Zeitpunkten Einsatzbeginn, Einsatzende, Hauptzugbeginn, 90°-Paddelwinkel, Hauptzugende und Aushubende bewertet, außerdem für den Verlauf des Hauptzugs und die Gesamtbewegung. Zusätzlich wurde der frontale Paddelanstellwinkel für die dreidimensionale Betrachtung der Bewegung erfasst. Winkelbereiche wurden für die jeweilige Punktzahl (0-1-2) vorgegeben. Bei qualitativen Merkmalen wurden relative Größen bewertet (ebd.). Die Videoanalyse erfolgte mit der Software easy inspect (Version 8.0.314). Die Datenerhebung und Auswertung gestaltete sich für die Bootsklasse Va'a analog. Hier wurden die Vergleichsparameter aus dem Bereich Canadier zugrunde gelegt, dabei wurde auf die Auswertung der Spiel- und Standbeinparameter verzichtet. Analog zum Canadier (ebd.) beträgt die Punktzahl 0 oder 1.



## 3 Ergebnisse

### 3.1 Interviews

Die Interviews zeigen, dass fünf der sieben an der Studie teilnehmenden Athleten von einer kompletten oder inkompletten Querschnittlähmung ab dem sechsten Halswirbel- bis zwölften Brustwirbelkörper betroffen sind. Diese primären Beeinträchtigungen ziehen interindividuell verschiedene körperliche und funktionelle Einschränkungen für das alltägliche Leben, aber auch für die Umsetzung der sportlichen Technik im Kanusport nach sich.

Die Athleten formulieren häufig Einschränkungen durch fehlende Stabilität und mangelnden Rumpfeinsatz. Beides führt zu eingeschränkten Zykluswegen und reduzierter Kraftübertragung auf das Paddel, was sich deutlich leistungsbehindernd auswirkt. Weiterhin gestaltet sich die Situation der Sportler insgesamt sehr heterogen.

### 3.2 Bewegungstechnik

Subjektive Einschränkungen wurden von den Athleten in den Interviews wie folgt formuliert:

- › mangelnde Stabilität im Boot,
- › Steuerbewegungen nur mit Paddel möglich,
- › eingeschränkte Rumpfrotation für Kraftübertragung auf das Paddel,
- › fehlende Kraftausdauer im Rumpf für Stabilität am Streckenende,
- › ständige Rumpfvorlage über Strecke,
- › Bootsmaterial: Va'a für leichte Frauen fehlt.

Diese Probleme wurden in der Auswertung berücksichtigt. Um einen Überblick über die Varianz der Bewegungstechnik im Verlauf des Trainingslagers zu schaffen, wurde die Punktsomme aller Parameter pro Trainingseinheit berechnet. Weiterhin wurden von jedem Sportler Defizite gegenüber dem Technikleitbild der Rennsportler erarbeitet.

Im Überblick ergaben sich folgende Technik-einschränkungen:

- T1) Verwindung zu gering,
- T2) PaddelEinstichpunkt nicht weit genug bugwärts,
- T3) Eintauchen findet zu steil statt,
- T4) Druckhand ist beim Einsetzen zu weit vorn/Überhebeln,
- T5) PaddelEinsetzen dauert zu lange,
- T6) Führellenbogen wird hängen gelassen,
- T7) Arme werden im gesamten Schlag zu niedrig gehalten,
- T8) Umgang mit Zeitdruck.

Von den Kajakathleten wurden insgesamt 7-19 von 29 Punkten erreicht, allerdings ist die Bootsbewegung bei allen gut bis sehr gut ausgeprägt. Die GA2-Bewegungstechnik ist bei den Parakanuten nützlich, um zu erkennen, ob eine Bewegung grundsätzlich ausgeführt werden kann. Wenn der Fehler nur bei sehr hohen Geschwindigkeiten auftritt, dann liegt ein Umsetzungsproblem vor. Die Betrachtung der GA3-Bewegungstechnik zeigt Defizite, die sich aufgrund der hohen Belastung ausbilden.

Auch den Va'a-Fahrern gelingt ein ruhiger/relativ ruhiger Bootsdurchlauf, auch wenn viele Einzelparameter nicht im geforderten Sollbereich liegen (6-12 von 22 Punkten). Allerdings werden häufig Schlängellinien auf der Strecke gefahren, die auf uneffektive Steuerbewegungen hinweisen.

## 4 Diskussion

Auftretende Technikfehler können in **zwei Gruppen** unterteilt werden.

Die erste enthält Fehler, die **nicht spezifisch für die Parakanuten** sind, sondern auch von Rennsportlern häufig gezeigt werden, wie „Führellenbogen wird hängen gelassen“ (T6). Diese wurden innerhalb von wenigen Trainingseinheiten mit Trainerfeedback verbessert.

Dabei hat sich gezeigt, dass Athleten teilweise noch nicht lange trainieren und sich im Prozess des Techniklernens befinden. Hier wird vor

allem (Video-) Feedback und ständige Korrektur durch den Trainer vorgeschlagen. Beides kann auf dem Wasser, aber auch als Trockenübung auf dem Ergometer, zum Beispiel mit Spiegel, erfolgen. Für den Umgang mit Zeitdruck (T8) wird die Nutzung der Kontrastmethode (nach Schnabel, 2005) empfohlen. Dabei sollen Intervalle mit verschiedenen Geschwindigkeiten nacheinander gefahren werden, um die Technik von niedrigen in hohe Geschwindigkeiten zu übertragen. Ziel ist der bessere Umgang mit kürzeren Tauch- und Umsetzzeiten bei hohen Geschwindigkeiten.

Im Gegensatz dazu gehören zur zweiten Kategorie **parakanuspezifische Schwierigkeiten**, die mit den individuellen Einschränkungen zusammenhängen und nur bedingt verbessert werden können. Hierzu zählt die mangelhafte Rumpfverwringung (T1), wenn sie durch die Einschränkung des Athleten bedingt ist. Hier kann der Einsatz des geraden Kajakpaddels leistungssteigernd wirken, da vor allem die Armmuskulatur aktiv ist, im Gegensatz dazu wird die diagonale Bahn des Löffelpaddels vorwiegend durch eine Rumpfrotation erzeugt (di Puccio, 2008).

Die mangelhafte Rumpfverwringung hängt häufig mit dem rumpfnahen PaddelEinstichpunkt (T2, T3, T4, T5) zusammen. Hier wird für ein visuelles Feedback der erforderlichen Eintauchposition (die eine angemessene Verwringung erfordert) empfohlen, den Bootsrumpf mit Tape zu markieren.

Die fehlende Stabilität führt zum intuitiven Senken des Körperschwerpunkts durch eine tiefe Armhaltung (T7), um Kippbewegungen schnell ausgleichen zu können.

Übergreifend ergeben sich aus der Literatur, aus den Sportlerbefragungen und den Technikanalysen folgende **Entwicklungsstrategien** für die Nutzung individueller Potentiale:

- 1) **Stabilität im Boot verbessern** (Steuern üben, hohe Schlagfrequenzen nutzen, gerades Kajakpaddel verwenden),
- 2) **Oberkörpereinsatz erhöhen** (Rumpfrotation verstärken, größere Oberkörperaufrichtung),
- 3) **Symmetrie/Asymmetrie** (Symmetrie erhöhen oder Asymmetrie rhythmisieren),
- 4) **Materialeinsatz individualisieren** (leichte Boote bei geringem Körpergewicht, Vermeidung von Druckstellen).

Es wurde ein Arbeitsmaterial erarbeitet, mit dem der Trainer künftig eigenständig eine Priorisierung vornehmen und umsetzen kann. Die Selbsteinschätzung der Athleten, verbunden mit der Entwicklung einer guten Technikvorstellung, sollte individuell verbessert werden durch Feedback und Auseinandersetzung mit Ursache-Wirkungs-Prinzipien (siehe z. B. Schmidt, 1992, 124ff).

Im Projektverlauf wurde im Rahmen des Videowettbewerbs 2019 (Phase 1) des BISp ein Video unter dem Titel „Mit den Parakanuten auf dem Weg zu den Paralympics“ erstellt.

## 5 Literatur

- DiPuccio, F. & Mattei, L. (2008): Kayak Rowing: Kinematic Simulation of different techniques. *Journal of biomechanics*, 41 (S1), 425.
- Schmidt, K.-H. (1992). *Techniktraining im Kanurennsport*. DKV.
- Schmidt, K.-H. (2011). *E-Learning Plattform „Techniktraining im Kanurennsport“*: Zugriff am 28.06.2017 unter [https://moodle2.uni-leipzig.de/pluginfile.php/370890/mod\\_resource/content/6/LokalePublikation\\_DKV/index.html](https://moodle2.uni-leipzig.de/pluginfile.php/370890/mod_resource/content/6/LokalePublikation_DKV/index.html)
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. & Borde, A. (2005). *Trainingswissenschaften. Leistung Training Wettkampf*. Sportverlag.



# Kognitive Ermüdung im olympischen Sportschießen

(AZ 072004/19-20)

Anna Dziuba<sup>1</sup>, Robin Steinkühler<sup>1</sup>, Stefan Müller<sup>2</sup>, Chris Englert<sup>1</sup> (Projektleitung)

<sup>1</sup>Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Sportwissenschaften

<sup>2</sup>Deutscher Schützenbund

## 1 Hintergrund

Eine effiziente Aufmerksamkeitsregulation ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Leistung im Sportschießen. So müssen Schützinnen und Schützen irrelevante Reize ausblenden und den Aufmerksamkeitsfokus stattdessen auf die situativ relevanten Zielreize lenken. Hierbei wird zwischen einem internalen und einem externalen Aufmerksamkeitsfokus unterschieden. Bei einem internalen Fokus richten die Schützinnen und Schützen ihre Aufmerksamkeit auf ihre eigenen Gedanken, Gefühle und die Bewegung selbst (z. B. Bewegungsablauf beim Zielen). Bei einem externalen Fokus wird die Aufmerksamkeit hingegen auf die Bewegungseffekte bzw. das Ziel fokussiert (z. B. die Zielscheibe). Ein externaler Aufmerksamkeitsfokus scheint über unterschiedliche Bewegungen, Fertigniveaus und Zielgruppen hinweg in der Regel einem internalen, bewegungsbezogenen Fokus überlegen zu sein (Gray, 2011). So erzielten Probanden, die angewiesen wurden, sich auf die beabsichtigten Auswirkungen ihrer Handlungen (externaler Fokus) zu konzentrieren, bessere Leistungen als Probanden, die sich auf die Handlung selbst fokussierten (internaler Fokus). Es wird angenommen, dass bei einer erlernten Bewegung eine bessere Leistung erreicht werden kann, wenn die Konzentration auf dem Ziel liegt (externaler Fokus), anstatt auf den einzelnen Bewegungsschritten (internaler Fokus). Dadurch werden die Bewegungen der vorliegenden Fertigkeit automatisch durchlaufen, was mit einer besseren Schießleistung einhergeht (vgl. Tremayne & Barry, 2001). Darauf aufbauend postulieren Wulf, Shea und Park (2001), dass Schützinnen und Schützen ihre Aufmerksamkeit auf einen externalen Fokus richten sollten, da sie bei der Ausführung ihrer

automatisierten motorischen Fertigkeiten von einem internalen Aufmerksamkeitsfokus sogar eher behindert werden und eine schlechtere Leistung erzielen (siehe auch Vickers & Williams, 2007).

Gemäß den Annahmen des Kraftspeichermodells der Selbstkontrolle bedarf eine solche Aufmerksamkeitslenkung Selbstkontrollkraft (Baumeister et al., 1998). Selbstkontrollkraft ermöglicht es, dominante Verhaltensweisen willentlich zu regulieren, um ein übergeordnetes Ziel erreichen zu können. Personen steht hierbei nur ein begrenzter Pool an Selbstkontrollkraft zur Verfügung. Folglich kann dieser sogenannte Kraftspeicher nach der Ausführung selbstkontrollierter Handlungen temporär erschöpfen, was auch als Ego Depletion oder kognitive Ermüdung bezeichnet wird (Baumeister et al., 1998). In einem Zustand kognitiver Ermüdung werden anschließende Selbstkontrollhandlungen weniger effizient ausgeführt, wodurch es zu Leistungseinbußen kommt. Baumeister und Kollegen (1998) postulieren, dass der Effekt temporär erschöpfter Selbstkontrollkraft domänenübergreifend zu verstehen ist. Dies bedeutet, dass die verschiedenen Formen der Selbstkontrolle alle von demselben Kraftspeicher abhängen. Demzufolge können Personen mit temporär erschöpfter Selbstkontrollkraft weniger persistent an anstrengenden Aufgaben arbeiten, ihre Impulse schlechter regulieren oder auch ihre Aufmerksamkeit schlechter lenken (Englert, 2016, 2017). Überträgt man diese Befunde auf den Schießsport, ist anzunehmen, dass für eine kontinuierliche Aufmerksamkeitslenkung während eines Wettkampfs Selbstkontrolle investiert werden muss, was zu kognitiver Ermüdung führt. Dieses Phänomen wurde im Schießsport bislang nicht erforscht.

Das vorliegende Projekt setzte an diesem Forschungsdefizit an und untersuchte die Annahme, dass das Ausmaß der kognitiven Ermüdung während eines Trainingstages zunimmt und die Leistung beim Sportschießen beeinträchtigt.

## 2 Methode

Im Rahmen der ersten Projektphase wurde das Ausmaß der kognitiven Ermüdung innerhalb eines Trainingstages untersucht. An dieser Studie nahmen  $N = 21$  Schützinnen und Schützen (Alter:  $M = 17.33$  Jahre,  $SD = 4.32$ ; Trainingserfahrung:  $M = 5.46$  Jahre,  $SD = 3.77$ ; Wochentrainingszeit:  $M = 3.70$  h,  $SD = 1.92$ ) aus zwei unterschiedlichen Trainingsgruppen (Schützenverein Sulzbach und LLZ Baden-Württemberg) teil. Darunter befanden sich 5 Luftgewehr- und 16 Luftpistolenschützinnen- und -schützen. Die Schützinnen und Schützen wurden gebeten, während zwei Schießdurchgängen von jeweils 50 Schuss aus einer Entfernung von 10 Metern zu mehreren Messzeitpunkten die 5-Item-Skala zur Messung der momentan verfügbaren Selbstkontrollkapazität (SMS-5; Lindner, Lindner & Retelsdorf, 2019) auszufüllen. Die 5-Item-Skala erfasst das Ausmaß der kognitiven Ermüdung und setzt sich aus fünf Items zusammen (z. B. „Ich fühle mich antriebslos“), die jeweils auf einer siebenstufigen Skala zu beantworten sind.

In der zweiten Projektphase wurde die Annahme untersucht, dass kognitive Ermüdung mit einer schlechteren Schießleistung einhergeht. Hierfür wurden  $N = 23$  Schützinnen und Schützen des Landesleistungszentrums (LLZ) Baden-Württemberg (Alter:  $M = 19.43$  Jahre,  $SD = 4.11$ ; Trainingserfahrung:  $M = 6.03$  Jahre,  $SD = 3.69$ ; Wochentrainingszeit:  $M = 2.74$  h,  $SD = 1.06$ ) rekrutiert.

Darunter befanden sich 9 Luftpistolen- (10 m) und 14 Kleinkaliberschützinnen- und schützen (50 m). Die Schützinnen und Schützen wurden zufällig einer Experimental- oder Kontrollgruppe zugeordnet. Nach einem Schießdurchgang von 40 Schuss unter neutralen Bedingungen, erfolgte die experimentelle Manipulation der kognitiven Ermüdung mittels einer etablierten Abschreibeaufgabe. Während die Kontrollgruppe einen Text konventionell abschrieb, wurde die Experimentalgruppe gebeten, beim Transkribieren jeweils die Buchstaben „e“ und „n“ auszulassen (für dieses Vorgehen, siehe Bertrams, Englert & Dickhäuser, 2010). Die Kontrolle von habituellen Schreibgewohnheiten erfordert Selbstkontrolle und sollte folglich zu kognitiver Ermüdung führen. Nach einem anschließenden Manipulations-Check (siehe Bertrams et al., 2010) erfolgte ein zweiter Schießdurchgang von 40 Schuss. Während der Ausführung der beiden Schießdurchgänge wurde die Schießleistung aufgezeichnet und das Ausmaß der kognitiven Ermüdung erfragt.

## 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse des ersten Teilprojekts zeigen hypothesenkonform, dass die verfügbare Selbstkontrollkraft während des Trainingstages sukzessive abnimmt (vgl. Abb. 1). Dieser Trend zeigte sich sowohl für den ersten Schießdurchgang,  $F(2.01, 40.18) = 3.68$ ,  $p = .034$ ,  $\eta^2 = .155$  als auch für den zweiten Schießdurchgang,  $F(2.72, 54.43) = 5.82$ ,  $p = .002$ ,  $\eta^2 = .225$ . Demnach nimmt die Ausprägung der selbstberichteten momentanen kognitiven Ermüdung im Zeitverlauf zu.

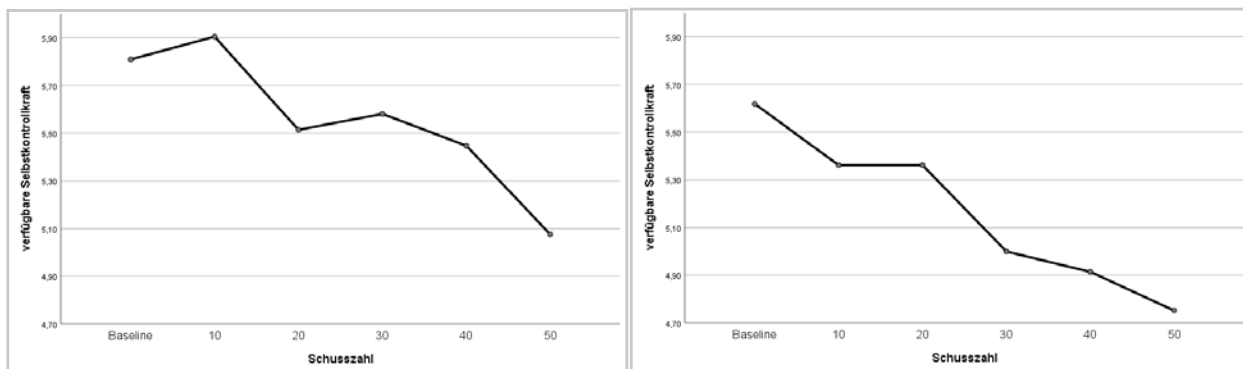


Abb. 1: Verlauf der Selbstkontrollkraft während des ersten (links) und zweiten (rechts) Schießdurchgangs



Im zweiten Teilprojekt zeigte sich gruppenunabhängig eine sukzessive Abnahme der Selbstkontrollkraft,  $F(1.63, 34.28) = 6.78, p = .005, \eta^2 = .244$ . Es konnte jedoch kein signifikanter Gruppenunterschied über beide Messzeitpunkte hinweg gefunden werden,  $F(2.65, 55.70) = 0.01, p = .996, \eta^2 = .001$  (siehe Abb. 2).

### 4 Diskussion

In dem vorliegenden Service-Forschungsprojekt zeigte sich erwartungskonform, dass das Ausmaß der kognitiven Ermüdung über die Zeit hinweg zunimmt.

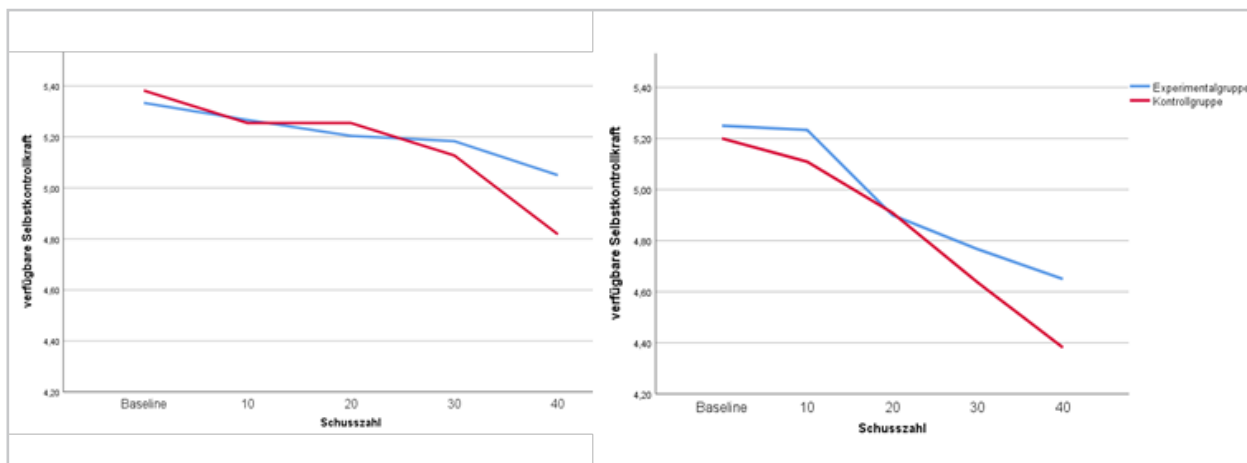


Abb. 2: Verlauf der Selbstkontrollkraft während des ersten (links) und zweiten (rechts) Schießdurchgangs.

Für die Schießleistung verhielt es sich ähnlich (vgl. Abb. 3). Hier zeigte die ANOVA keinen signifikanten Verlaufsunterschied in der Schießleistung beider Gruppen innerhalb der Schießdurchgänge,  $F(3, 63) = 0.13, p = .942, \eta^2 = .006$ . Weitergehend traten keine signifikanten Haupteffekte in der Schießleistung auf.

Demnach konnte aufgezeigt werden, dass die Aufmerksamkeitslenkung beim Schießen eine Selbstkontrollhandlung darstellt, die über die Zeit hinweg zu kognitiver Ermüdung führt. Es konnte jedoch nicht empirisch gezeigt werden, dass durch eine experimentelle Manipulation der kognitiven Ermüdung die Schießleistung negativ beeinflusst wird. Ebenso nimmt die Schießleistung im Zeitverlauf als Konsequenz der zunehmenden kognitiven Ermüdung nicht statistisch bedeutsam ab.

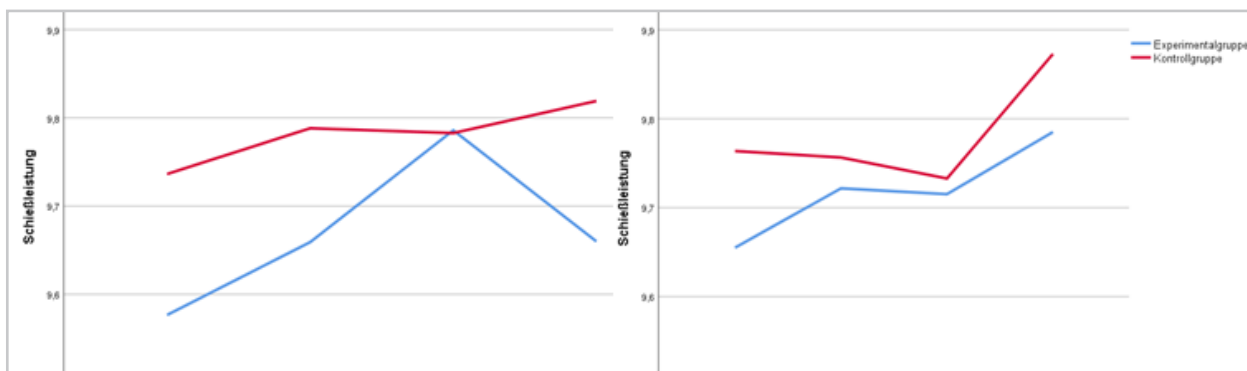


Abb. 3: Verlauf der Schießleistung während des ersten (links) und zweiten (rechts) Schießdurchgangs.

Laut Baumeister und Kollegen (1998) lässt sich dies darauf zurückführen, dass eine Person Ressourcen konserviert, d. h. weniger Selbstkontrolle investiert, wenn sie weiß, dass sie im weiteren Verlauf weitere Selbstkontrollanforderungen bewältigen muss. So wie Personen bei beginnender Muskelermüdung ihre verbleibende Kraft einsparen, geschieht dies auch bei einer beginnenden Erschöpfung des Kraftspeichers. Die Einsparung richtet sich u. a. danach, ob die Person weitere Selbstkontrollherausforderungen antizipiert. Hat sie Kenntnis darüber, dass weitere Selbstkontrollhandlungen folgen werden, wird sie ihre aktuelle Leistung stärker einschränken, als wenn sie solche Anforderungen nicht erwartet. Es scheint, dass die geübten Schützinnen und Schützen gerade durch die Automatisierung ihrer Bewegung den negativen Auswirkungen einer kognitiven Ermüdung effizient entgegenwirken können.

Abschließend stellt sich die Frage, auf welche Weise man kognitiver Ermüdung entgegenwirken kann. Mehrere Studien deuten darauf hin, dass häufig und regelmäßig ausgeübte Selbstkontrolle den Kraftspeicher weniger anfällig für kognitive Ermüdung werden lässt (Baumeister et al., 1998). Ebenso zeigte sich, dass aktive Erholungspausen dazu beitragen können, kognitive Ermüdungszustände schneller reduzieren zu können. Demnach sollten Entspannungstechniken, wie beispielsweise autogenes Training, eingesetzt werden, um kognitiver Ermüdung effizient entgegenwirken zu können. In künftigen Studien sollte diese Annahme empirisch untersucht werden.

## 5 Literatur

- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology, 74*, 1252-1265. doi:10.1037/0022-3514.74.5.1252
- Bertrams, A., Englert, C., & Dickhäuser, O. (2010). Self-control strength in the relation between trait test anxiety and state anxiety. *Journal of Research in Personality, 44*, 738-741. doi:10.1016/j.jrp.2010.09.005
- Englert, C. (2016). The strength model of self-control in sport and exercise psychology. *Frontiers in Psychology, 7*, 314. doi:10.3389/fpsyg.2016.00314
- Englert, C. (2017). Ego depletion in sports: Highlighting the importance of self-control strength for high-level sport performance. *Current Opinion in Psychology, 16*, 1-5. doi:10.1016/j.copsyc.2017.02.028
- Gray, R. (2011). Links between attention, performance pressure, and movement in skilled motor action. *Current Directions in Psychological Science, 20*, 301-306. doi:10.1177/096372141141416572
- Lindner, C., Lindner, M. A., & Retelsdorf, J. (2019). Die 5-Item-Skala zur Messung der momentan verfügbaren Selbstkontrollkapazität (SMS-5) im Lern- und Leistungskontext – Eine Validierungsstudie. *Diagnostica, 65*, 228-242. doi:10.1026/0012-1924/a000230
- Tremayne, P., & Barry, R. J. (2001). Elite pistol shooters: physiological patterning of best vs. worst shots. *International Journal of Psychophysiology, 41*, 19-29. doi:10.1016/S0167-8760(00)00175-6
- Vickers, J. N., & Williams, A. M. (2007). Performing under pressure: The effects of physiological arousal, cognitive anxiety, and gaze control in biathlon. *Journal of Motor Behavior, 39*, 381-394. doi:10.3200/jmbr.39.5.381-394
- Wulf, G., Shea, C., & Park, J.-H. (2001). Attention and motor performance: Preferences for and advantages of an external focus. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 72*, 335-344. doi:10.1080/02701367.2001.10608970

# Verbesserte Schätzung der Abflug- und Flugparameter von Skispringern – Überarbeitung des aktuellen Prototyps

(AZ 072006/19-20)

Katja Ludwig<sup>1</sup>, Rainer Lienhart (Projektleitung)<sup>1</sup>, Sören Müller<sup>2</sup>, Sascha Kreibich<sup>2</sup>  
& Mirjam Markert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität Augsburg, Lehrstuhl für Multimedia und maschinelles Sehen

<sup>2</sup> Institut für Angewandte Trainingswissenschaft, Leipzig

## 1 Problem

Für die Leistungsdiagnostik von Skispringerinnen und Skispringern ist eine genaue Analyse der Körperposition während der Flugphase essentiell. Die bisherige Vorgehensweise der Trainerteams bestand darin, mit einer Reihe an Kameras neben der Skisprungschanze die Athletinnen und Athleten an mehreren Positionen während des Fluges aufzuzeichnen. In jedem Videoausschnitt einer Kamera wurde anschließend in wenigen Einzelbildern die Körperpose händisch bestimmt, wobei sich die Pose aus Kopf, Schulter, Ellbogen, Hand, Hüfte, Knie und Knöchel der kamerazugewandten Körperseite sowie den Skispitzen und Skienden von beiden Skiern zusammensetzte. Aus diesen Posen wurde im nächsten Schritt eine gemittelte Pose pro Kamera berechnet und daraus die relevanten Flugparameter abgeleitet. Beispiele für solche Parameter sind der Oberkörperwinkel, der Gesamtkörperwinkel oder der Skiwinkel, gemessen zur Flugbahn der Athletin oder des Athleten, sowie der Winkel zwischen Unterkörper und Ski (siehe Abb. 1). Diese Flugparameter sind eine wesentliche Grundlage für die Trainingsplanung und Leistungsverbesserung. Da die händische Annotation der Körperpose sehr viel Zeit in Anspruch nimmt, konnte dieses Verfahren bisher nur in begrenztem Maße eingesetzt werden und konnte nicht für alle Sportlerinnen und Sportlern angewendet werden.

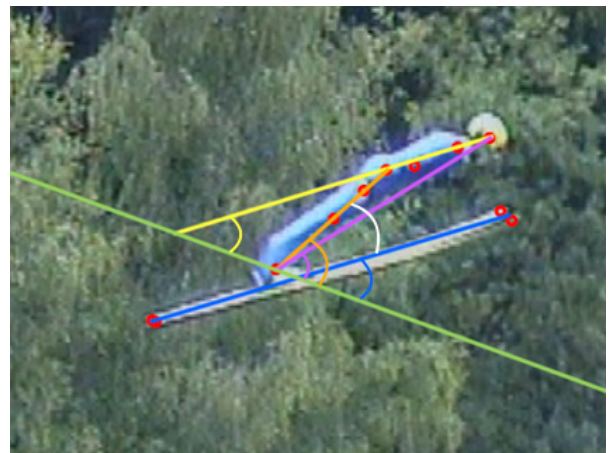


Abb. 1: Flugparameter während eines Skisprungs: Oberkörperwinkel (gelb), Unterkörperwinkel (orange), Gesamtkörperwinkel (lila), durchschnittlicher Skiwinkel (blau) und Winkeldifferenz zwischen Unterkörper und Skiern (weiß). Die grüne Linie repräsentiert die Tangente an die Flugbahn der Skispringerin oder des Skispringers.

Deshalb war es das Ziel dieses Service-Forschungsprojekts, die Flugparameter aus den erstellten Videos mit Hilfe von Methoden des maschinellen Sehens vollautomatisch zu extrahieren, damit diese Form der Analyse mehr Sportlerinnen und Sportlern zur Verfügung steht und sie häufiger durchgeführt werden kann. Dabei ist es von besonderer Bedeutung, dass die Genauigkeit des automatischen Systems sehr hoch ist, da geringe Abweichungen in den Ergebnissen zu einer falschen Leistungsdiagnose führen können.

In einer ersten Version dieses Projekts (Zecha, 2018) wurde ein System entwickelt, was den strengen Genauigkeitsansprüchen der Trainerteams oft, aber nicht immer ganz gerecht werden konnte, weshalb dieses Projekt das ursprüngliche System weiter verbessern soll, so dass es regulär eingesetzt werden kann.

## 2 Methode

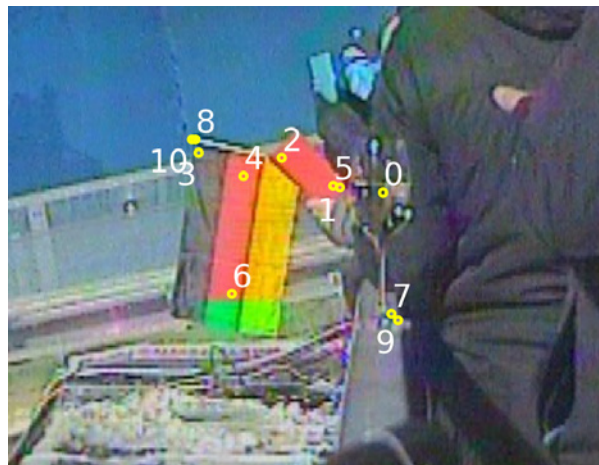
Das in diesem Service-Forschungsprojekt entwickelte System besteht aus mehreren Teilen. Im ersten Teil wird ein tiefes neuronales Netz verwendet, um die Gelenke der Athletinnen und Athleten sowie deren Skispitzen und -enden zu detektieren, damit die händische Annotation dieser Punkte überflüssig wird. Das dabei verwendete neuronale Netz wurde auf den aktuellen Stand der Technik gebracht und ist deshalb deutlich genauer als das bisherige. Das verwendete Modell nennt sich Mask R-CNN (He, 2017). Dieses neuronale Netz generiert in einer ersten Stufe Bildausschnitte, in denen es eine Skispringerin oder einen Skispringer vermutet. In diesen Bildausschnitten sucht es anschließend in einer zweiten Stufe die relevanten Körper- und Skipunkte der Athletinnen und Athleten, indem es Wahrscheinlichkeiten dafür ausgibt, dass ein entsprechender Punkt sich an einer speziellen Position befindet. Aus den Wahrscheinlichkeiten wird anschließend die detektierte Position abgeleitet. Das neuronale Netz wird mit den Daten aus den bisherigen händischen Annotationen trainiert, wobei beide Stufen gleichzeitig trainiert werden können. Die Parameter des Netzes werden also in vielen Schritten so angepasst, dass es einerseits die Position der gesam-

ten Person erkennen kann und andererseits die Pose der Person in den Bildausschnitten.

Ein Vorteil der automatisierten Erkennung der Körper- und Skipunkte ist, dass alle Bilder einer Kameraperspektive verwendet werden können. Im händischen Modell wurden meistens zwei bis vier Posen annotiert und die Flugparameter als gemittelte Winkel über diese Posen bestimmt. Da die Dauer der Sichtbarkeit einer Athletin oder eines Athleten in einer Kameraperspektive nur sehr kurz ist und die Sportlerin bzw. der Sportler sich während dieser sehr kurzen Zeit fast gar nicht bewegt, ist dies ein sinnvoller Schritt.

Das automatische Erkennungssystem liefert durchschnittlich pro Kameraansicht 14 Posen, da es alle Einzelbilder verwendet, in denen eine Person zu sehen ist. Einige dieser Posen sind jedoch nicht exakt, beispielsweise wenn die Skispringerin bzw. der Skispringer nur halb im Bild ist, das System eine Person erkennt, obwohl eigentlich niemand zu sehen ist, oder einzelne Körper- bzw. Skipunkte an falsche Stellen gesetzt werden, was zum Beispiel durch sehr dunkle Aufnahmen, Überbelichtungen oder sehr geringe Kontraste zwischen Hintergrund und Athletin bzw. Athlet begünstigt wird (siehe Abb. 2).

Um solche Posen vor der Berechnung der Flugparameter zu entfernen, enthält das entwickelte System einen Mechanismus, der Posen auf Plausibilität prüft. Diese Prüfungen umfassen die Tests, (1) ob beide Ski in etwa gleich lang sind, (2) ob die Körpergröße (Abstand Kopf-Hüfte plus Abstand Hüfte-Knöchel) im Bereich zwischen der Hälfte der Skilänge und der vollen Skilänge





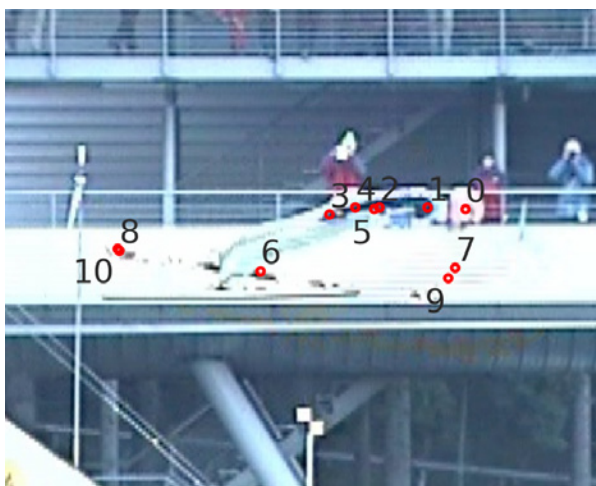


Abb. 2: Beispiele für falsch erkannte Posen

liegt, (3) ob der Kopf oberhalb der Skispitze liegt, (4) ob die Hand weit genug von den Skipunkten und dem Kopf entfernt liegt, (5), ob die Längen von Unter- und Oberschenkel in etwa gleich sind, (6) ob die Größe des Oberkörpers in etwa identisch zur Größe des Unterkörpers ist, (7) ob alle Körperpunkte weit genug von den Bildgrenzen entfernt liegen und (8) ob alle Gelenkpunkte mit Ausnahme des Knöchels auf einer Seite der Ski liegen. Mit diesen Überprüfungen können alle Posen aus Abb. 2 entfernt werden. Im Schnitt erkennt dieser Schritt 42,8 % der Posen als falsch, sodass im Anschluss durchschnittlich 8 Posen übrig bleiben. Ein Beispiel für den Effekt dieses Schritts findet sich in Abb. 3. Auf der linken Seite werden alle 15 erkannten Posen des neuronalen Netzes dargestellt, zentriert auf das Hüftgelenk. Rechts werden die übrigen acht Posen nach der Plausibilitätsprüfung gezeigt.

Diese übrigen Posen werden nun als Eingabe für einen robusten Schätzer verwendet. Eine normale Mittelung hat den Nachteil, dass einzelne Ausreißer das Endergebnis grundlegend beeinflussen können und somit nur eine einzelne falsche Pose, die im vorigen Schritt nicht entfernt wurde, das Gesamtergebnis unbrauchbar machen kann. Das entwickelte System verwendet RANSAC (Random Sample Consensus) (Chum, 2003) mit einem konstanten Modell als robusten Schätzer. RANSAC funktioniert so, dass es sich zufällig eine gewisse Anzahl an Daten auswählt und den Mittelwert aus diesen Daten berechnet. Anschließend werden aus allen Daten die „Inlier“ bestimmt, wobei Daten als Inlier gelten, wenn sie weniger als einen bestimmten Schwellwert vom Mittelwert entfernt liegen. Der Mittelwert wird im Anschluss nochmals aktualisiert auf den Mittel-

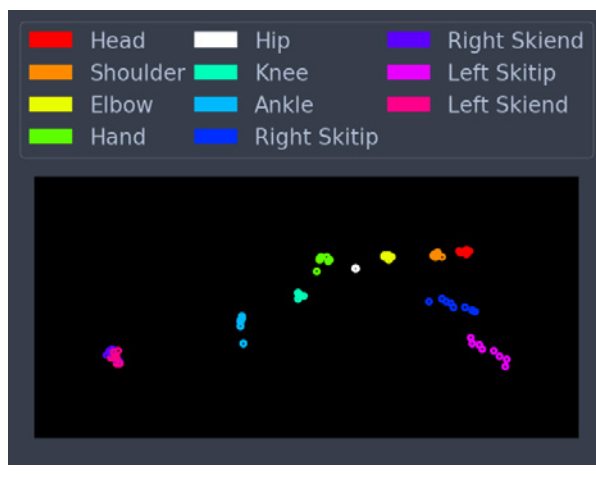
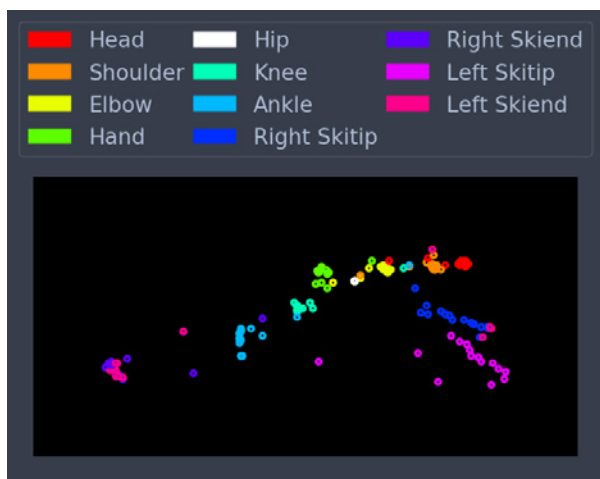


Abb. 3: Effekt der Plausibilitätsprüfung: links sind alle 15 erkannten Posen des neuronalen Netzes dargestellt, rechts die übrigen acht Posen nach der Plausibilitätsprüfung.



wert aller Inlier. Diese Schritte werden für eine feste Anzahl an Iterationen wiederholt und der Mittelwert zurückgegeben, der auf der größten Anzahl an Inliern beruht. Für das entwickelte System wurden zwei unterschiedliche Varianten von RANSAC ausprobiert. Die erste Variante berechnet zunächst die Flugparameter aus allen Eingangsposen und verwendet alle Werte eines Parameters als Eingabe für RANSAC, was dann eine robuste Schätzung pro Winkel ausgibt. Die zweite Variante normiert alle Posen so, dass das Hüftgelenk im Ursprung des Koordinatensystems liegt, und verwendet die normierten Positionen der einzelnen Körper- und Skipunkte als Eingabe für RANSAC. So erhält man eine robust geschätzte Pose, aus der anschließend die Flugparameter abgeleitet werden. Das System führt jeweils 100 Iterationen von RANSAC mit jeweils vier zufällig gewählten Werten aus. Der Schwellwert bei der Variante mit Winkeln als Eingabe liegt bei 4 Grad Abweichung, der Schwellwert für die Variante mit Posen als Eingabe liegt bei 35 % der Torso-Länge der Person.

### 3 Ergebnisse

Als Grundlage für das Training des neuronalen Netzes dient ein Datensatz bestehend aus 10.070 händisch annotierten Einzelbildern von 290 verschiedenen Sprüngen, wobei die Videos von unterschiedlichen Skisprung-Events, verschiedenen Skisprungschancen, unterschiedlichen Athletinnen und Athleten mit verschiedenen Anzügen und Körperstaturen sind, sowie zu unterschiedlichen Wetter- und Lichtverhältnissen aufgenommen wurden. Der Datensatz beinhaltet annotierte Bilder der Flugphase, aber auch der Anlaufphase auf der Schanze, wo die Skier nicht annotiert sind, da sie nicht sichtbar sind. Diese Bilder wurden ebenfalls für das Training verwendet. Die Ergebnisse, die in diesem Abschnitt präsentiert werden, wurden auf einer unabhängigen Testdatenmenge mit 3.388 Bildern von 101 unterschiedlichen Sprüngen gesammelt. Ein Beispiel für eine Detektion findet sich in Abb. 4.

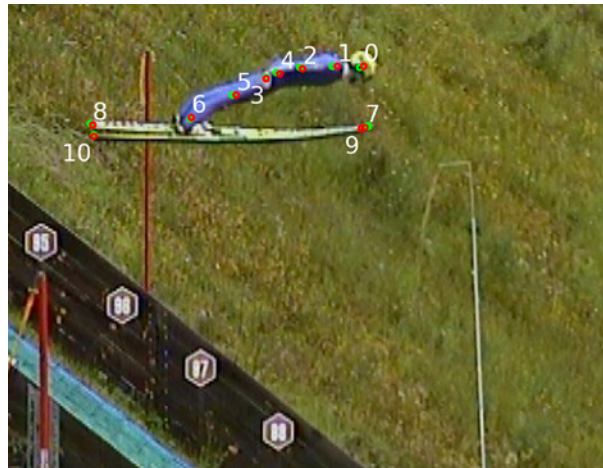


Abb. 4: Beispiel für eine Detektion des neuronalen Netzes (rot) und der händischen Annotation (grün)

Zur Evaluation der Ergebnisse gibt es zwei relevante Metriken. Die erste nennt sich PCK (Percentage of Correct Keypoints). Sie bewertet die Genauigkeit der Körper- und Skipunkte basierend auf den annotierten Punkten. Ein Punkt wird als korrekt bezüglich eines Schwellwertes  $s$  angesehen, wenn die Distanz zwischen dem detektierten und dem annotierten Punkt weniger als  $s$  mal die Torso-Größe ist, wobei als Torso-Größe der Abstand zwischen Schulter und Hüfte verwendet wird. Die PCK-Kurve mit variablen Schwellwerten für alle Körper- und Skipunkte ist in Abb. 5 dargestellt.

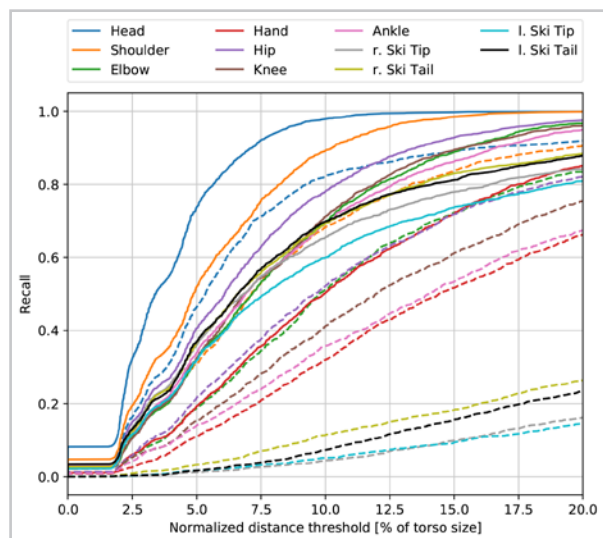


Abb. 5: PCK-Kurven für variable Schwellwerte. Die Ergebnisse des bisherigen Systems sind gestrichelt dargestellt, die Ergebnisse des neuen Systems mit durchgezogenen Linien

Diese Metrik kann jedoch nur die Detektionsleistung des neuronalen Netzes messen, nicht aber die finalen Ergebnisse des Systems nach Filterung und robuster Schätzung, da hier nur Winkel vorliegen. Zur Evaluation dieser für die Trainerteams wichtigeren Ergebnisse wird die analoge Metrik PCA (Percentage of Correct Angles) verwendet. Ein Winkel wird von dieser Metrik als korrekt bezüglich eines Schwellwertes angesehen, wenn der Ergebniswinkel des vorgestellten Systems nicht mehr als  $s$  vom berechneten Winkel aus den annotierten Daten abweicht. Abb. 6 zeigt die PCA-Kurve aller Flugparameter mit variablen Schwellwerten, sowohl für RANSAC mit Winkeln als auch für RANSAC mit Körper- und Skipunkten.

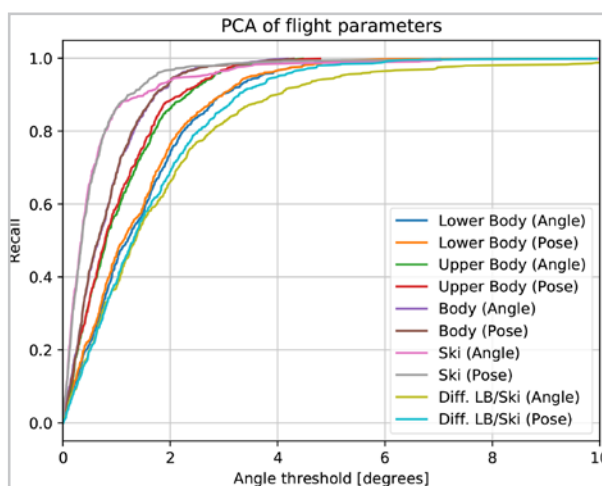


Abb. 6: PCA-Kurven für variable Schwellwerte für RANSAC mit Winkeln und RANSAC mit Posen

### 4 Diskussion

Im Vergleich zum bisherigen System erlangt das neue System eine deutlich höhere Genauigkeit. In den PCK Werten sieht man den Unterschied besonders deutlich bei den Skiern (siehe Abb. 5).

Auch die PCA Werte konnten signifikant gesteigert werden (Abb. 6).

Abb. 7 zeigt die Unterschiede an den Schwellwerten 3° und 5° für das bisherige System, das neue neuronale Netz mit normaler Mittelung und die beiden unterschiedlichen RANSAC-Methoden. Allein der Einsatz von Mask R-CNN als neuronales Netz verbessert die Gesamtgenauigkeit bei einem Schwellwert von 3° um absolut 18,7 % und um absolut 11,6 % bei einem Schwellwert von 5°. Auch hier sind die Unterschiede besonders bei den Skiern sehr deutlich mit bis zu 30 % Steigerung, bei allen Parametern findet man jedoch eine Verbesserung um mindestens 5 %.

Beide RANSAC Methoden verbessern die Ergebnisse der reinen Mittelwertberechnung noch weiter, mit Ausnahme des Skiwinkels bei RANSAC mit Winkeln. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Skipunkte die geringsten PCK-Werte und somit die größten Detektionsfehler haben. Winkel, die zu solchen falschen Posen gehören, können jedoch trotzdem als Inlier zum finalen Ergebnis beitragen, wenn genug andere falsche Beispiele ebenfalls in der zufälligen Auswahl liegen. RANSAC mit Posen hat dieses Problem nicht, da der Abstand zu einem Referenzpunkt eine härtere Bedingung zu sein scheint als die bloße Übereinstimmung von Winkelwerten. Dies zeigt sich auch im Gesamtergebnis: RANSAC mit Posen erreicht für alle Flugparameter die besten Ergebnisse.

Für einige Winkel erzielt RANSAC mit Winkeln dieselben Ergebnisse, es ist jedoch nie besser. Bei einem Schwellwert von 3° erzielt das neue System somit eine Genauigkeit von 94,0 %, was eine Steigerung von 3,4 % im Vergleich zu Mask R-CNN darstellt. Bei einem Schwellwert von 5° sind sogar 99,3 % aller Flugparameter korrekt, dies ist um 1,4 % besser als die Genauigkeit von Mask R-CNN ohne robuste Schätzung.

System	Unterkörper	Oberkörper	Gesamtkörper	Ski	Diff. U.K./Ski	Gesamt
Zecha@3°	64,0	75,6	84,4	80,9	51,3	71,3
Mask R-CNN@3°	84,6	92,3	97,4	97,4	81,3	90,6
RANSAC Winkel@3°	90,1	96,4	<b>97,9</b>	96,3	82,3	92,8
RANSAC Posen@3°	<b>90,3</b>	<b>96,7</b>	<b>97,9</b>	<b>98,2</b>	<b>86,1</b>	<b>94,0</b>
Zecha@5°	84,3	91,0	95,8	88,4	72,0	86,4
Mask R-CNN@5°	97,4	99,0	99,8	98,6	94,9	98,0
RANSAC Winkel@5°	<b>98,9</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	98,6	94,3	98,4
RANSAC Posen@5°	<b>98,9</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>99,2</b>	<b>97,9</b>	<b>99,3</b>

Abb. 7: Übersicht der PCA-Werte der einzelnen Flugparameter bei den Schwellwerten 3° und 5° für das bisherige System, das neue neuronale Netz und die beiden RANSAC Varianten

Für den Oberkörper- und den Gesamtkörperwinkel kann das neue System sogar alle Werte aus den Testdaten korrekt bestimmen.

Abschließend lässt sich also sagen, dass das in diesem Projekt entwickelte System eine sehr genaue automatisierte Schätzung der Flugparameter liefert, die so in der Praxis eingesetzt werden kann. Ausführliche Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden in einem wissenschaftlichen Aufsatz (Ludwig, 2020) bei einer internationalen Konferenz publiziert.

## 5 Literatur

- Chum, O., Matas, J., & Kittler, J. (2003). Locally optimized ransac, *Proceedings of the Joint Pattern Recognition Symposium* (236-243). Springer.
- He, K. Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask r-cnn, *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2961-2969.
- Ludwig, K., Einfalt, M., & Lienhart, R. (2020). Robust estimation of flight parameters for ski jumpers, *2020 IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW)*, 1-6.
- Zecha, D., Eggert, Ch., Einfalt, M., Brehm, S. & Lienhart, R. (2018). A convolutional sequence to sequence model for multi-modal dynamics prediction in ski jumps, *Proceedings of the 1st International Workshop on Multimedia Content Analysis in Sports*, 11-19.

# Goalball Paralympics Tokyo: Individualisiertes Training, Wettkampfvor- und -nachbereitung

(AZ 072007/19-20)

*Renate M. Leithäuser, Max Niemeyer, Tobias Vestweber, Stefan Weil, Johannes Günther & Ralph Beneke (Projektleitung)*

Philipps-Universität Marburg, Institut für Sportwissenschaft und Motologie, Bereich Medizin, Training und Gesundheit

## 1 Problem / Hintergrund des Projektes

Die Goalballnationalmannschaft der Herren hat seit den Paralympics in Rio de Janeiro im Jahr 2016 eine enorme Leistungsentwicklung vollzogen. So konnte 2018 die Silbermedaille bei der Weltmeisterschaft in Malmö und 2019 die Goldmedaille bei der Europameisterschaft in Rostock gewonnen werden. Entsprechend gilt die Deutsche Goalballnationalmannschaft als ein Favorit für die Paralympics in Tokyo 2020/21.

Große Turniere wie Weltmeisterschaften und Paralympics sind in der Sportart Goalball durch eine hohe Wettkampfdichte gekennzeichnet. Demnach erfolgen Einsätze oft an direkt aufeinanderfolgenden Spieltagen oder sogar mehrere Spiele an einem Tag. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass die Paralympics in Tokyo unter extremen klimatischen Bedingungen stattfinden. Zum geplanten Austragungstermin, Ende August/Anfang September, beträgt die mittlere maximale Tagestemperatur ca. 31° Grad Celsius und die mittlere Luftfeuchtigkeit 73 % (DWD, 2020). Öffentliche Gebäude und Verkehrsmittel sind hingegen stark klimatisiert mit Temperaturen von oft < 20° Grad. Dies erhöht die Gefahr für gesundheitliche Probleme.

Für ein erfolgreiches Abschneiden bei den Paralympics in Tokyo 2020/21 ist es jedoch unabdingbar, dass alle Spieler der Goalballnationalmannschaft die Turnierphase ohne Erkrankungen überstehen und bei den Einsätzen möglichst optimal regeneriert sind.

Entsprechend kommt der unmittelbaren Wettkampf- bzw. Spielvor- und -nachbereitung eine hohe Bedeutung zu, um eine optimale Regeneration und eine Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit zu gewährleisten. In bisherigen Forschungsprojekten wurden diverse regenerationsfördernde Maßnahmen und Marker für die Diagnostik von Ermüdung und Erholung in Olympischen Sportarten umfangreich evaluiert (Meyer et al. 2016; 2020).

Es ist jedoch unklar, ob diese Marker und Maßnahmen auch bei sehbehinderten Sportlern praktikabel sind und im individuellen Fall einen Mehrwert bieten.

Die Ziele des Projekts waren deshalb:

- › Entwicklung, Etablierung und Erprobung spielplanabhängiger, individualisierter und kollektiver Wettkampfvor- und Nachbereitungsroutinen für Turniere mit hoher Wettkampfdichte und/oder extremen klimatischen Bedingungen
- › Systematische Analyse der Goalball-EM in Rostock 2019 bez. neuer Tendenzen einschließlich individueller und kollektiver Wettkampfvor- und Nachbereitungsroutinen im internationalen Spitzengoalball und Anpassung des Trainings und entsprechender Routinen für die Paralympischen Spiele Tokyo 2020 bzw. 2021.



## 2 Methode / Vorgehen

Im Fokus des Projekts stand die Goalballnationalmannschaft der Herren. Die Durchführung des Projekts erfolgte zwischen August 2019 und April 2020. Das methodische Vorgehen umfasste im Wesentlichen vier Schritte:

Zunächst erfolgte im Vorfeld der EM 2019 in Rostock durch eine Befragung des Trainerteams eine Bestandsaufnahme der bisherigen Wettkampfvor- und Nachbereitungsmaßnahmen der Nationalmannschaft. Unter Einbeziehung der Trainer/Betreuer wurde der Mannschaft für die EM angeraten, alle individuellen Maßnahmen sowie auch alle bei früheren Wettkämpfen etablierten Mannschaftsroutinen unverändert durchzuführen. Basierend auf einer umfangreichen Literaturrecherche zum Regenerationsmanagement wurde der Mannschaft angeraten das Programm zusätzlich etwas zu erweitern.

Während der EM 2019 in Rostock erfolgte dann die Erfassung und Erprobung verschiedener Marker der Wettkampfbelastungen. Erweitert wurde die Mannschaftsroutine durch das Erfassen der Ruheherzfrequenz, der Schlafqualität mittels dreistufiger Skala (gut, mittel, schlecht) und des aktuellen Empfindens des Erholungsbeanspruchungszustandes mittels der Kurzskala „Erholung & Beanspruchung“ (KEB; Kellmann, Kölling & Hitzschke, 2016). Diese Erfassung fand über den gesamten Turnierverlauf täglich zur selben Zeit vor dem Frühstück statt. Zusätzlich wurde ca. 30 Minuten nach jedem Spiel das Session-RPE (Foster et al., 2020) abgefragt. Weiterhin erfolgte während der EM eine genaue Beobachtung der Mannschaften anderer Nationen hinsichtlich ihrer jeweiligen Spielvor- und -nachbereitungen.

Im Anschluss an die EM erfolgte die kritische Betrachtung der eingesetzten Maßnahmen unter Kosten-Nutzenabwägung und Praktikabilität sowie Anpassung der Trainings- und Wettkampfroutinen unter Berücksichtigung aktueller Tendenzen im internationalen Spitzengoalball in der Vorbereitung der Paralympischen Spiele 2020/2021 in Tokyo.

Abschließend erfolgte die Integration der neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Thema Regenerationsmanagement in die Wettkampfvor- und Nachbereitungsroutine der

Goalballnationalmannschaft. Da bedingt durch die Covid 19-Pandemie alle Nationalmannschaftsspiele in der Saison 2020 abgesagt wurden, konnte eine weitere Erprobung der neuen Maßnahmen bisher nur unter Lehrgangs- und nicht unter Wettkampfbedingungen erfolgen.

## 3 Ergebnisse

Die im Vorfeld der EM durch Befragung des Trainer- und Betreuerteams erfolgte Bestandsaufnahme, welche Maßnahmen bisher im Rahmen der Wettkampfvor- und -nachbereitung durchgeführt werden, wurde bei der EM durch informelle Gespräche mit den Spielern ergänzt, um zu eruieren, welche zusätzlichen individuellen Maßnahmen von ihnen praktiziert werden.

Für die erhobenen Daten Ruheherzfrequenz, Schlafqualität, KEB-Score und Session-RPE erschien eine statistische Betrachtung aufgrund der geringen Teilnehmerzahl nicht sinnvoll und widerspräche auch der Intention der Marker-Erfassung in diesem Projekt, die einen Schwerpunkt auf die individuelle Beurteilung legt, um dem Trainerteam im Turnierverlauf eine zusätzliche Sicht auf den individuellen Spieler zu ermöglichen.

Alle Maßnahmen haben sich prinzipiell als gut durchführbar, zeitökonomisch und wenig belastend erwiesen, lediglich bei der Erfassung der Ruheherzfrequenz haben sich in Abhängigkeit von der Sehbehinderung Probleme ergeben, so dass eine „echte“ Ruheherzfrequenz nicht immer erfasst werden konnte. Hier wurde die Möglichkeit erörtert, dass ggf. ein Trainer/Betreuer die Möglichkeit bekommt, Zugriff zur Pulsuhr der Athleten bzw. den Daten zu erhalten, um den Marker Ruheherzfrequenz für alle Athleten nutzen zu können.

Die Betrachtung der Schlafqualität zeigte, wie sich der Schlaf z. B. bei einem Athleten, der eine Infektion der oberen Atemwege entwickelte, über das Turnier verschlechterte. Bei vier der sechs Athleten zeigte sich, dass die Schlafqualität unmittelbar vor dem Finale deutlich verschlechtert war im Vergleich zu den Nächten in der Vorrunde.

Das Session-RPE demonstrierte recht eindrucksvoll wie unterschiedlich beanspruchend ein Spiel von Stammspielern mit ähnlicher Spielzeit



wahrgenommen wird. Speziell jüngere Spieler scheinen insbesondere bei hart umkämpften Entscheidungsspielen auf der Skala von 0-10 einen um zwei Punkte höheren Wert anzugeben im Vergleich mit den „alten Hasen“. Diese erhöhte Beanspruchung hat sich am nächsten Morgen nicht im KEB-Score widerspiegelt. Veränderungen in einer Kategorie von einem Punkt im KEB von Tag zu Tag entsprechen wahrscheinlich einer „normalen“ biologischen Variabilität. Veränderungen um zwei Punkte an einem Tag sowie von jeweils einem Punkt in die gleiche Richtung über zwei aufeinanderfolgende Tage sollten von Seiten der Betreuer im Gespräch mit dem Athleten nachgegangen werden.

Die Analyse während der EM 2019 in Rostock bezüglich möglicher neuer Tendenzen der unmittelbaren Wettkampfvor- und -nachbereitung im europäischen Spitzengoalball zeigte sehr eindrucksvoll, dass bei anderen Nationen vergleichsweise wenige Maßnahmen der Vor- und Nachbereitung von Spielen während eines Turniers systematisch durchgeführt werden. Hier nahm die deutsche Mannschaft mit ihren ritualisierten Abläufen von Maßnahmen eine Sonderposition ein.

## 4 Diskussion / Transfer in die Praxis

Die systematische Analyse europäischer Spitzengoalballmannschaften bei der EM 2019 in Rostock war ein Teilziel dieses Projektes, um ggf. weitere Anregungen für ergänzende sinnvolle Maßnahmen für die eigene Mannschaft erhalten zu können. Hierbei zeigte sich jedoch, dass der Professionalisierungsgrad in der Vor- und Nachbereitung der Spiele der deutschen Mannschaft im Verlauf eines großen Turniers bereits sehr hoch ist und sich andere Nationen in der Vorbereitung zunehmend an der deutschen Nationalmannschaft orientieren.

Die im Vorfeld mit den Trainern und Betreuern diskutierten Erweiterungen des Maßnahmenkatalogs wurden erfolgreich implementiert und während der Turnierphase durchgeführt. Probleme mit der Durchführung, wie z. B. bei der Ruheherzfrequenzmessung, wurden direkt adressiert und nach Verbesserungsmöglichkeiten

gesucht. Hauptziel war hierbei, einen für nachfolgende Turniere einfach einsetzbaren Maßnahmenkatalog parat zu haben, mit dem Athleten und Betreuer vertraut und zufrieden sind. Auf Blutmarker wurde hierbei bewusst verzichtet, da für ihre sinnvolle Nutzung eine zeitnahe Analyseinfrastruktur vorhanden sein müsste, was bei internationalen Turnieren wie den Paralympischen Spielen nicht gegeben ist.

Nach der für das deutsche Team sehr erfolgreichen Heim-EM wurde in weiteren Meetings mit den Trainern/Betreuern ein umfangreiches Prozedere von individuellen und kollektiven Maßnahmen für die Paralympischen Spiele in Tokyo erarbeitet, was zusätzlich noch auf die speziellen klimatischen Bedingungen abzielt. Es wurde angeraten, diesen erarbeiteten Maßnahmenkatalog in kommenden Turnieren wie z. B. der EM 2021 anzuwenden und weiter zu verinnerlichen. Die regelmäßige Anwendung ermöglicht den Trainern/Betreuern dann auch, stabilere Basiswerte für alle ihre Athleten zu erhalten. Stabilere Basiswerte helfen dann, individuelle Abweichungen besser als Indikatoren für eventuelle Probleme nutzen zu können.

## 5 Literatur

- Deutscher Wetterdienst DWD (2020). *Klimatafel von Tokyo, Insel Honshu/Japan*. Abgerufen am 20. November, 2020 unter: [https://www.dwd.de/DWD/klima/beratung/ak/ak\\_476620\\_kt.pdf](https://www.dwd.de/DWD/klima/beratung/ak/ak_476620_kt.pdf)
- Foster, C., Boulosa, D., McGuigan, M., Fusco, A., et al. (2020). 25 Years of Session RPE: Historical Perspective and Development. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, im Druck.
- Kellmann, M., Kölling, S. & Hitzschke, B. (2016). *Das Akutmaß und die Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport*. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft 2016/07. Sportverlag Strauß.
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeiffer, M. (Hrsg.) (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport. REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Sonderpublikation des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (Hrsg.). Sportverlag Strauß. Abgerufen am 20. November 2020 unter: <https://regman.org/regman-broschueren/>
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M. & Pfeiffer, M. (Hrsg.) (2020). *Regenerationsmanagement im Spitzensport (Teil 2). REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Sonderpublikation des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (Hrsg.). Abgerufen am 20. November 2020 unter: <https://regman.org/regman-broschueren/>

# Entwicklung und Evaluation eines Systems zur Bestimmung des individuellen Technik- und Ermüdungsprofils von Baseball Pitchern zur Verletzungsprävention

(AZ 072008/19-20)

*Steffen Willwacher (Projektleitung), Patrick Mai & Uwe Kersting*

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Biomechanik und Orthopädie

## 1 Problem

Während der Wurfbewegung im Baseball treten die höchsten im Sport beobachteten Gelenkwinkelgeschwindigkeiten auf. Extreme Segmentbeschleunigungen sind in Verbindung mit einer unsauberen Bewegungsausführung ursächlich für eine hohe Belastung des aktiven und passiven Bewegungsapparates und mitverantwortlich für eine hohe Verletzungshäufigkeit im Schulter- und Ellenbogengelenk bei Baseball Pitchern im Leistungsbereich. Der verletzungsbedingte Ausfall von Pitchern ist als kritischer Faktor für die Leistungsfähigkeit der Nationalmannschaft(en) anzusehen. Als ursächlich für die im internationalen Vergleich hohe Inzidenz insbesondere von Schulterverletzungen bei Pitchern in Deutschland wurde maßgeblich die hohe Anzahl von Würfen innerhalb eines Spiels angeführt. Da es in Deutschland nur eine relativ geringe Anzahl an auf internationalem Niveau leistungsfähigen Pitchern gibt, werden diese überproportional häufig eingesetzt bzw. erhalten überproportional lange Einsatzzeiten, was zu deutlich erhöhten Wurfvolumina im Vergleich z. B. zu Pitchern in den USA oder Japan führt. Als weiteres Problem wurde eine oft fehlerhafte Bewegungsausführung angeführt, die das Verletzungsrisiko weiter erhöht. Als Ursache hierfür wurden fehlende Möglichkeiten zur zeitnahen Quantifizierung der belastungsrelevanten Technikparameter sowohl im Nachwuchs-, als auch im Top-Bereich angeführt.

Im Mittelpunkt dieses Projekts stand die Quantifizierung von belastungsrelevanten Technikparametern, die gegen Normwerte aus der Lite-

ratur verglichen werden sollen. Des Weiteren sollte eine Software geschaffen werden, mit der sich die Veränderung der Pitchingtechnik von Athleteninnen und Athleten eines hohen Leistungsniveaus unter spieltypischer Ermüdung quantifizieren und grafisch darstellen lässt. Diese Erkenntnisse können dann in die Trainerausbildung und Verletzungsprophylaxe (z. B. durch spezifisches Krafttraining) transferiert werden.

Im DBV sind in der Vergangenheit Ansätze zur Quantifizierung der Pitching Bewegung mittels traditioneller Bewegungsanalysemethoden verfolgt worden. Diese wurden aber wieder verworfen, da die Auswertung der Ergebnisse nicht zeitnah erfolgen konnte und ein hohes spezifisches Knowhow des Untersuchungspersonals erforderte. Somit waren ein flächendeckender Einsatz und der Einsatz im Sinne eines Messplatztrainings zum direkten Feedback an den Athleten nicht möglich.

Aktuelle Fortschritte in der Methodik des markerlosen, automatischen Trackings der menschlichen Bewegung versprechen heute, die Ganzkörper-Wurfbewegung von Pitchern mit hinreichender zeitlicher und räumlicher Auflösung zu quantifizieren (z. B. <http://www.simi.com/en/products/movement-analysis/markerless-motion-capture.html>). Für eine direkte Anwendung dieser Messungen für die Sportpraxis bedarf es allerdings einer Weiterverarbeitung der Rohdaten in ein für Athleten, Trainer und Leistungsdiagnostiker attraktives Format. Für einen Normdatenvergleich mit bestehenden Literaturwerten muss zudem sichergestellt werden, dass die biomechanischen Variablen in

identischer Weise und zu Kernzeitpunkten wie in den wichtigsten Literaturquellen quantifiziert werden. Eine solche Software Applikation stand vor dem Start des Projekts für den Baseball Sport in Deutschland nicht zur Verfügung.

Daher war es das Ziel des vorliegenden Projekts, eine Software Applikation zur schnellen Verarbeitung von Bewegungsanalysedaten in ein für Trainer anwendbares Format zu erstellen.

## 2 Methode

In der ersten Phase des Projekts wurden das zu entwickelnde System und insbesondere die Softwareapplikation in enger Absprache zwischen dem DBV, OSP NRW/Rheinland und dem IBO konkretisiert. Des Weiteren wurde abgeklärt, wie diese Parameter zurückgemeldet werden sollen (z. B. tabellarisch und/oder grafisch oder in Form von kurzen Bewegungsanimationen) und wie schnell die Ergebnisse vorliegen müssen (z. B. Sekunden oder Minuten). Fragen dieser Art waren essentiell im Entwicklungsprozess, um eine gewinnbringende Nutzung des Systems in der Praxis des Baseballsports sicherzustellen.

Im Wesentlichen sollte die Software Applikation über folgende Fähigkeiten verfügen:

- › **Datenimport:** Das System muss über eine Schnittstelle verfügen, um Datenexporte aus dem Simi Shape System einlesen zu können. Der Datenexport aus dem Simi Shape System erfolgt in Form einer binären .c3d-Datei und enthält u. a. für jeden Wurf

Zeitreihen der 3D-Koordinaten der Hauptgelenke des Körpers (Zeitstempel, x,y,z-Koordinaten). Diese müssen entsprechend in der Datenbank des Systems strukturiert abgelegt werden, um den späteren Zugriff zu ermöglichen. In Abb. 1 ist ein Beispiel der vom Simi Shape System ermittelten Roh-Gelenkkoordinaten graphisch dargestellt.

- › **Datenvorverarbeitung:** Die 3D-Rohkoordinaten müssen mit Hilfe einer geeigneten Filtermethode (z. B. rekursiver Butterworth Tiefpassfilter) geglättet werden. Auf der Grundlage der gefilterten 3D-Gelenkkoordinaten soll das System relevante Weg-Zeit-Parameter (z. B. Schrittweite oder das Timing von Segmentbeschleunigungen), Körperlagewinkel (z. B. Rumpfwinkel) und Gelenkwinkel und Winkelgeschwindigkeiten berechnen können. Des Weiteren sollten eine zeitliche Segmentierung von Zeitreihen und eine Zeitnormalisierung möglich sein, um die Vergleichbarkeit von verschiedenen Versuchen in den Hauptbewegungsphasen zu ermöglichen.
- › **Datenanalyse:** Zur Datenreduktion sollen in einem ersten Schritt diskrete Repräsentanten aus Positions- und Winkel -

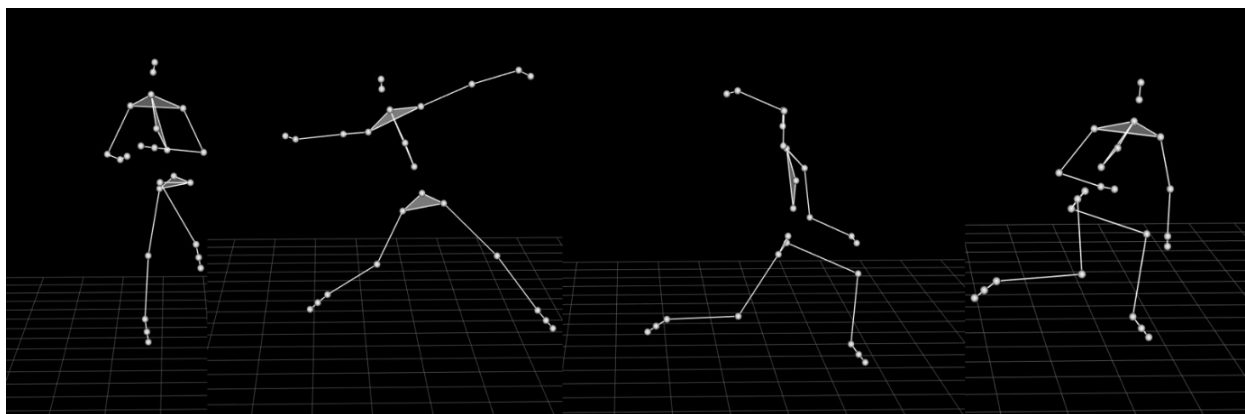


Abb. 1: Roh-Markerkoordinaten eines Beispielwurfs in sagittaler Ansicht (von rechts).

Zeitverläufe extrahiert werden: Minima, Maxima und Werte zu den kritischen Zeitpunkten der Pitching Bewegung. Diese kritischen Zeitpunkte sind in der internationalen Literatur etabliert und werden auch vom DBV zur Phaseneinteilung der Pitching Bewegung verwendet. Darüber hinaus soll das System die Möglichkeit bieten, über die jeweilige Zeitreihe hinweg das arithmetische Mittel und die Standardabweichung zu berechnen. Da menschliche Bewegungen immer durch eine gewisse Variabilität gekennzeichnet sind (Bernstein, 1967; Stergiou & Decker, 2011), sollte das System die Möglichkeit bieten, die genannten Parameter über mehrere Versuche hinweg zu mitteln, um eine mittlere Performance des Schützen darstellen zu können. Weiterhin soll die Möglichkeit bestehen, die Entwicklung der Bewegungsausführung über viele Würfe hinweg zu analysieren und zu visualisieren.

- **Datenvisualisierung:** Das System sollte grundsätzlich eine grafische und/oder tabellarische Darstellung der Ergebnisse ermöglichen, um sicherzustellen, dass Trainer,

Leistungsdiagnostiker und Sportler die für den Trainingsprozess relevanten Informationen unmittelbar extrahieren können.

- **Datenexport:** Schließlich sollte das System die Möglichkeit bereitstellen, die Ergebnisse zu exportieren. Dies ermöglicht eine Weiterbearbeitung im Rahmen von z. B. Wissenschaftlichen Arbeiten und Publikationen.

### 3 Ergebnisse

Die Berechnung der Verlaufskurven und Parameter der Pitching-Kinematik erfolgt innerhalb weniger Sekunden auf einem handelsüblichen Notebook Computer. Dieser Bearbeitungsschritt muss insgesamt nur einmal pro Versuch durchgeführt werden. Danach wird dieser Versuch abgespeichert und kann in eine Datenbankstruktur eingefügt werden.

Der zweite Teil des Workflows der Software Applikation erlaubt es, die Ergebnisse von einem oder mehrerer Pitches von einer oder mehrerer Athletinnen bzw. Athleten tabellarisch und graphisch darzustellen. Bei Parametern, für die aus der US-amerikanischen Literatur Referenzwerte vorliegen, erfolgt zudem ein direkter Vergleich der Ergebnisse gegen diesen Normbereich. In Abb. 2 ist die Benutzeroberfläche des Software Tools dargestellt.

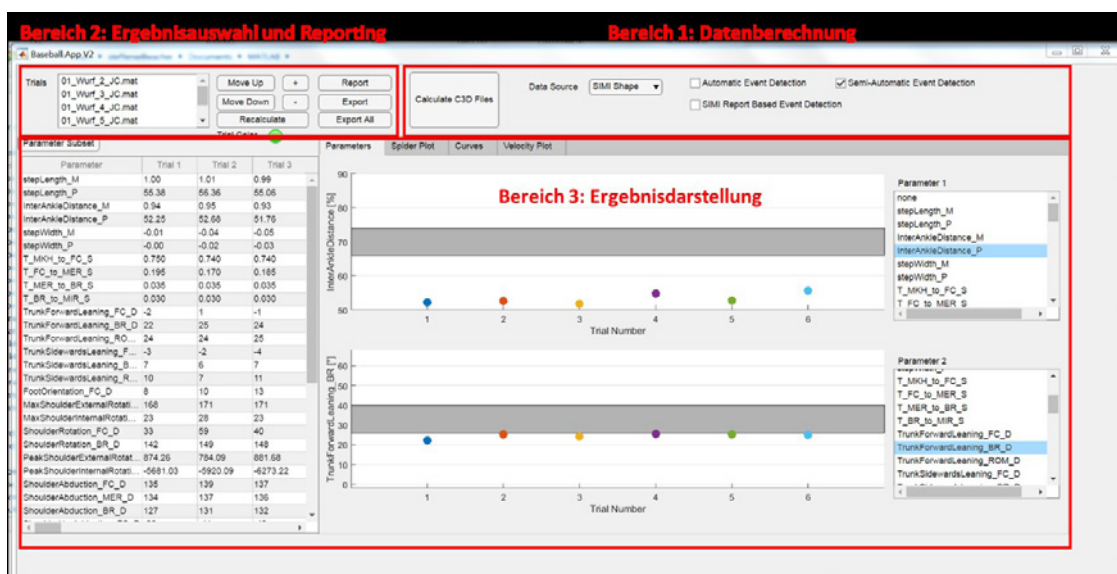


Abb. 2: Hauptteil der Benutzeroberfläche des Software Tools.



Das Hauptinterface der Benutzeroberfläche ist im Wesentlichen in drei Bereiche unterteilt. Im ersten Bereich wird der erste Teil des Workflows gestartet, und es können Details der Eventbestimmung und der Datenquelle eingestellt werden. Im zweiten Bereich können einzelne (schon berechnete) Pitches zu einer Versuchsliste hinzugefügt werden. Die Ergebnisse dieser Liste werden dann tabellarisch und visuell in Bereich 3 dargestellt. In Bereich 2 können weiterhin Schnellreports zu einzelnen Würfeln erstellt werden und der Datenexport durchgeführt werden.

Der für die Ergebnisdarstellung für Trainer und Athleten wichtigste Teil ist Bereich 3. Hier findet sich im rechten Teil eine tabellarische Darstellung der diskreten Parameter aller Versuche der Versuchsliste. Weiterhin können im rechten Teil von Bereich 3 einzelne diskrete Parameter ausgewählt werden. Für diese Parameter werden dann alle Würfe graphisch im mittleren Teil des Bereichs dargestellt. Falls vorhanden, wird bei dieser Darstellung auch der Normbereich der Parameter als grauer Bereich dargestellt.

Über das Anklicken verschiedener Reiter im oberen Teil von Bereich 3 können andere graphische Darstellungsmöglichkeiten gewählt werden.

So kann im Bereich „Spider-Plot“ eine Radar oder Spinnengrafik der wichtigsten Parameter erfolgen. Abb. 3 zeigt beispielhaft eine solche Darstellung für drei Würfe.

Bei dieser Darstellung wird der Normbereich durch zwei schwarze Linien markiert. Die einzelnen Parameter sind jeweils auf den Normwert normalisiert und können somit direkt miteinander verglichen werden. Mit dieser Darstellung kann das Wurfprofil einer Spielerin oder eines Spielers über mehrere Würfe hinweg verglichen werden, oder die Wurfprofile mehrere Spielerinnen bzw. Spieler direkt miteinander verglichen werden.

Unter dem Reiter „Curves“ können die mit dem Software Tool berechneten Verlaufskurven auf verschiedene Art und Weise graphisch dargestellt werden. Abb. 4 (Seite 5) zeigt die graphische Darstellung des Schulter Rotationswinkels vom Event „Foot Contact“ bis „Ball Release“. Die Verläufe können entweder als Funktion der absoluten Zeit (in [s]) oder als Funktion der relativen Zeit („zeitnormalisiert“) dargestellt werden. Weiterhin können verschiedene Events als Punkt auf den Verlaufskurven dargestellt werden.

Eine weitere Darstellungsweise der Ergebnisse ist die Darstellung der resultierenden Geschwindigkeiten der Gelenkzentren. Diese kann unter dem Reiter „Velocity Plot“ gefunden werden (Abb. 5, Seite 5).

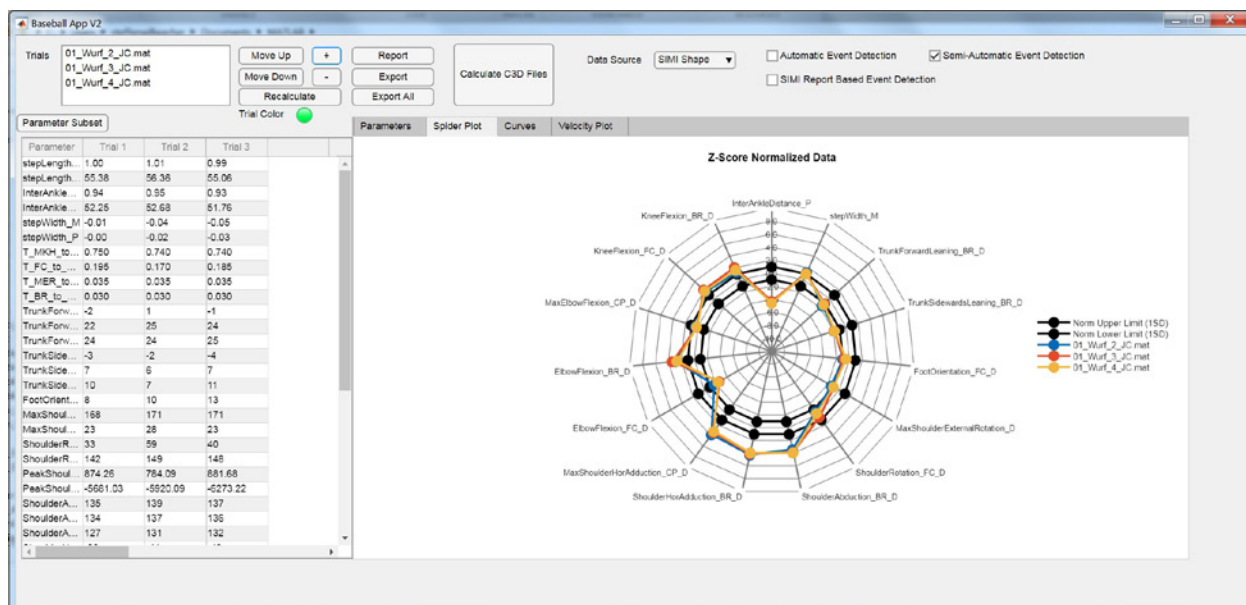


Abb. 3: Spider-Plot Darstellung.

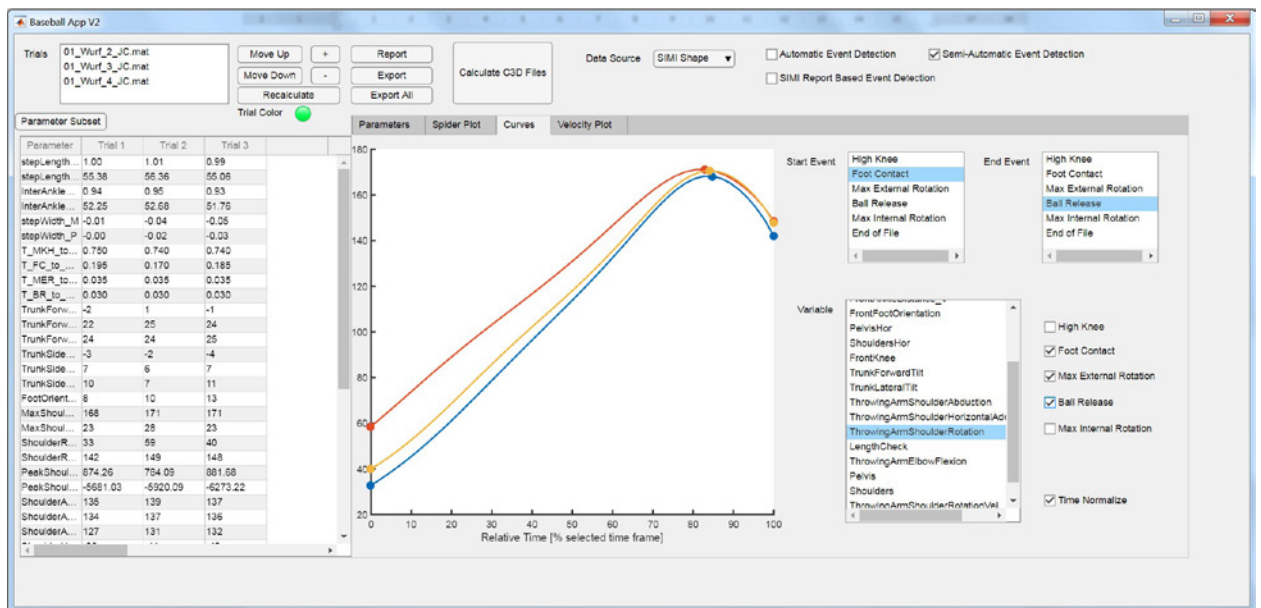


Abb. 4: Darstellung von Verlaufskurven im Software-Tool.

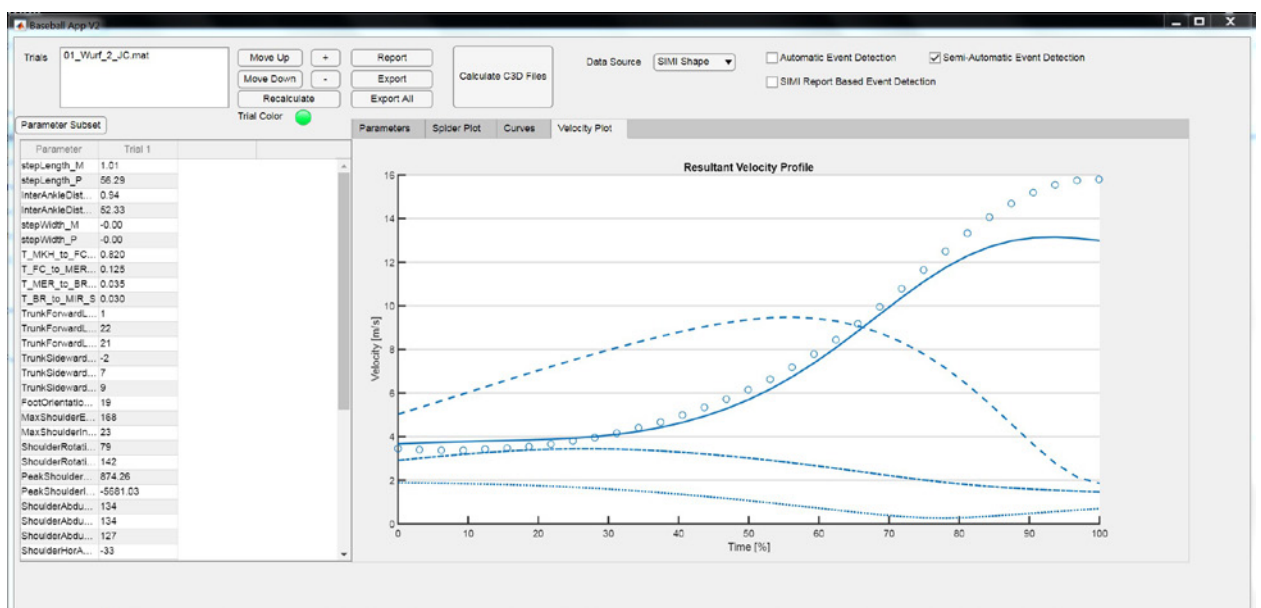


Abb. 5: Darstellung der resultierenden Gelenkgeschwindigkeiten des Schulter-, Ellenbogen-, und Handgelenks sowie der Hand.

## 4 Diskussion

Das Ziel des vorliegenden Projekts war es, eine Software Applikation zur schnellen Verarbeitung von Bewegungsanalysedaten in einem für Trainer anwendbares Format zu erstellen.

Diese Software Applikation wurde erfolgreich entwickelt und steht dem DBV und dem OSP NRW / Rheinland als Betreuungseinrichtung für die Leistungsdiagnostik und für ein Feedback Training zur Verfügung.

Neben der Entwicklung des Software Systems wurden innerhalb dieses Projekts wichtige generelle Erkenntnisse über die Verwendung von markerlosen Tracking Systemen gewonnen. Die im Rahmen einer Testmessung erhobenen Messdaten des Simi Shape Systems konnten hierbei den Genauigkeitsansprüchen, die an ein Messsystem zur Analyse der Pitching Bewegung gestellt werden müssen, nicht entsprechen. Die großen Vorteile, die ein markerloses Bewegungsanalysesystem theoretisch für die

Leistungsdiagnostik und das Feedbacktraining bietet, nur abgerufen werden können, wenn die Bestimmung der Gelenkkoordinaten mit ausreichender Genauigkeit erfolgt. Neben dem direkten Effekt einer ungenauen Bestimmung der Gelenkkoordinaten auf Berechnung von Lage- und Gelenkwinkeln kann es zu Schwierigkeiten bei der Bestimmung von zeitlichen Events, die die Phasenstruktur der Bewegung beschreiben, kommen.

Durch die Corona Pandemie konnten jedoch in diesem Projekt (bisher) nur wenige Daten mit dem SIMI Shape System erhoben werden. Es ist geplant, nach Wiederaufnahme des Spielbetriebs weitere Messungen im Rahmen eines Bundesligaspiels zu erheben. Hierbei wird es interessant sein zu sehen, ob es möglich ist, genauere Rohdaten mit dem SIMI Shape System zu ermitteln. Andernfalls sollten in zukünftigen Studien Möglichkeiten zur Verbesserung der Tracking Qualität von markerlosen Tracking Systemen exploriert werden. Gegebenenfalls sollten hierbei auch grundlegend andere Ansätze für die markerlose Bewegungsanalyse (z. B. Ansätze basierend auf Maschinellem Lernen) zum Einsatz kommen.

## 5 Literatur

- Bernstein, N. A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Pergamon Press.
- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Human Movement Science*, 30(5), 869-888.

# Entwicklung eines regelkonformen Skisprunganzugs mit verbesserten Flugeigenschaften.

## Teilprojekt 1: Erarbeitung eines vertieften Materialverständnisses

AZ 072011/19-20

Volkmar von Arnim (Projektleitung), Thomas Stegmaier & Matthias Schweins

Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf

### 1 Problem

Im Skisprung entwickelt sich der Sprunganzug zu einem Sportgerät, dessen Leistungsfähigkeit und Eigenschaften entscheidend für den Wettkampferfolg sind. Das Reglement schreibt die Konstruktion und Konfektion des Skisprunganzugs mittlerweile recht detailliert vor. Geringe Freiheiten werden aber von den Herstellern und Verbänden für Optimierungsversuche der aerodynamischen Eigenschaften genutzt. Die Bewertung der Optimierungsversuche erfolgt dabei ganz überwiegend über den praktischen Test durch die Aktiven auf der Schanze und durch die subjektive Rückmeldung der Sportlerinnen und Sportler. Regelmäßig berichten die Skispringerinnen und Skispringer dabei, dass sich der Anzug in seinen Flugeigenschaften gegenüber vorherigen Sprüngen verändert hat.

Neben den nachgewiesenen physikalischen Einflüssen des Anzugs auf die flugrelevanten Parameter wie Reibung, Luftwiderstand und Auftrieb ist auch die psychologische Wirkung auf die Sportlerinnen und Sportler sehr wichtig. Voraussetzung für eine optimale Leistung ist das Vertrauen der Athletinnen und Athleten in den Sprunganzug und dessen Eigenschaften. Unsicherheiten darüber, ob der Anzug die idealen Voraussetzungen für optimale Weite und sichere stabile Fluglage besitzt, verunsichern die Aktiven, was häufig dazu führt, dass Skispringerinnen und Skispringer nach einem schwachen Sprung den Anzug wechseln, und insbesondere für Wettkämpfe neue oder kaum benutzte Anzüge verwenden.

In konsequenter Weiterentwicklung der bereits durchgeführten eigenen Konfektionierung der Anzüge durch den DSV ist es notwendig, das Materialverständnis und die Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Anzugaufbau und Sprungverhalten wesentlich zu vertiefen.

### 2 Methode

In erster Linie hängen die aerodynamischen Kräfte auf den Skispringer bzw. die Skispringerin von der Haltung einschließlich der Skiorientierung ab (Schwameder, 2001). Einen wichtigen Einfluss auf die aerodynamischen Kräfte hat aber auch der Sprunganzug, insbesondere der Anzugschnitt. Durch Reglementfestlegung des Stoffaufbaus (5-Lagen-Speziallaminat bestehend aus: Oberstoff/Schaumstoff/Elastische Membrane (Folie)/Schaumstoff/Futterstoff), des Schnitts und der körpermaßspezifischen Konfektionierung wurde der aerodynamische Einfluss des Anzugs insgesamt verringert und nivelliert. Die Oberstoffe der Skisprunganzüge bestehen aus einer Kettenwirkware, deren „Satin-Seite“ als Außenseite verwendet wird. Die richtungsabhängige Textur und Oberflächenrauigkeit wird durch Chintzen teilweise geglättet.

Für die systematischen Untersuchungen wurden zusammen mit dem DSV-Trainerstab 6 Materialien als 2 m Stückware sowie 2 Materialien als Bahnware mit dem üblichen fünfflagigen Wettkampfaufbau ausgewählt.



Die durchgeführten Maßnahmen und textilphysikalischen Untersuchungen umfassten folgende Systematik:

- › Beschichtung mit wasserabweisender Imprägnierung
- › Rasterelektronenmikroskopische Oberflächencharakterisierung der beschichteten und unbeschichteten Anzugstoffe
- › Messung der Luftdurchlässigkeit der beschichteten und unbeschichteten Anzugstoffe
- › Messung der Haft- und Gleitreibung an beschichteten und unbeschichteten Anzugstoffen
- › Rasterelektronenmikroskopische Charakterisierung der Schaumlagen der beschichteten und unbeschichteten Anzugstoffe
- › Zyklische Zug-Dehnungsmessungen in zwei Richtungen der beschichteten und unbeschichteten Anzugstoffe.

Das Projekt war auf die Nationalmannschaft bzw. den Skisprung-Olympiakader in allen nordischen Disziplinen und gleichermaßen auf die Damen- und Herrenmannschaft ausgerichtet. Der Skisprung-Trainerstab und die Athletinnen und Athleten wurden in das Projekt eingebunden, da für die Bewertung der Ergebnisse das

Feedback der Sportler bzw. Sportlerinnen zum Verhalten ihres Sprunganzugs als Sportgerät wichtig ist. Der DSV benötigte die Begleitung des Vorhabens, um für sein Ziel, mehr Eigenentwicklung in den Sprunganzug zu bringen, rechtzeitig wichtige Entscheidungen zu fällen. Der Transfer erfolgte daher auf Basis dieser engen Zusammenarbeit zwischen Materialforschung, Verband und Sportlern speziell in die Nationalmannschaft.

### 3 Ergebnisse

Die wasserabweisende Imprägnierung wurde mit einem industrieüblichen Schaumauftrag durchgeführt. Die Anzugstoffe veränderten sich augenscheinlich dabei nicht. Oberflächenhomogenität, Farbton und Glanz, Textilstruktur sowie Schaumstruktur blieben erhalten (Abb. 1).

Die Luftdurchlässigkeitsmessung nach textilphysikalischer Prüfnorm zeigte hohe Abhängigkeiten vom Materialaufbau. Im Gegensatz zur wettkampfüblichen Vor-Ort-Messung konnte mit den Laborprüfungen ein relevanter Anteil der Leckluft bei der Prüfung nachgewiesen werden. Die Stärke der Oberstoffkalandrierung (Glättung) zeigte nur geringe Einflüsse auf die Luftdurchlässigkeit.

Hinsichtlich der Reibungskoeffizienten wiesen die Muster insgesamt niedrige und eng beieinander liegende Reibungswiderstände auf. Neben der Ähnlichkeit aller Muster ist auch eine weitgehende Richtungs- und Ausrüstungsunabhängigkeit der Reibungswiderstände festzustellen.

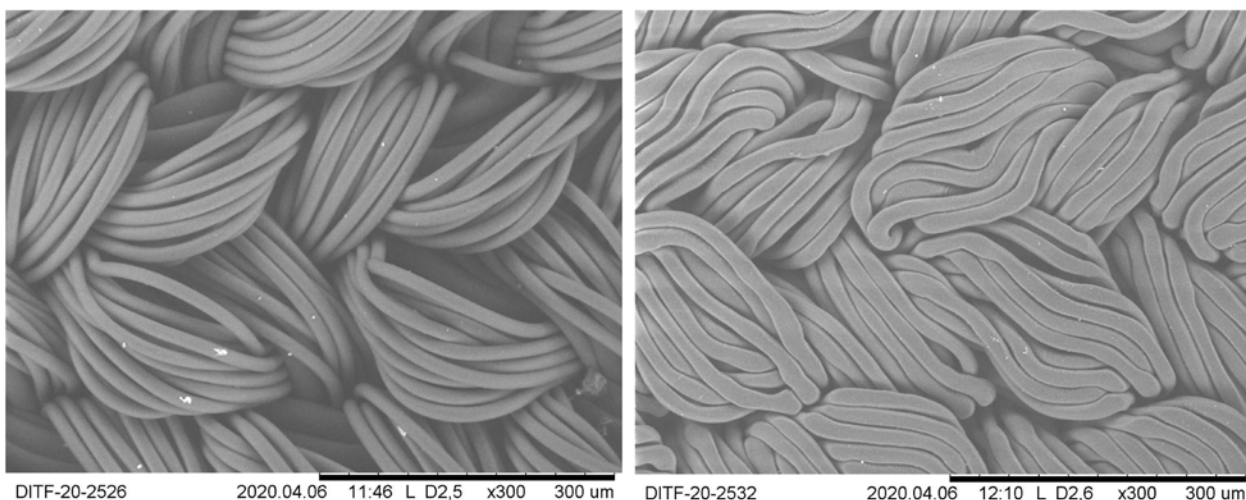


Abb. 1: typische Oberstoffstruktur im ungeglätteten (links) und geglätteten Zustand (rechts)



Die rasterelektronenmikroskopischen Analysen der Querschnitte wiesen bei allen Mustern offene porige Schäume mit unterschiedlicher Porengröße nach.

Die zyklischen Dehnungsprüfungen ergaben signifikant ansteigende Restdehnungen und abnehmende Zugkräfte innerhalb weniger Dehnungszyklen mit einer ausgeprägten Hysterese. Vor allem die neuen, noch nicht vorgedehnten Anzugmuster haben ein signifikant höheres Modul als die gedehnten Muster (Abb. 2). Insbesondere dieses Materialverhalten kann die textilphysikalische Beschreibung der subjektiven Erfahrungen der Athletinnen und Athleten sein, dass die Anzüge sich nach wenigen Sprüngen in ihren Eigenschaften verändern.

zifisch für Skisprunganzüge zeigten die Studien auf, dass der Luftwiderstand der Anzüge von der Oberflächentopographie der Oberstoffe abhängt, und dass das für die Sprungweite entscheidende Verhältnis zwischen Auftrieb und Luftwiderstand durch die Art und Ausrichtung der Textiltextur verändert werden kann. Publierte Studien berücksichtigen jedoch keine möglichen strukturellen Materialveränderungen, die im Gebrauch der Anzüge auftreten können.

Entsprechend wurde in diesem Projekt mit den fehlenden vertieften Kenntnissen über die Zusammenhänge zwischen Stoffaufbau und Materialeigenschaften im Gebrauch ein dringendes Problem im Skisprung-Sport adressiert, das durch die Sportpraxis identifiziert wurde.

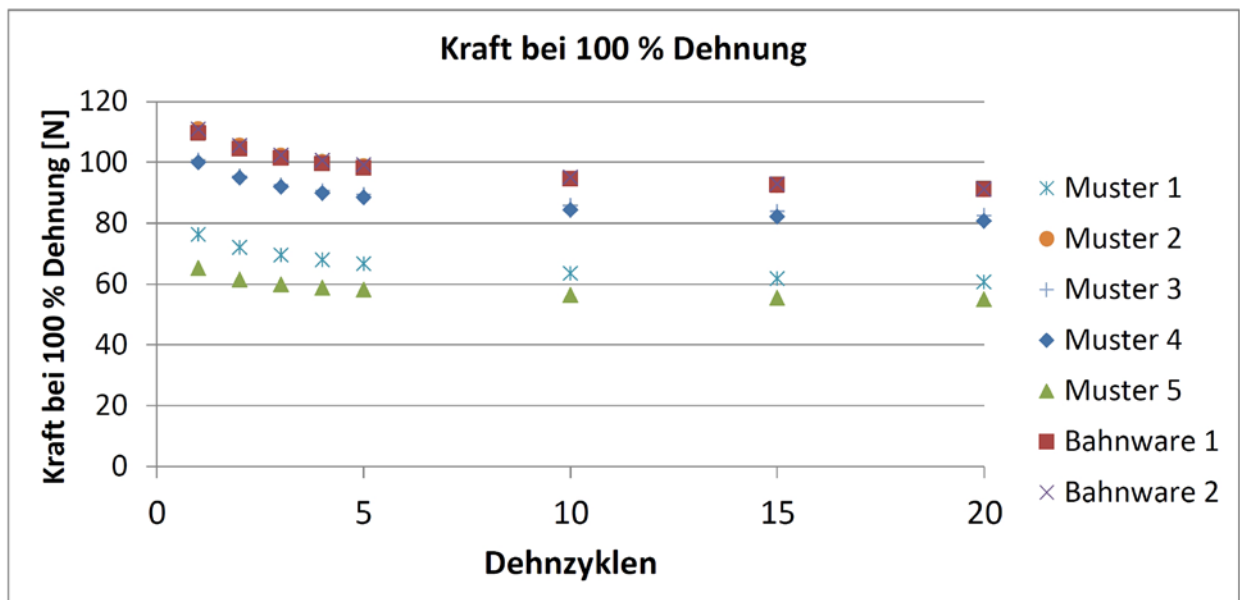


Abb. 2: Abnehmende Dehnkraft innerhalb weniger Dehnungs-Relaxationszyklen.

## 4 Diskussion

Einige wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass für viele Sportarten die Sportbekleidungen, die, wie die Skisprunganzüge, üblicherweise aus elastischen Gestrieken oder Gewirken bestehen, und insbesondere deren Oberflächen einen signifikanten aerodynamischen Einfluss haben (Oggiano, 2013). Bei den hohen Geschwindigkeiten beim Skispringen ist mit turbulenten Strömungen zu rechnen, bei denen raue Oberflächentopographien (Turbulatoren) den Luftwiderstand signifikant verringern können. Spe-

Dies umfasst auch das Erkennen struktureller Veränderungen von Skisprunganzügen bzw. des Stoffs durch ihre Handhabung und Nutzung. Vor allem zu diesen Materialveränderungen existieren praktisch keine systematischen Untersuchungen. Zwischen Stoffherstellung und Wettkampfsprung gibt es jedoch viele Vorgänge, durch die sich die Anzugseigenschaften und damit die Flugeigenschaften verändern können. Der Projektfokus lag dementsprechend auf dem Erlangen eines tieferen Materialverständnisses, um die Zusammenhänge zwischen Anzugsaufbau und Sprungverhalten zu vertiefen.

## Erfolgte Transfermaßnahmen im Einzelnen

- › Charakterisierung der Oberflächenstrukturen von Anzugstoffvarianten und Erläuterung der Ergebnisse mit dem Skisprungtrainerstab hinsichtlich der Eigenschaften in der Anwendung
- › Bewertung verschiedener Anzugstoff-Materialvarianten hinsichtlich der Eigenschaften in der Anwendung
- › Modifizierung von 6 Anzugstoffvarianten im kleinen Maßstab (3 m<sup>2</sup>) und Weitergabe an den Skisprungtrainerstab für Konfektionsversuche und orientierende praktische Tests durch die Athleten
- › Modifizierung von 2 Anzugstoffvarianten im Technikumsmaßstab (ca. 50 m<sup>2</sup>) und Weitergabe an den DSV-Trainerstab für systematische Konfektionsversuche sowie Testung des Sprungverhaltens durch die Athleten
- › Zusammenführung der Ergebnisse praktischer Versuche mit Sprunganzügen (Feedback der Athleten, Beobachtungen der Trainer) und der physikalischen Materialcharakterisierungen durch das DITF
- › Gemeinsame Bewertung der Ergebnisse und Entscheidung über Umsetzung zielführender Maßnahmen.

## 5 Literatur

- Schwameder, H., & Müller, E. (2001). Biomechanics in ski jumping: A review. *European Journal of Sport Science*, 1, 1-16.
- Oggiano, L. et al., (2013). A Review on Skin Suits and Sport Garment Aerodynamics: Guidelines and State of the Art. *Procedia Engineering*, 60, 91-98.

# Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Prävention von Sportverletzungen in der Disziplingruppe Sprint des DLV während Trainingslagern in Vorbereitung auf die Olympischen Spiele in Tokio 2020

(AZ 072012/19-20)

*Uwe Tegtbur (Projektleitung), Lena Grams, Ismael Fernández Cuevas & Rainer Knöllner*  
Medizinische Hochschule Hannover, Institut für Sportmedizin

## 1 Projektbeschreibung

Der Projektzeitraum war vom 01.08.2019-30.04.2020. Geplant war in diesem Zeitraum die Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Disziplingruppe Sprint in Vorbereitung auf die Olympischen Spiele in Tokio 2020. Durch die mit der COVID-19 Pandemie einhergehenden Einschränkungen, im Besonderen der Verschiebung der Olympischen Spiele auf 2021, konnten in dem abgeschlossenen Service-Forschungsprojekt nicht alle Ziele erreicht werden, da z. B. Trainingslager im Jahr 2020 abgesagt werden mussten.

## 2 Einleitung/Problemstellung

### 2.1 Hinführung zur Thematik

Training und Wettkampf stellen eine hohe Belastung für den Organismus von Athletinnen und Athleten dar. Besonders im Training und während Trainingslagern sind häufig hohe Belastungsintensitäten nötig, um die notwendigen Trainingsreize zu setzen, die zu einer Leistungsverbesserung führen. Insbesondere in der Disziplin Sprint, da hier mit maximaler Frequenz und Belastung gearbeitet wird und infolge dessen enorme Belastungsspitzen und Verletzungsanfälligkeit auftreten (Edouard & Alonso, 2013). Dabei ist es wichtig, dass die Wechselwirkung von Belastbarkeit, Belastung und Regeneration individuell abgestimmt ist und nicht zu Überbelastungen und im schlimmsten Fall zu Ver-

letzungen führt. Daher sollten Fehl- und Überbelastungen frühzeitig erkannt werden, um individuell angepasste Maßnahmen zur Regeneration oder zur Prävention einzuleiten. Während Trainingslagern geschieht dies durch die Beurteilung der betreuenden Trainerinnen und Trainer, Physiotherapeuteninnen bzw. -therapeuten sowie Ärztinnen und Ärzte. Eine objektive, einfach einzusetzende und nicht invasive Messmethode zur Früherkennung von potentiellen Verletzungen kann entscheidend dazu beitragen, Leistungsbeeinträchtigungen, Verletzungen und chronische Fehl- und Überbelastungssyndrome zu vermeiden. Aufgrund der hochintensiven Belastung während Trainingslagern in Vorbereitung auf internationale Wettkämpfe ist es besonders wichtig, Überbelastung und damit die Gefahr von Trainingsausfällen zu vermeiden.

### 2.2 Darlegung der praktischen Relevanz der Fragestellung

Das Verständnis der physiologischen Reaktionen des Körpers von Athleten bzw. Athletinnen durch Training und Wettkampf auf deren Gesundheit sind fundamental. Messmethoden, wie neuromuskuläre Funktionstests, Blutwerte, Fragebögen oder Leistungstests, werden häufig genutzt, um akute und akkumulative Fatigue nach Training und Wettkampf zu beschreiben. Es ist jedoch fraglich, ob die Validität, Reliabilität und Sensitivität solch komplexer Messmethoden gerade während Trainingslagern gewährleistet

werden kann. Sollte dies der Fall sein, erfassen sie den Gesundheitszustand der Athleten bzw. Athletinnen und ermöglichen ein effektives Training, ausreichende Erholungspausen und die Prävention von Verletzungen. Daher ist eine objektive und in der täglichen Routine einfach einzusetzende Messmethode in Kombination mit den Befunden der Physiotherapeuten bzw. -therapeutinnen sowie der Ärzte bzw. Ärztinnen besser geeignet, um ein möglichst dichtes Bild der Belastungsantwort der Sportler bzw. Sportlerinnen und ihres Organismus zu erhalten. Die in diesem Projekt eingesetzte Methode der Infrarot-Thermographie ist diesen Anforderungen gerecht geworden. Im Verlauf des Projektes wurde eine Datenerhebung mittels Infrarot-Thermographie während vier Trainingslagern durchgeführt. Dabei wurden 75 DLV-Athleten (33 Frauen und 42 Männer) der Disziplin Sprint untersucht. Bei 15 von ihnen zeigten sich Auffälligkeiten mit erhöhtem Risiko für Verletzungen in den Infrarot-Thermographie-Auswertungen.

### 3 Theoretischer Hintergrund

#### 3.1 Stand der Forschung

Die Infrarot-Thermographie gilt als sichere, nicht invasive, kostengünstige Methode, die es erlaubt, die vom Körper abgegebene Energie in Form von Wärmestrahlung zu erfassen. Die Visualisierung und Messung von Infrarot-Emissionen des menschlichen Körpers ermöglicht dabei eine schnelle, direkte Erfassung der physiologischen Reaktion auf Reize, die mit der Körpertemperatur assoziiert sind (Fernández-Cuevas et al., 2017). Bei der Erfassung wird der Körper in sogenannten „Regions of Interest“ (ROI) erfasst, die entsprechend der Sportart ausgewertet werden können. Sie wird bereits in den Sportarten Fußball, Basketball, Handball und Baseball im Spitzensport in Europa, den USA, in Südamerika und Asien eingesetzt und erzielte zwischen 63 % weniger Muskelverletzung (Côrte et al., 2019).

Aktuelle Studien zeigen, dass die Infrarot-Thermographie Hinweise auf muskuloskelettale Entzündungen, die mit Verletzungen, intensivem Training und Wettkampf assoziiert sind, sowie

auf chronische, muskuloskelettale, degenerative Erkrankungen geben kann (Sanchis-Sanchez et al., 2014; Sanz-Lopez et al., 2016). Weitere Studienergebnisse haben gezeigt, dass Infrarot-Thermographie genutzt werden kann, um sportabhängige Schmerzen zu erkennen und durch die Effektivität von Trainingsinterventionen das Risiko von Verletzungen zu verringern (Côrte et al., 2019). Dabei gibt eine thermale Asymmetrie durch den bilateralen Vergleich von Körperbereichen Hinweise auf eine schlechte Anpassung auf das Training oder den Wettkampf und ist ein Indikator für ein erhöhtes Auftreten einer Verletzung (Fernández-Cuevas et al., 2017).

Das Potential für eine effektive Anwendung von Infrarot-Thermographie in der Sportwissenschaft ist groß, da sie als eine objektive und schnelle Methode über ein Bild sofort ermöglicht, einen physiologischen Blick auf den Körper zu erhalten, der zum Pre-screening von Verletzungen sowie zur Beobachtung der Belastung der täglichen Trainingsroutine genutzt werden kann. Dabei können im Gegensatz zu den üblichen Messmethoden zusätzliche Informationen über den Körper gesammelt werden, die in Rücksprache mit Trainerinnen bzw. Trainern, Ärzten und Ärztinnen sowie Physiotherapeuten bzw. -therapeutinnen die Entscheidung über die Belastung im Training und den Verlauf einer Rehabilitation erleichtern.

### 4 Fallbeispiele

Im Folgenden werden zwei Beispiele näher betrachtet.

#### 4.1 Beispiel 1: Normalfall

Die Aufnahmen (Abb. 1 und 2) zeigen die Infrarot-Thermographiebilder eines männlichen Sprinters, der weder über Schmerzen klagte, noch bekannte Verletzungen hatte. Zu sehen ist die Verlaufsanalyse jeweils zu Beginn der vier Trainingslager. Es gab keine Notwendigkeit, das Training oder die allgemeine physiotherapeutische Begleitung zu adaptieren, da die Temperaturunterschiede im rechts-links Vergleich weniger als 0,9 Grad Celsius betragen.



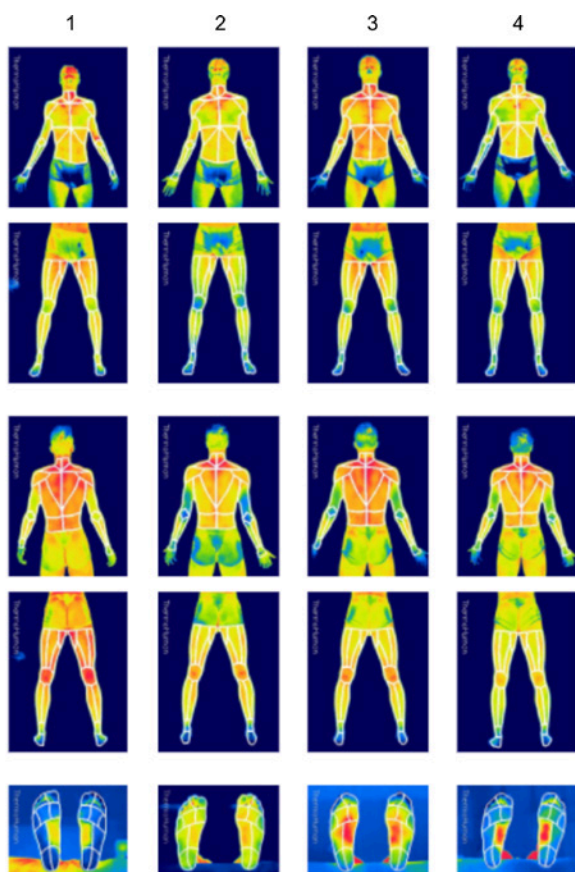


Abb. 1: Verlaufsanalyse jeweils zu Beginn der vier Trainingslager. Dargestellt sind die Originalaufnahmen der Kamera.

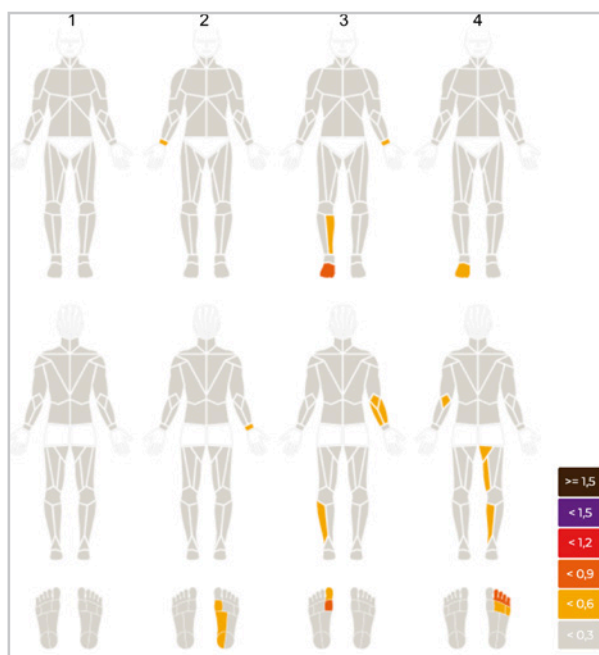


Abb. 2: Auswertung der in Abb. 1 gezeigten Bilder. Dargestellt sind die Temperaturunterschiede der verschiedenen „Regions of Interest“ (ROI) zwischen links und rechts. Angezeigt wird nur die wärmere Seite.

## 4.2 Beispiel 2: Überlastungssyndrom

In diesem Beispielfall handelt es sich um eine Sprinterin, die über Beschwerden im linken Hüftbeuger und linken Sprunggelenk klagte. Nach einer Infrarot-Thermographieanalyse (Abb. 3 und 4), wiesen die Bilder darauf hin, dass der angegebene Schmerz im linken Hüftbeuger vom N. Ischiadikus kommt, da der linke Beuger kälter ist als der rechte. Es wurde empfohlen, die Hüfte links, sowie den linken M. Gluteus und das Sprunggelenk zu untersuchen. Daraufhin wurde ein MRT veranlasst, welches auf eine bevorstehende Stressfraktur im Mittelfuß hindeutete. Eine daraufhin abgestimmte konservative Therapie mit 6-wöchiger Trainingspause und physiotherapeutischer Behandlung verhinderte einen langfristigen Komplettausfall und ermöglichte das Fortsetzen der Wettkampfsaison.

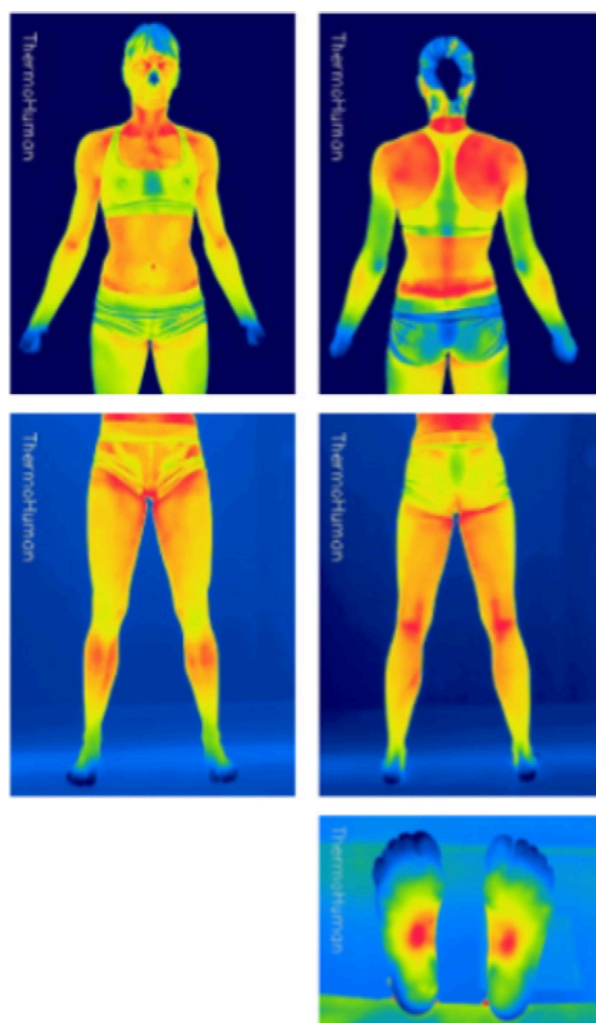


Abb. 3: Originalaufnahme



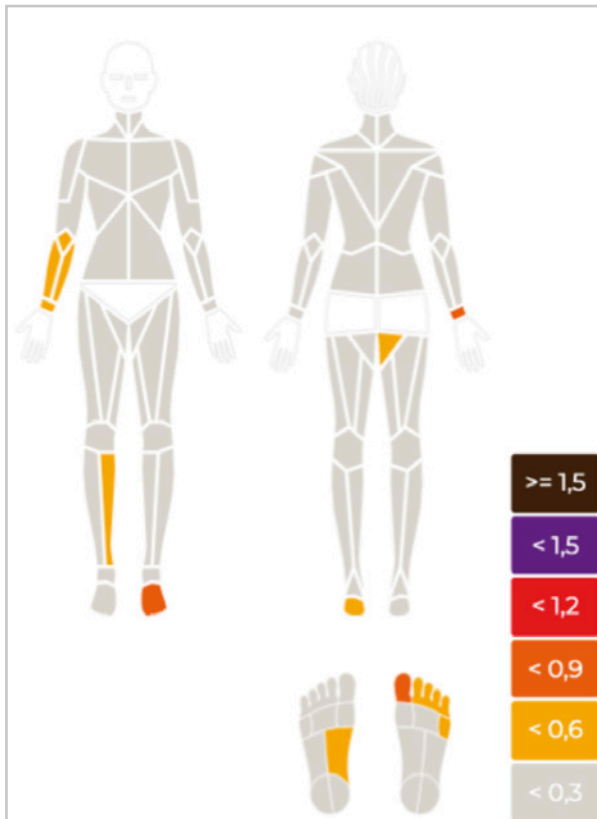


Abb. 4: Avatar mit den daraus resultierenden ROIs.

## 5 Literatur

- Côrte, A. C., Pedrinelli, A., Marttos, A., Souza, I. F. G., Grava, J., & José Hernandez, A. (2019). Infrared thermography study as a complementary method of screening and prevention of muscle injuries: pilot study. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5(1), e000431. doi: 10.1136/bmjsem-2018-000431
- Edouard, P., & Alonso, J.-M. (2013). Epidemiology of Track and Field Injuries. *New Studies in Athletics*, 28(1/2), 85-92.
- Fernández-Cuevas, I., Arnáiz Lastras, J., Escamilla Galindo, V., & Gómez Carmona, P. (2017). Infrared Thermography for the Detection of Injury in Sports Medicine. In J. I. Priego Quesada (Ed.), *Application of Infrared Thermography in Sports Science* (pp. 81-109). Springer International Publishing.
- Sanchis-Sanchez, E., Vergara-Hernandez, C., Cibrian, R. M., Salvador, R., Sanchis, E., & Codoner-Franch, P. (2014). Infrared Thermal Imaging in the Diagnosis of Musculoskeletal Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Roentgenology*, 203(4), 875-882.
- Sanz-Lopez, F., Martinez-Amat, A., Hita-Contreras, F., Valero-Campo, C. & Berzosa, C. (2016). Thermographic Assessment of Eccentric Overload Training within Three Days of a Running Session. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 504-511.

# Erarbeitung individueller taktischer Entscheidungsregeln bei risikoreichen Schlägen im Golf

(AZ 072007/20-21)

Stefanie Klatt (Projektleitung) & Florian Seifriz

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik (Abt. 2)

## 1 Problem

Eine Frage, die sich alle Golfspielende immer wieder stellen, lautet: „Soll ich bei dem nächsten Schlag ein Risiko eingehen und einen Schlag gewinnen oder besser den sicheren Schlag ausführen und einen Schlag mehr benötigen?“ Dass Golfer und Golferinnen vor dieser Entscheidung stehen, ist aber oft kein Zufall, sondern eine von den Golfplatz-Designern durchaus geplante Situation. Sie entwickeln Bahnen angelegt nach dem Risk-and-Reward Prinzip (Risiko-und-Lohn Prinzip): Je mehr man sich vom Abschlag traut, desto einfacher wird der folgende Schlag an die Fahne. Ein Risk-and-Reward Loch bietet Golfern und Golferinnen klare strategische Optionen. Darunter befindet sich eine riskante Option, die einen deutlichen Vorteil für die weiteren Schläge darstellt, wenn sie erfolgreich genutzt wird. Ein Risk-and-Reward Loch wäre zum Beispiel eine PAR-4 Bahn, bei der es einen direkten Weg vom Abschlag auf das Grün gibt. Auf diesem Weg muss der Ball jedoch potentielle Gefahren, wie ein Wasserhindernis oder mehrere Bunker, passieren oder überwinden. Ein anderer Weg führt an den Gefahren vorbei, erfordert aber in der Regel einen Schlag mehr.

Die Abb. 1 zeigt beispielhaft eine PAR-4 Bahn, bei der mit einem risikoreichen Abschlag direkt auf das Grün ein Schlag gewonnen werden könnte.

Die richtige Entscheidung zu treffen ist von vielen Faktoren abhängig, und allgemein gültige Aussagen sind nicht möglich, da die individuellen Fähigkeiten der Spieler und Spielerinnen dabei verloren gehen. Ein Lösungsansatz wäre das Aufstellen von Entscheidungsregeln für bestimmte Spielertypen. Solche Entscheidungsregeln haben sich in anderen Bereichen bereits etabliert. Die Entscheidung, ob eine Person kreditwürdig ist, wird oft durch solche Regeln getroffen. Potenzielle Kreditnehmer und Kreditnehmerinnen werden auf Grund ihrer Eigenschaften der Gruppe der kreditwürdigen oder nicht kreditwürdigen Personen zugeordnet. Entwickelt worden sind diese Regeln durch die Auswertung von in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen mit Kreditnehmern und Kreditnehmerinnen. Übertragen auf den Golfsport müssten Cluster mit Typen von Golfspielenden gefunden werden, die in bestimmten Situationen erfolgreich oder nicht erfolgreich spielen. Das Clustering kann mit Hilfe eines Modells, basierend auf den Daten aus der PGA-Tour, erfolgen.

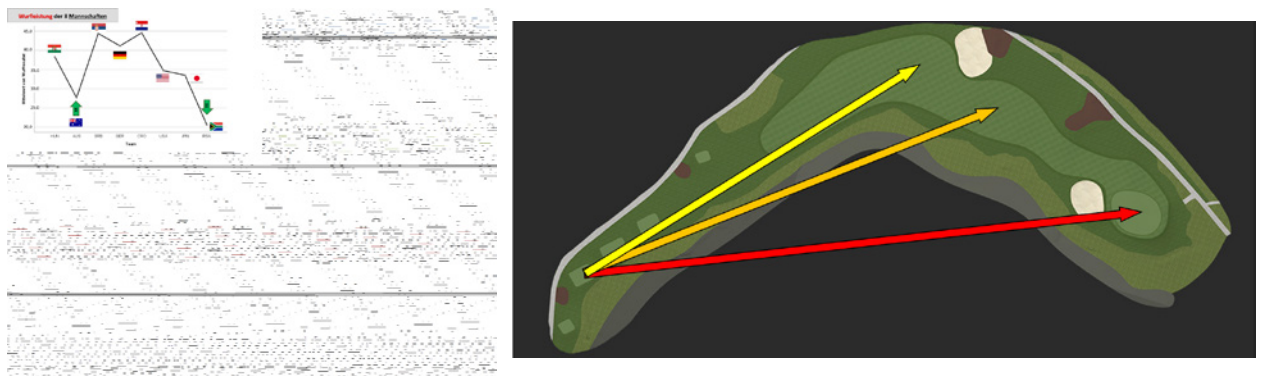


Abb. 1: Risk-and-Reward (5. Bahn, PAR-4 mit 380 m) auf Sea Island Resort (Seaside)

Bei der PGA-Tour spielen nur männliche Golfer, deshalb beziehen sich alle weiteren Aussagen zum Clustering nur auf männliche Golfer. Die PGA (ShotLink™) sammelt seit 2003 zu jedem Schlag auf der PGA-Tour eine umfangreiche Menge an Daten und Informationen. Dieser Datenpool stellt eine hervorragende Grundlage für die Analyse der Risikobereitschaft und den damit einhergehenden Erfolg bzw. Misserfolg dar. Im ersten Teilprojekt eines Service-Forschungsprojektes sollte deshalb folgende Frage beantwortet werden:

Lassen sich Spieler clustern, die in risikobehafteten Situationen erfolgreich bzw. nicht erfolgreich agiert haben?

In einem auf den bisherigen Erkenntnissen aufbauenden und geplanten Teilprojekt 2 sollen die Ergebnisse als Grundlage zur Findung von Entscheidungsregeln genutzt werden mit dem Ziel, die Risikoabschätzung und damit das taktische Verhalten von DGV Golfern langfristig zu verbessern.

## 2 Methodik

### 2.1 Daten

Die PGA stellte bis 2017 ihre über ShotLink™ erhobenen Daten für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung. In einem ersten Schritt sind die Daten aus den Jahren 2003 bis 2017 in ein Datenbanksystem (PostgreSQL) überführt und bereinigt worden. Die gesamte Datenbank umfasst ca. 17,5 Mio. erfasste Golfschläge, die in über 280.000 Golfunden gespielt wurden.

In enger Absprache mit dem DGV fand eine Eingrenzung der „risikoreichen“ Schläge im Golf statt. Für den DGV sind aktuell die Abschläge auf kurzen PAR-4 Bahnen von besonderem Interesse. Deshalb wurden in dem Projekt diese Schläge näher untersucht. In den PGA-Daten sind diese Bahnen bereits als „Going-For-It-Hole“ gekennzeichnet worden.

Insgesamt standen damit ca. 40.000 Schläge von 755 PGA-Spielern aus den Jahren 2013-2017 auf „Going-For-It-Hole“-Bahnen für die Auswertung zur Verfügung. Berücksichtigt wurden dabei nur Spieler, von denen mehr als 10 Schläge vollständig erfasst wurden. Nach der Bereinigung standen dann von 395 PGA-Spielern 33.326 Schläge für die Clusteranalyse zur Verfügung.

### 2.2 Clusteranalyse

Um in dem geplanten zweiten Projektteil die gewonnenen Ergebnisse auf die DGV-Golfer und -Golferinnen übertragen zu können, fand zu Beginn des Projektes in Absprache mit dem Bundestrainer und dem Wissenschaftskordinator eine Bestandsaufnahme der in der Vergangenheit bereits erhobenen Daten beim DGV statt. Für die ausgewählte „Risiko“-Situation – Abschlag auf einer kurzen PAR-4 Bahn – erschienen folgende Werte für die Cluster-Analyse sinnvoll:

- › Score-PAR Differenz (Differenz aus der Anzahl der Schläge (= Score) und dem PAR der Bahn)
- › PAR der Bahn
- › Putts (Anzahl der Putts)
- › Fairway-Treffer (Anzahl der Abschläge, die auf dem Fairway landeten)
- › Schlaglänge (Länge des Abschlags)
- › Strokes-Gained „Off-the-Tee“ (beim Abschlag „gewonnene“ Schläge)
- › Strokes-Gained „Total“ (auf der gesamten Bahn „gewonnene“ Schläge).

Gewichtungsfaktoren (zur Validierung):

- › Risiko-Erfolg
- › Risiko-Abschlag-Erfolg.

Der „Strokes-Gained“-Wert (SG) stellt aktuell im Golfsport den entscheidenden Parameter zur Leistungsbeurteilung eines einzelnen Schläges dar (Broadie, 2014). Der SG-Wert eines Schläges ermittelt sich aus der Lage des Balles, der Entfernung zum Grün und den Vergleichsdaten anderer Spieler und Spielerinnen in derselben Situation (Bahn und Entfernung zur Fahne). Ein positiver Wert von z. B. 0,17 bedeutet, dass der Spieler bzw. die Spielerin einen „besseren“ Schlag im Vergleich zu anderen Spielern/Spielerinnen bei derselben Ausgangslage gemacht hat. Der Spieler bzw. die Spielerin haben also mit diesem Schlag gegenüber den anderen 0,17 Schläge „gewonnen“.

Für die gesamte Bahn werden die SG-Werte aller Schläge zum SG-Wert „Total“ addiert.

Der Gewichtungsfaktor „Risiko-Erfolg“ (RE) ergibt sich aus dem Verhältnis des Scores, des PAR-Wertes der Bahn und des SG-Wertes („Off-the-Tee“):

$$RE = \begin{cases} 1 & \text{für } SG > 0 \text{ und } Score - PAR < 0 \\ 0 & \text{für } SG > 0 \text{ und } Score - PAR \geq 0 \\ \text{sonst} & -1 \end{cases}$$

RE wird eins, wenn ein guter Abschlag (positiver SG-Wert „Off-the-Tee“) und ein guter Gesamtscore (Anzahl der Schläge unter PAR) erzielt werden. RE wird minus eins, wenn bereits beim Abschlag kein positiver SG-Wert („Off-the-Tee“) erzielt wird.

Der Gewichtungsfaktor „Risiko-Abschlag-Erfolg“ (RAE) ergibt sich aus dem Verhältnis des Scores, des PAR-Wertes der Bahn und der Anzahl der benötigten Putts:

$$RAE = \begin{cases} 1 & \text{für } Score - PAR = -1 \text{ und } Putts \geq 2 \\ 1 & \text{für } Score - PAR = -2 \text{ und } Putts \geq 1 \\ 1 & \text{für } Score - PAR = -3 \\ \text{sonst} & -1 \end{cases}$$

RAE ist positiv, wenn der gute Score (Score - PAR ist negativ) nicht über die Putts erreicht wird und negativ, wenn ein guter Gesamtscore nur durch eine überdurchschnittliche Putt-Leistung erreicht wird.

Die eigentliche Clusteranalyse wurde zunächst ohne die beiden Gewichtungsfaktoren RE und RAE berechnet. Sie dienen in einem weiteren Schritt der Überprüfung des Clusterergebnisses.

Die relevanten Werte wurden aus dem Datenbanksystem exportiert und in dem Statistikpaket „R“ weiterverarbeitet. Für die eigentliche Clusteranalyse wurden die Daten über die PGA-Spieler gemittelt und standardisiert (z-Transformation). Im Folgenden werden die verwendeten *packages* (Programmbibliotheken) in „R“ und die daraus benutzten Funktionen beschrieben. Die für das verwendete k-Means-Clusterverfahren (Kassambara, 2017) (*kmeans: stats*) notwendige optimale Clusteranzahl wurde über die Silhouetten-Methode (Kaufman & Rousseeuw, 1990) (*fviz\_nbclust: factoextra*), die Funktion *NbClust* (*NbClust: NbClust*) und die Funktion *prediction.strength* (*prediction.strength: fpc*) (Tibshirani & Walther, 2005) bestimmt. Für die Darstellung des k-Means-Clustering Resultats selbst wurde ein zweidimensionaler Scatter-Plot erzeugt, bei dem die über eine Principal-Component-Analysis (PCA) ermittelten beiden stärksten Komponenten abgebildet sind (*fviz\_cluster: factoextra*). Zusätzlich wurde über die Hopkins-Statistik die generelle Eignung der Daten für das Clustering geprüft (*get\_clust\_tendency: factoextra*).

### 3 Ergebnisse

Die Silhouetten-Methode (Abb. 2) ergab eine optimale Anzahl von zwei Clustern.

Bei der *NbClust*-Funktion wurden insgesamt 30 Indizes der Daten zur Bestimmung der optimalen Clusteranzahl ausgewertet. Danach wiesen 10 der berechneten Indizes auf eine optimale Anzahl von zwei Clustern, 9 auf 3 Cluster

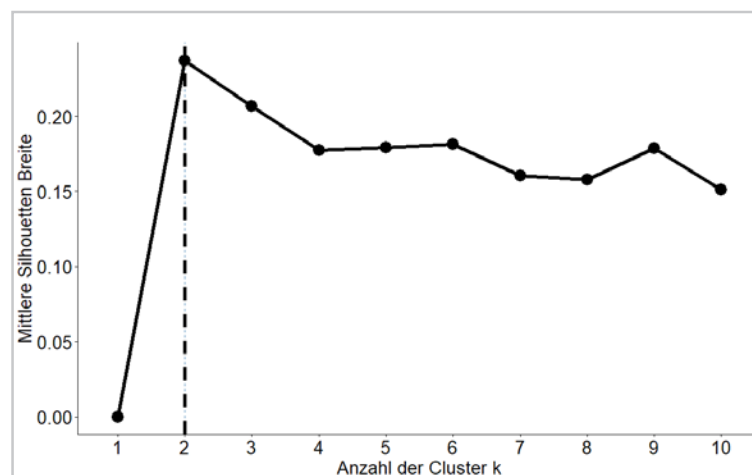


Abb. 2: Berechnung der Silhouetten Breite mit einem Maximum bei  $k = 2$



und 4 auf 4 Cluster hin. Die Funktion `prediction.strength` berechnete für zwei Cluster eine Vorhersagestärke von 77 %. Dieser Wert bestätigt somit ebenfalls eine optimale Anzahl von zwei Clustern. Die Hopkins-Statistik (`get_clust_tendency`) deutet mit einem Wert von 0,8 auf eine nicht uniforme Verteilung der PGA-Spieler-Daten hin. Eine generelle Eignung zum Clustern der Daten wird dabei durch einen Wert nahe eins ausgedrückt.

Das Ergebnis der k-Means-Clusteranalyse (für  $k = 2$ ) ist in Abb. 3 zu sehen. Die Funktion `fviz_cluster` stellt dabei die beiden stärksten Komponenten der PCA grafisch dar. Beide dargestellten Komponenten erklären zusammen 69,3 % der Varianz (Dim1: 45,4 % und Dim2: 23,9 %).

Die Spieler der Gruppe C1 „gewannen“ somit Schläge gegenüber dem Durchschnitt der PGA-Spieler auf derselben Bahn.

Die Werte der Spieler der Gruppe C2 ( $-0,051 \pm 0,092$ ) lagen im negativen Bereich. Sie „verloren“ damit Schläge gegenüber dem Durchschnitt der PGA-Spieler auf derselben Bahn. Die SG-Werte („Off-the-Tee“) für den Abschlag auf diesen Bahnen waren bei dem C1 Cluster ( $0,106 \pm 0,053$ ) deutlich höher als bei dem C2 Cluster ( $0,040 \pm 0,050$ ). Spieler aus C1 „gewannen“ also mehr Schläge vom Abschlag der PAR-4 Bahnen – im Vergleich zu allen andern PGA-Spielern – als Spieler aus C2.

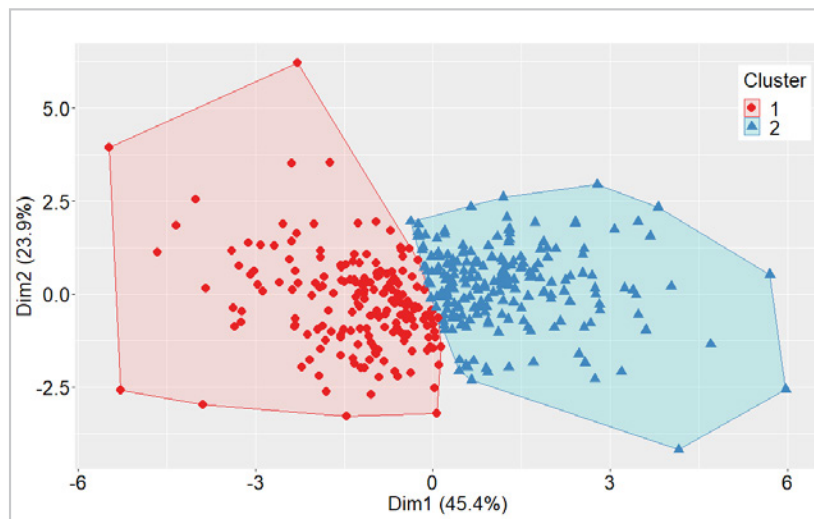


Abb. 3: Ergebnis der k-Means Clusteranalyse bei zwei Clustern ohne Gewichtungsfaktoren.

### 3.1 Beschreibung der beiden Cluster der PGA-Spieler

Von den insgesamt 395 Spielern wurden 205 Spieler dem Cluster 1 (C1) und 190 dem Cluster 2 (C2) zugeordnet. Die Spieler aus C1 hatten bei den untersuchten PAR-4 Bahnen eine niedrigere Score-PAR Differenz ( $-0,31 \pm 0,1$ ) als die Spieler aus C2 ( $-0,16 \pm 0,12$ ). Der Abschlag war bei dem Cluster C1 ( $257,7 \text{ m} \pm 8,6 \text{ m}$ ) länger als bei dem Cluster C2 ( $244,5 \text{ m} \pm 8,5 \text{ m}$ ). Bei den Fairway-Treffern vom Abschlag erzielten die Golfer aus C1 ( $48,8 \% \pm 10,0\%$ ) niedrigere Werte als die Golfer aus C2 ( $57,6 \% \pm 10,7\%$ ). Bei dem SG-Wert („Total“) über alle Schläge auf den PAR-4 Bahnen lag die Gruppe C1 ( $0,074 \pm 0,085$ ) im positiven Bereich.

## 4 Diskussion

Dem „Risiko“-Schlag (Abschlag vom Tee bei einem kurzen PAR-4) wird eine klar definierte Ausgangssituation zugesprochen, wodurch Variablen, wie z. B. die Lage des Balles, der Untergrund oder der vorherige Schlag, keine Rolle spielen. Das führt zu einer relativ geringen Anzahl an beeinflussenden Variablen und stellt somit eine gute Grundlage für eine Clusteranalyse dar. Gleichwohl ist dies eine Situation, die im aktuellen Golfsport die Trainerinnen und Trainer sowie die Aktiven des DGVs beschäftigt, da sie eben genau zwei taktische Möglichkeiten zulässt: einen risikoreichen Schlag mit der Möglichkeit, einen Schlag zu gewinnen oder eine



defensive Variante, die am Ende einen Schlag mehr erfordert.

Die im Vorfeld der Clusteranalyse durchgeführten Berechnungen deuten darauf hin, dass sich aus den Daten zwei klare Cluster erkennen lassen. Das bestätigt die taktischen Möglichkeiten in der hier untersuchten Situation einer kurzen PAR-4 Bahn. Die Clustermittelwerte der Variablen Score-PAR Differenz und SG-Wert („Total“) verdeutlichen, dass die Spieler aus C1 auf der kompletten Bahn besser waren als die Spieler aus C2.

Nun könnten die Unterschiede theoretisch auch durch gute zweite oder dritte Schläge (z. B. Putts) zustande gekommen sein. Dagegen spricht allerdings der höhere SG-Wert („Off-the-Tee“), der

zumindest auf einen Gewinn beim Abschlag hindeutet.

Um dies weiter abzusichern, haben wir den Gewichtungsfaktor RE für einen erfolgreichen Abschlag bei einem guten Score berechnet und den Gewichtungsfaktor RAE für einen guten Score bei „normalen“ Putts (2 Putts auf dem Grün). Die Clusteranalyse mit diesen zusätzlichen Gewichtungsfaktoren zeigte geringfügig deutlichere Ergebnisse bei der Aufklärung der Varianz (vgl. Abb. 4 und Abb. 5) und den anderen berechneten Werten (Vorhersagestärke *prediction.strength* und Hopkins-Statistik). Auch die deskriptiven, beschreibenden Clusterwerte unterschieden sich nicht wesentlich.

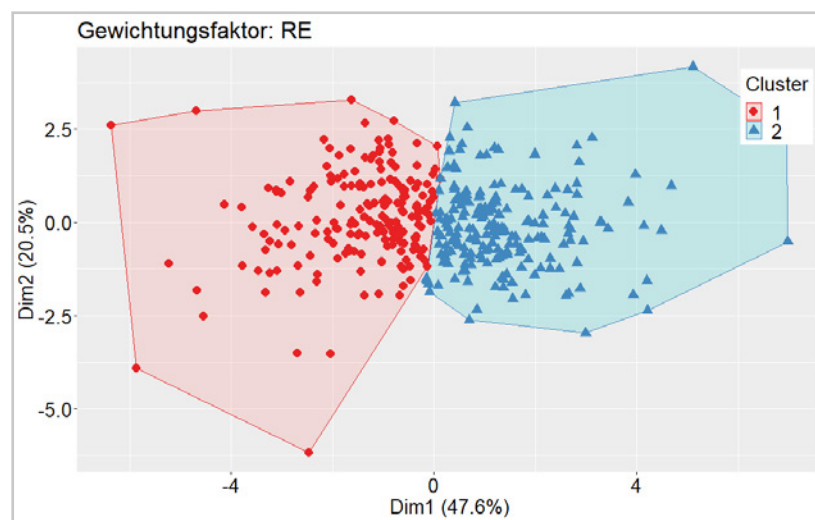


Abb. 4: Ergebnis der k-Means Clusteranalyse bei zwei Clustern mit dem Gewichtungsfaktor RE

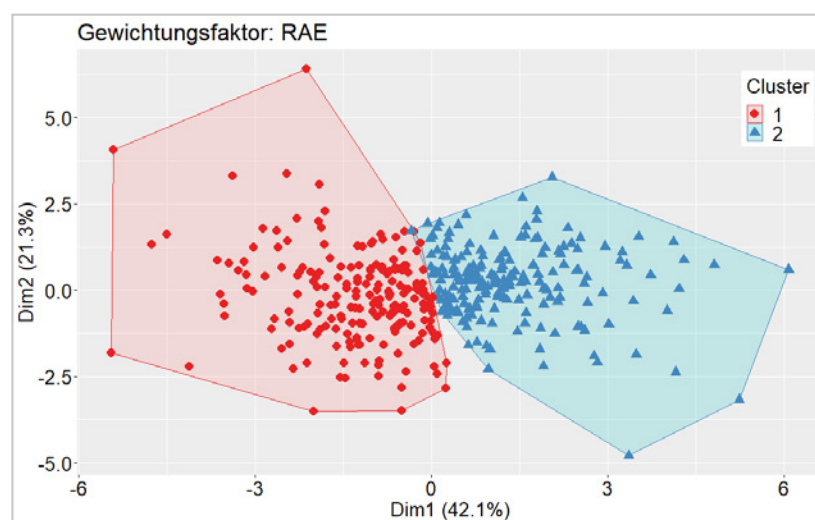


Abb. 5: Ergebnis der k-Means Clusteranalyse bei zwei Clustern mit dem Gewichtungsfaktor RAE

Durch die Hinzunahme von RE verschoben sich 29 der 395 Spieler zwischen den Clustern. C1 wurden 208 und C2 187 Spieler zugeordnet. Durch den Gewichtungsfaktor RAE ordnete die Clusteranalyse 33 der 395 Spieler unterschiedlich zu; bei den Clustergrößen von 210 (C1) zu 185 (C2). Dadurch bestätigen die beiden Gewichtungsfaktoren die Vermutung, dass der bessere Score von C1 vor allem am besseren Abschlag und nicht etwa an einer besseren Putt-Leistung lag.

Die Ergebnisse der Clusteranalyse sind eine wichtige Voraussetzung für den zweiten, geplanten Projektteil. Eine deutliche Abgrenzung der Spieler ist eine notwendige Grundlage, Entscheidungsregeln ableiten zu können. Außerdem ermutigen die Ergebnisse, sich in zukünftigen Arbeiten mit anderen „Risiko“-Situationen zu beschäftigen, um so das taktische Verhalten von Golfspielenden auch in diesen Situationen langfristig zu verbessern.

## 5 Literatur

- Broadie, M. (2014). *Every Shot Counts: Using the Revolutionary Strokes Gained Approach to Improve Your Golf Performance and Strategy*. Gotham Books.
- Kassambara, A. (2017). *Practical Guide To Cluster Analysis in R*. STHDA.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Wiley.
- Lawson, R. G., & Jurs, P. C. (1990). New Index for Clustering Tendency and Its Application to Chemical Problems. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences* 30(1), 36-41.
- Tibshirani, R., & Walther, G. (2005). Cluster Validation by Prediction Strength, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 14, 511-528.

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](mailto:info@bisp.de)  
[www.bisp.de](http://www.bisp.de)

ISBN: 978-3-96523-051-4