



Ina Fichtner (Hrsg.)

Technologien im Leistungssport 2

Tagungsband zur 18. Frühjahrsschule
 am 13./14. April 2016 in Leipzig

Inhalt

Seite

Vorwort

7

Marcel Blaumann

9

Das Echtzeit-Feedback-System Vmax zur umfassenden Analyse der Langhantelkinematik

Stefan Hochstein, Anvar Jakupov & Reinhard Blickhan

17

Alternatives Messsystem zur Strömungsvisualisierung und Strömungsmessung im Schwimmen

Susanne Schönborg, Georg Langen, Matthias Schäfer, Ferdinand Kemeth & Niels Hadaschik

22

Messgerät zur Bestimmung der „Schlagschnelligkeit“ im Boxen

Stefan Weigelt, Jan Peter Weigelt, Michael Enders, Christian Viedt & Gunnar Treff

29

Entwicklung des Rückmeldesystems PCS Sportler für Android im Rudersport

Claudius Nowoisky, Ronny Lüdemann, Matthias Kindler, Rainer Gruhne, Marcus Büchel, Michael Wehrmann & Dirk Büsch

38

Entwicklung und Einsatz eines Testgeräts zur Erfassung sportartspezifischer Leistungen im Ringen

Katharina Petri, Nicole Bandow, Simon Salb, Peter Emmermacher, Steffen Masik, Liang Zhang, Guido Brunnett & Kerstin Witte

45

Wie kann virtuelle Realität im Hochleistungssport genutzt werden?

Patrick Ragert

57

Neuroscience meets Sport: Wie neurowissenschaftliche Erkenntnisse genutzt werden können, um motorische Leistung zu steigern

Roland Oswald & Steffen Kerner

62

Diagnostik und Trainingsintervention der Rumpfmuskulatur am Beispiel der Sportart Judo

Christoph Lenk, Michel Hackbarth, Max Mylo, Janine Weigand & Katja Ferger

74

Evaluation eines Messsystems für die Flugzeitmessung im Trampolinsport

Christian Käding, Matthias Englert, Torsten Warnke & Gerd Lehmann

80

Wettkampfanalyse im Kanuslalom

Heinz Nowoisky & Reiner Nollau	83
Modellierung des dynamischen Verhaltens einer Wurf­puppe bei der Gleichgewichts­brechung und Wurfausführung im Judo	
Norman Bitterlich & Christine Ostrowski	109
Trainingswirkungsanalyse – vom individuellen Sportler zur Trainingsgruppe	
Andreas Speer & Ilka Seidel	124
Ermittlung der Antriebsübertragung und des Geschwindigkeitsverlaufs beim Skeletonstart mittels Kraftmessschlitten	
Monika Rauscher, Dieter Gohlitz & Maren Witt	138
Einsatz der 3-D-Kinemetrie und -Dynamometrie zur Analyse von Technikmerkmalen im sportlichen Gehen	
Stefan Endrullis, Claas H. Kuhlmann & Axel Schürer	149
Filetransfer über ownCloud am Beispiel der Sportarten Radsport und Ski­langlauf	
Andreas Ehrig, Detlef Nowak & Joachim Müller	154
Weiterentwicklung und Einsatz des sportartspezifischen Messplatzes Linearergometer zur Untersuchung der dynamischen Kraftausdauerfähigkeit in der Sportart Eisschnelllauf	
Tobias Kaminsky	164
Weiterentwicklung Datenbank IED – Lösung zur komplexen Dokumentation von Training, Leistung und Wettkampf	
Nicole Bandow, Katharina Petri, Simon Salb & Kerstin Witte	174
Anwendung des Eye-Trackings zur Antizipationsforschung im Leistungssport beispielhaft im Karate-Kumite	
Hans-Peter Köhler, Julia Schmid, Hans-Jürgen Dobner & Maren Witt	187
Entwicklung und Evaluation eines Systems zur Erfassung der Rumpfbewegungen im Schwimmen	
Jan-Marco Bremer	197
Smart Stopwatch – die letzte Generation von Handstoppuhren für den Sport	
Autorenverzeichnis	205
Teilnehmende Institutionen	207
Aussteller	209

Vorwort

Der vorliegende Tagungsband begleitet Beiträge zur 18. Frühjahrsschule „Technologien im Leistungssport“, welche am 13. und 14. April 2016 in Leipzig am Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) mit über 160 Teilnehmern stattgefunden hat. Der 18. Auflage der Konferenz ist es erneut gelungen, zahlreiche interessante Beiträge zusammenzustellen und die Inhalte gemeinsam mit den anwesenden Experten der Olympiastützpunkte, Spitzenverbände, Hochschulen, außeruniversitären Institute, Forschungseinrichtungen, IT-Unternehmen und zahlreichen Sportartspezialisten und Entwicklern des IAT oder des Instituts für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) zu diskutieren und aktiv weiterzuentwickeln. Es zeigt uns, dass wir mit der Idee der Veranstaltung, Technologie und Leistungssport gemeinsam zu beleuchten, auf fruchtbaren Boden treffen und die aktiv fokussierte Verbindung zwischen Theorie und Praxis wirkt.

Gleich die Eröffnung bot den freudigen Anlass, eine fertiggestellte technologische Entwicklung unseres Instituts an einen Spitzenverband und damit in die Sportpraxis zu überführen. In diesem Jahr wurde dabei eine Zusammenarbeit zwischen Spezialisten der Messplatzentwicklung im Fachbereich MINT und der Fachgruppe Ringen vorgestellt. Entstanden ist ein mobiles System „Zugbank“, welches die Übung „Bankziehen“ speziell für die sportartspezifische Anforderung der Sportart Ringen analysiert. Dieses Testgerät zum Messen von Zugleistungen ging damit erfolgreich an den Deutschen Ringer-Bund zur Nutzung über und wird seitdem intensiv als ein Teil der komplexen Leistungsdiagnostik eingesetzt. Der anwesende Präsident des Deutschen Ringer-Bunds, Manfred Werner, bedankte sich spontan für die gelungene Zusammenarbeit und „blickt zufrieden gemeinsam mit dem IAT in die Zukunft“.

Übergabe des Testgeräts „Zugbank“ an den Deutschen Ringer-Bund (v. l. n. r.: Ulf Tippelt, Dirk Büsch, Matthias Kindler, Claudius Nowoisky, Manfred Werner, Ina Fichtner)



Als Höhepunkt der Frühjahrsschule konnten wir am zweiten Tag der Veranstaltung erneut den ccc-Technologiepreis gemeinsam mit der Firma ccc software gmbh verleihen. Dieser mit 2.000 € dotierte Preis für Innovation sowie Wissens- und Technologietransfer in den Leistungssport wurde bereits zum zweiten Mal vergeben. Dabei begutachtete eine Jury aus sieben Mitgliedern von Spitzenverbänden, Universitäten, FES, IAT und Partnern eine Vielzahl interessanter und hochwertiger Einreichungen um den Preis. Vier nominierte Referenten erhielten die Chance, ihre Themen in der eigens dafür konzipierten Technologiepreissession vorzustellen und erreichten mit den Inhalten und anspruchsvollen Diskussionen ein Herzstück der Tagung. Den Preis gewann Marcel Blaumann, der damals Student der Universität Magdeburg war und mit seinem System zur Echtzeit-Feedback-Analyse der Hantelkinematik im Kraftsport ein sehr aktuelles sportartübergreifendes und zugleich praxisorientiertes Thema vorstellte. Wir sind uns sicher, dass die Installation des Preises mit der Zielstellung, insbesondere anwendungsorientierte Szenarien vorzustellen, der Tagung eine weitere inhaltliche Aufwertung geben konnte.



Übergabe des Preises an den Gewinner Marcel Blaumann durch Jens Heinrich, Geschäftsführer der Fa. ccc software gmbh

Dieser Tagungsband bildet den Großteil der zur 18. Frühjahrsschule am IAT vorge-tragenen Themen und diskutierten Inhalte ab. Ich danke den Referenten, der Jury des ccc-Technologiepreises und allen Teilnehmern für ihre wertvollen Beiträge zur Konferenz. Mein besonderer Dank gilt allen Autoren, die nach ihren Vorträgen die vorliegenden Artikel erarbeitet haben, um diese Veröffentlichung zu ermöglichen. Ich weiß dieses Engagement zu schätzen und hoffe auch für die kommenden Veranstaltungen auf diese Zusammenarbeit!

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern dieser Publikation eine interessante und inspirierende Lektüre!

Dr. Ina Fichtner

Leiterin des Fachbereichs MINT am IAT
Wissenschaftliche Tagungsleitung

Leipzig, November 2016

Alternatives Messsystem zur Strömungsvisualisierung und Strömungsmessung im Schwimmen

1 Einleitung und Problemstellung

Speziell im Schwimmen besitzt die Technik, bezogen auf den Einfluss zur Gesamtleistung, einen sehr hohen Stellenwert, den wohl höchsten aller zyklischen Ausdauersportarten. Für den Schwimmer besteht die Hauptschwierigkeit darin, ohne Hilfsmittel die von der Muskulatur erzeugten Kräfte effektiv auf die beweglichen (nicht festen) Wassermassen zu übertragen und diese bestmöglich in „Stütz“, Wasserlage und Vortrieb umzusetzen und gleichzeitig den Wasserwiderstand bzw. bremsende Widerstände entsprechend der Randbedingungen gering zu halten.

Entgegen der terrestrischen Lokomotion, bei der nur wenige Teile des Körpers (oftmals die Füße) die durch die Muskulatur intern aufgebrachten Kräfte mehr oder weniger direkt (Dämpfung) mit dem festen Untergrund als „Widerlager“ interagieren, wirken beim Schwimmen die vom Athleten erzeugten Kräfte entlang des gesamten Körpers lokal auf die beweglichen Wassermassen (unterschiedliche Druck- bzw. Kraftverteilung entlang des Körpers). Dabei stellt das Wasser für den Schwimmer jedoch kein festes Widerlager dar.

Zur Maximierung der Leistung können Schwimmer die Antriebsleistung steigern, den Widerstand reduzieren oder die geleisteten Muskelkräfte effektiver und vortriebswirksamer ins Wasser bringen. Während – stark vereinfacht ausgedrückt – die Erhöhung der Antriebsleistung hauptsächlich durch physische Komponenten realisiert wird (z. B. Training des Herz-Kreislauf-Systems sowie der Skelettmuskulatur), beruht die Reduzierung des Widerstands und eine Erhöhung der vorhandenen Vortriebswirkung hauptsächlich auf Verbesserungen in der Bewegungstechnik.

Dabei überprüfen Hochleistungsschwimmer durch wiederholte Variation der Bewegungsmuster Vor- und Nachteile von Bewegungsvarianten, meist im Versuch-Irrtum-Verfahren. Diese aufwendigen Trainingsphasen sind vor allem aus Mangel an systematischen experimentellen und numerischen Strömungsuntersuchungen notwendig. Eine gezielte Untersuchung der erzeugten Strömungsmuster würde hierbei helfen, den Einfluss der vor- und nachteiligen Bewegungsmuster (i) auf das Strömungsmuster zu visualisieren, (ii) in ihrer strömungsmechanischen Wirkung zu verstehen und (iii), darauf aufbauend, perspektivisch ein individuelles, „optimiertes“ Bewegungsmuster für einen effizienten und/oder schubmaximierten Vortrieb zu erarbeiten. Aktuelle und bisherige (leistungs-)diagnostische Untersuchungen im Schwimmen konzentrieren sich oftmals auf kinematische (Geschwindigkeiten, [Teil-]Streckenzeiten, Zuglänge, Zugfrequenz etc.) und sportmedizinische Parameter (Herzfrequenz, Laktat, Spiroergometrie etc.) sowie auf die Analyse der Technik bezüglich Technik-

leitbildern. Dynamometrische Messungen des Schwimmers im Wasser – und Rückrechnung auf dessen Gelenkmomente – sind aktuell (noch) nicht möglich, außer am Startblock und bei der Wende zu jeweils nur (auf die Schwimmdauer bezogen) kurzen Zeiten.

Nur wenige Methoden entwickelten sich weit genug, um überhaupt annähernd (in einer vereinfachenden Form) die vom Schwimmer erzeugte Strömung zu visualisieren (Arellano, Terrés-Nicoli, Redondo, 2006). Diese reichen von der Nutzung natürlicher und injizierter Luftblasen (Arellano, Pardillo & Gavilan, 2002) bis zu angeklebten Wollfäden (Hay & Thayer, 1989; Toussaint, 2000) und sind jedoch nur bedingt aussagekräftig. Luftblasen geben die Strömungscharakteristik nur dann gut wieder, wenn sie besonders klein sind (kleines Trägheitsmoment, wenig Auftrieb, sehr gute Reflexion). Jedoch vereinigen sich Luftblasen schnell und wachsen zu großen Blasen an, die dann schnell an die Wasseroberfläche aufsteigen. Die am Körper angeklebten Wollfäden geben nur erste Aufschlüsse über die direkt am Körper vorhandene lokale Strömung. Weiterhin sind diese Methoden meist für zeitlich hoch aufgelöste Aufnahmen im Wasser nicht geeignet.

Diese enormen messtechnischen Anforderungen (mit allen Einschränkungen und Schwierigkeiten) bei der Visualisierung und bei der Messung des Strömungsfelds behindern und erschweren die Beurteilung der vom Schwimmer erzeugten Strömung massiv und erklären z. T. auch, warum die strömungsdynamischen Verhältnisse und Charakteristiken um bzw. hinter einem Schwimmer bisher kaum beobachtet bzw. nicht in die Diagnostik mit einbezogen wurden.

Außerhalb des (Schwimm-)Sports existieren bereits Messsysteme aus dem Ingenieurbereich zur Visualisierung von Strömungsfeldern und zur Strömungsfeldmessung, ein etabliertes berührungsloses optisches Messverfahren ist die *Particle Image Velocimetry* (PIV). Dabei wird das zu untersuchende Fluid mithilfe von schwebenden Partikeln (den sogenannten *Tracern*) sichtbar gemacht und deren Bewegung durch eine oder mehrere Hochgeschwindigkeitskamera(s) aufgezeichnet (Abb. 1A). In der Regel wird bei diesem Verfahren ein leistungsstarker Laser verwendet, um eine dünne, extrem helle Lichtebene zu erzeugen. Die Partikel bewegen sich in der Zeit zwischen zwei in kurzem Abstand aufgenommenen Bildern mit der lokalen Strömungsgeschwindigkeit. Das von den Partikeln reflektierte Licht wird mit einem Objektiv auf den Sensor einer Kamera abgebildet, daraus die Bewegung der Tracerpartikel mittels Kreuzkorrelation ausgewertet und das Geschwindigkeitsfeld errechnet. Dieses PIV-Messsystem wurde erstmalig für den Kraularmzug an der Hand (Miwa, Matsuuchi, Shintani, Kamata & Nomura, 2006) bzw. die Delfinbewegung am ganzen Körper (Hochstein & Blickhan 2011; Hochstein, Pacholak, Brücker & Blickhan, 2012; Hochstein, 2013) mittels Laser- und Kamerasystem verwendet und gab erste Anhaltspunkte über die Strömungsmuster und strömungsdynamischen Zustände beim Schwimmen.

Jedoch erschweren die extreme Anfälligkeit des Lasers (Transport, Justierung, Staub, Wärme etc.) sowie die hohen Kosten des Systems (Kaufpreis > 150.000 €) den routinemäßigen Einsatz in der Forschung und machen eine Etablierung und den

routinemäßigen Einsatz des Verfahrens im Trainings- und Diagnostikbereich unmöglich. Weiterhin kann ein Klasse-IV-Laser nur in Schwimmbecken mit seitlich eingebautem Unterwasserfenster verwendet werden, da der Laser aus sicherheitstechnischen Gründen im Keller außerhalb der direkten Schwimmhallenumgebung (mit dessen feuchtem und warmem Klima) positioniert werden muss.

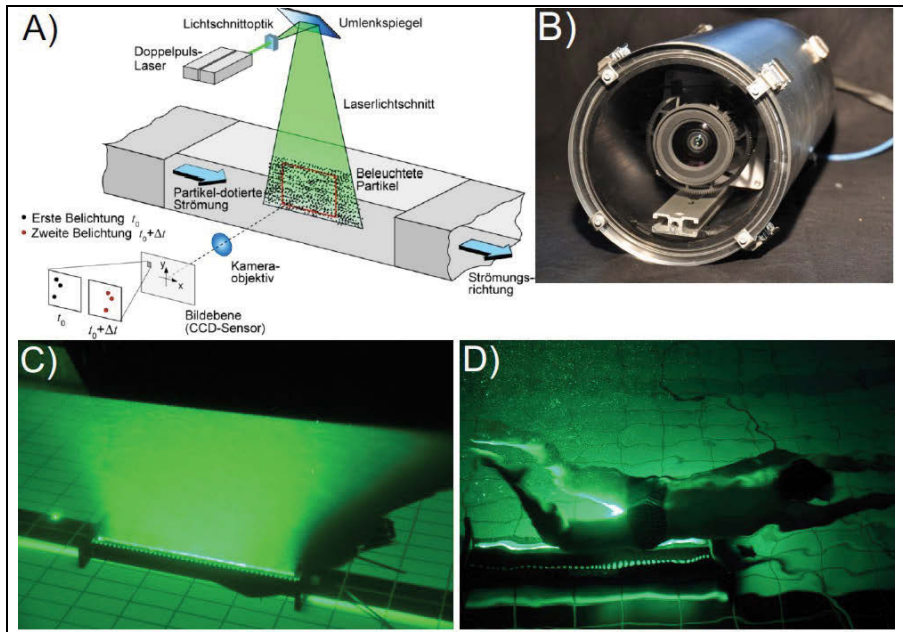


Abb. 1. A) Prinzipieller Aufbau und Wirkweise des herkömmlichen PIV-Verfahrens. Das Prinzip dieser berührungslosen Messtechnik beruht auf der Erfassung des Versatzes von Streupartikeln, die mit zwei Lichtpulsen in sehr kurzem, definiertem Abstand (wenige Mikrosekunden) beleuchtet werden. Ein Doppelpuls-Laser erzeugt Lichtpulse und weitet diese über eine geeignete Optik in einen Lichtschnitt in der gewählten Messebene in der Strömung auf. Eine (Hochgeschwindigkeits-)Kamera nimmt das Streulicht der Partikel auf. In nachträglichen Bearbeitungsschritten wird das Bild in kleine Abfragefenster unterteilt und der Versatz der Partikelgruppen innerhalb des Abfragefensters mithilfe der Kreuzkorrelation bestimmt und über den zeitlichen Abstand der Bilder und den Partikelversatz in einen Geschwindigkeitsvektor umgerechnet (DLR¹). B) Mittels Unterwassergehäuse kann die Kamera flexibel im Becken positioniert werden. C) und D) Das auf dem Beckenboden eines Schwimmbeckens variabel positionierte, neu entwickelte LED-Beleuchtungssystem erzeugt einen senkrechten Lichtschnitt, welcher eine Strömungsvisualisierung und zeitaufgelöste Strömungsmessung am Schwimmer mittels PIV-Verfahren ermöglicht.

¹ http://www.dlr.de/at/en/DesktopDefault.aspx?tabid=1668/2292_read-3766/gallery-1/gallery_read-Image.20.1932/

2 Leistungsdiagnostischer Einsatz in der Leistungssportpraxis

Ein erster Schritt zur Implementierung in den Leistungssport wurde mit der Ersetzung des Lasers durch eine alternative Beleuchtungseinheit auf LED-Basis realisiert (Abb. 1C, 1D). Diese erreicht sowohl eine ausreichende Lichtintensität als auch Lichtstrahlqualität, die den routinemäßigen Einsatz technisch ausgereifter PIV-Verfahren auf der Basis von Hochgeschwindigkeitsbildern ermöglicht. Gleichzeitig benötigt das System nur geringe Sicherheitsanforderungen, ist einfach zu bedienen, robust und hat im Vergleich zum Lasersystem deutlich geringere Anschaffungskosten. Diese Vorteile ermöglichen zukünftig eine breitere Verteilung und Anwendung des Systems. Parallel zur Beleuchtungseinheit wurde auch für die Hochgeschwindigkeitskamera ein wasserdichtes Gehäuse konzipiert (Abb. 1B), welches einen flexiblen Einsatz im Schwimmbecken zulässt. Unterwasserkabel ermöglichen es, beide Systeme aus der Ferne (30-40 m) zu steuern, die gemessenen Bilddaten zu speichern und zu analysieren. Das System ist unabhängig von den örtlichen Gegebenheiten (Schwimmbecken, Unterwasserfenster) und universell in jedem beliebigen Schwimmbecken einsetzbar.

Für die Bewertung der Messergebnisse müssen – neben der Weiterentwicklung der Mess- und Auswerttechnik – im Vorfeld vorteilhafte Bewegungsmuster und die daraus resultierenden vorteilhaften Strömungsmuster identifiziert werden, die in der individuellen Erfassung der Bewegung und Strömung und anschließenden, individuellen leistungsdiagnostischen Analyse münden soll. So konnte gezeigt werden, dass die langsameren Schwimmer mit signifikant höheren Amplituden im Handbereich schwimmen, im Gegensatz zu den schnelleren Schwimmern, die nur minimale Bewegungen im Hand-/Armereich ausführen. Dies und eine oftmals erhöhte Kopfpotition (z. B. Zaïdi, Taïar, Fohanno & Polidori, 2008) führen bereits zu Wirbelablösungen im Kopfbereich (Abb. 2).

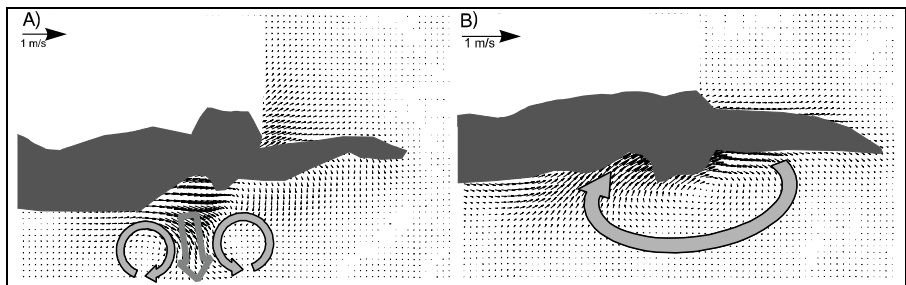


Abb. 2. Exemplarischer Vergleich der vom Schwimmer generierten Strömung für Schwimmer verschiedener Leistungsstärke. A) Bei schlechterer Schwimmtechnik lösen sich bereits durch die sehr großen Bewegungsamplituden im Kopf- und Armereich Wirbel (geöffnete Kreise) unterhalb des Kopfs ab und es entsteht ein nach unten gerichteter Jet (grauer Pfeil). B) Bei besserer Schwimmtechnik mit kleinen Amplituden im vorderen Bereich wird dieser Jet vermieden. Die undulatorische Pumpe (B) kann bereits ausgeprägt werden (Hochstein, 2013).

Perspektivisch betrachtet – und aus heutiger Sicht noch Vision – ist der Einsatz eines solchen Systems als im (Hoch-)Leistungssport übliches Mess- und Informationssystem möglich. Es könnte sowohl als Diagnose- als auch Trainingsgerät genutzt werden, indem der Schwimmer direkt nach dem Versuch eine Rückmeldung erhält. Wir wagen zu prognostizieren, dass (angesichts des Stands der Technik) der routinemäßig eingesetzten PIV langfristig eine ähnliche Bedeutung und Verbreitung zukommen wird wie der Nutzung von Kraftplattformen in den terrestrischen Disziplinen. Auch die numerischen Strömungssimulationen können – im Zusammenspiel (Vergleich, Verifikation, Vorhersage) mit der Analyse der experimentellen Strömungsverhältnisse – durch die permanent wachsende Rechenleistung und Verbesserung der Auswertungsalgorithmen langfristig einen ähnlichen Stellenwert einnehmen, wie heute bereits die Finite-Element-Methode (FEM).

Literatur

- Arellano, R., Pardillo, S. & Gavilan, A. (2002). Underwater undulatory swimming: Kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. In K. E. Gianikellis (Ed.), *Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 29-41). Granada: Universidad de Granada.
- Arellano, R., Terrés-Nicoli, J. M. & Redondo, J. M. (2006). Fundamental hydrodynamics of swimming propulsion. In J. Vilas-Boas, F. Alves & A. Marques (Eds.), *Proceedings of the Xth Congress of Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 15-20). Porto: Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
- Hay, J. G. & Thayer, A. M. (1989). Flow visualization of competitive swimming techniques: The tufts method. *Journal of Biomechanics*, 22 (1), 11-19.
- Hochstein, S. & Blickhan, R. (2011). Vortex re-capturing and kinematics in human underwater undulatory swimming. *Human Movement Science*, 30 (5), 998-1007.
- Hochstein, S., Pacholak, S., Brücker, C. & Blickhan, R. (2012). Experimental and numerical investigation of the unsteady flow around a human underwater undulating swimmer. In C. Tropea & H. Bleckmann (Eds.), *Nature-Inspired Fluid Mechanics*, NNFM, 119, 293-308. Doi: 10.1007/978-3-642-28302-4_18
- Hochstein, S. (2013). *Widerstands- und Strömungsbeeinflussung der menschlichen undulatorischen Schwimmbewegung*. Dissertation, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- Miwa, T., Matsuuchi, K., Shintani, H., Kamata, E. & Nomura, T. (2006). Unsteady flow measurement of dolphin kicking wake in sagittal plane using 2C-PIV. In J. Vilas-Boas, F. Alves & A. Marques (Eds.), *Proceedings of the Xth Congress of Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 66-68). Porto: Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
- Toussaint, H. M. (2000). An alternative fluid dynamic explanation for propulsion in front crawl swimming. In R. Sanders & Y. Hong (Eds.), *Applied program: Application of biomechanical study in swimming* (pp. 96-103). Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong.
- Zaidi, H., Taiar, R., Fohanno, S. & Polidori, G. (2008). Analysis of the effect of swimmer's head position on swimming performance using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, 41 (6), 1350-1358.

Messgerät zur Bestimmung der „Schlagschnelligkeit“ im Boxen

1 Einleitung

Die Schnelligkeit eines Schlags ist im Boxsport von entscheidender Bedeutung. Je schneller der Schlag ausgeführt wird, desto weniger Zeit bleibt dem Gegner, auf diesen zu reagieren und die Wahrscheinlichkeit steigt, dass ein Treffer erzielt wird. In den vergangenen Jahren ist von Sportartexperten angemerkt worden, dass die Schlagbewegung der deutschen Boxerinnen und Boxer scheinbar langsamer erfolgt als die der Weltspitze. Diese Beobachtung ist ausschließlich subjektiv. Derzeit gibt es kein praktikables System, welches eine objektive Beurteilung der *Schlagschnelligkeit* im täglichen Training oder bei Leistungsdiagnostiken ermöglicht. Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung und Evaluierung eines Messgeräts zur Bestimmung der *Schlagschnelligkeit* im olympischen Boxen.

2 Umsetzung *Messhandschuh*

Um es Wissenschaftlern, Trainern und Sportlern zu ermöglichen, einen Schlag in Bezug auf die *Schlagschnelligkeit* objektiv einschätzen zu können und z. B. Trainingseffekte zu überprüfen, ist die Notwendigkeit gegeben, ein entsprechendes Messgerät zu entwickeln, welches in der Wissenschaft und in der Praxis eingesetzt werden kann. Die *Schlagschnelligkeit* im Boxen ist in der Literatur nicht definiert.

„Schnelligkeit im Sport ist die Fähigkeit, zyklische und azyklische motorische Aktionen in einem unter gegebenen Bedingungen minimalem Zeitabschnitt vollziehen zu können“ (Frey & Hildenbrandt, 1994, S. 96).

Physikalisch betrachtet, wird die Schlagbewegung in möglichst kurzer Zeit mit maximaler Geschwindigkeit ausgeführt. Um diese Bewegung des Boxers zu erfassen, wurde ein Sensorsystem in einen Boxhandschuh – *Messhandschuh* – integriert (Zepperitz, Pratesi & Bussweiler, 2013). Die Evaluation des Systems erfolgt anhand der Güte- und Evaluationskriterien der Deutschen Gesellschaft für Evaluation, d. h. Nützlichkeit, Durchführbarkeit, Fairness und Genauigkeit (DeGEval, 2008).

2.1 Kooperation

Das Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) und das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) kooperieren bei der Entwicklung des *Messhandschuhs*, da das IIS bereits ein Sensorsystem mit zugehörigem Algorithmus für die Bestimmung der Geschwindigkeit einer mehrdimensionalen Bewegung in einem globalen Koordinatensystem entwickelt hat (Hadaschik, Kemeth, Schäfer & Grün, 2014). Das ursprüngliche Ziel dieses Sensorsystems bestand in der Berechnung der

Geschwindigkeit eines Schlags in Echtzeit, um sie im Livebild dem Fernsehzuschauer zur Verfügung zu stellen. Auch in den USA verfolgt der TV-Sender *HBO* einen ähnlichen Ansatz (Home Box Office, 2014). Der Kooperationsschwerpunkt von IAT und IIS liegt nun darauf, das System unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten weiterzuentwickeln. Die Daten sollen valide und, je nach Forschungsfragestellung, variabel auswertbar sein.

2.2 Prototyp

Das Sensorsystem *Wismit Nano* wurde speziell für die drahtlose Messdatenerfassung im Boxsport entwickelt. Die Leiterplatte hat einen Durchmesser von 26 mm (Abb. 1) und wird von einem Akku mit Strom versorgt. Der Sensorknoten wird mittels induktiver Energieübertragung geladen. Hauptmesseinheit ist der Beschleunigungssensor LIS331HH von STMicroelectronics, welcher einen Messdatenbereich von $\pm 24\text{ g}$ ($1\text{ g} = 9,81\text{ Newton}$) bei einer maximalen Messrate von 1.000 Hz besitzt (Abb. 3). Das Sensorsystem wiegt inklusive Gehäuse weniger als 6 g und wird in den Saum des Boxhandschuhs integriert. Die Beschleunigungsdaten werden von einer Sendeeinheit im 868-MHz-ISM-Band an eine Empfangsstation gesendet und dort mit einer entsprechenden Software weiterverarbeitet und/oder als Rohdaten gespeichert (Abb. 2).



Abb. 1. Wismit Nano-Leiterplatte Frontansicht (links), Rückansicht (rechts)



Abb. 2. Systemüberblick: PC mit Empfangsstation und Software (links), Handschuh mit Sensorik (rechts)

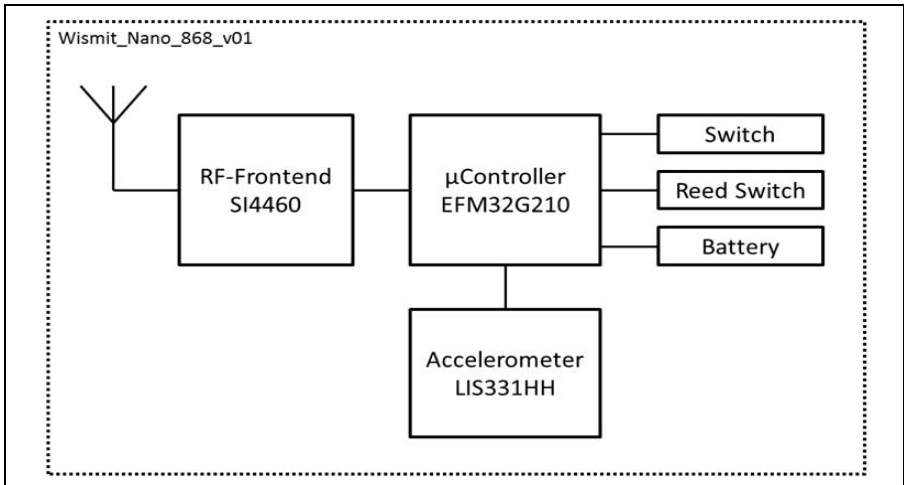


Abb. 3. Blockschaltbild des *Wismit Nano*

Mit einem entsprechend hinterlegten Algorithmus lässt sich ein gerader Schlag detektieren, der zugehörige Geschwindigkeitsverlauf darstellen und die Maximalgeschwindigkeit sowie die Schlagdauer berechnen.

2.3 Algorithmus zur Geschwindigkeitsbestimmung

Der Algorithmus zur Geschwindigkeitsbestimmung arbeitet mehrstufig anhand einer Kurzzeitintegration der gemessenen Beschleunigungen in zu bestimmenden Grenzen. Zunächst wird der Aufprall durch eine Schwellwertentscheidung für mehrere aufeinanderfolgende Beschleunigungswerte eines *Messhandschuhs* detektiert:

$$n_{ende} = \arg_n \{ |a(nT)| \ \& \ |a((n+1)T)| \ \& \ ... > a_{schwelle} \}.$$

Dies stellt den Endzeitpunkt der Integration dar. Von diesem Zeitpunkt aus wird rückwärts in der Zeit nach einem Startzeitpunkt gesucht. Es wird einerseits von einer maximalen Schlagdauer T_{max} ausgegangen und andererseits ein Zeitpunkt (bzw. eine kurze Zeitspanne) gesucht, in der der Handschuh sich in relativer Ruhe befunden hat. Dazu muss der Betrag des Beschleunigungsvektors im Bereich der Erdbeschleunigung (1 g) gelegen haben:

$$n_{start} = \max \left\{ \arg \min_n \{ |a(nT)| - 1g \} \right\}.$$

Wenn die Abweichung im gesamten Intervall zu groß ist, wird der Startzeitpunkt stattdessen aus der maximalen Dauer abgeleitet:

$$n_{start} = n_{ende} - \frac{T}{T_{max}}.$$

Außerdem wird dieser Zeitpunkt bzw. der zugehörige Beschleunigungsvektor zur Herauskalibrierung der Erdbeschleunigung genutzt. Damit sind Anfangs- und Endpunkte bestimmt und die Kurzzeitintegration der Beschleunigung kann durchgeführt werden. Der Verlauf des Geschwindigkeitsbetrags wird über eine kumulative Summe des Beschleunigungsvektors bestimmt:

$$v(nT) = T \left| \sum_{n_{start}}^n \mathbf{a}(nT) \right| \quad \forall n \leq n_{ende}.$$

Abschließend wird das Maximum des Geschwindigkeitsbetrags berechnet:

$$v_{max} = \max_{n_{start} \leq n \leq n_{ende}} \{v(nT)\}.$$

Die höchste Geschwindigkeit im Schlag muss dabei nicht die Endgeschwindigkeit sein, da auch nicht auszuschließen ist, dass erste Abbremsbeschleunigungen in die Berechnung eingehen. Diese Berechnungen sind nicht komplex und können daher auch auf dem integrierten Mikroprozessor im Handschuh berechnet werden. Die in der Berechnung beschriebene Schlagdetektion ist in Abb. 4 dargestellt.

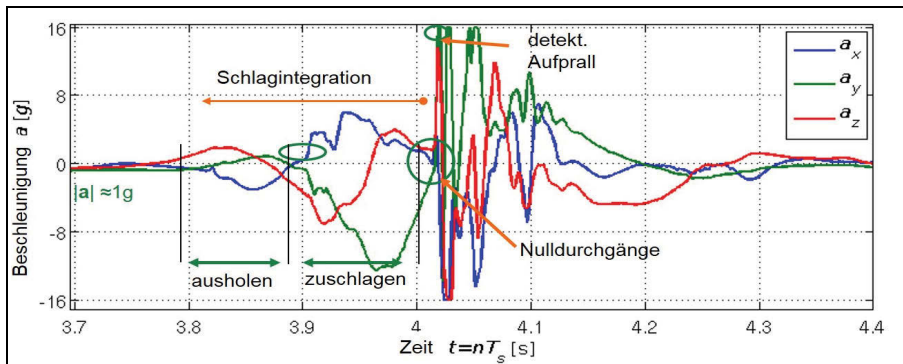


Abb. 4. Schlagdetektion

3 Nutzen für den Leistungssport

Bereits existierende Ansätze, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen oder Kräfte im Boxsport zu ermitteln, beruhen vor allem darauf, das Gesundheitsrisiko, welches durch den Schlag gegen den Kopf auftreten kann, abzuschätzen (Atha, Yeadon, Sandover & Parsons, 1985; Stojish, Boitano, Wilhelm & Bir, 2010; Viano et al., 2005; Waliiko, Viano & Bir, 2005). Weitere Untersuchungen haben das Ziel, das Boxen (Profiboxen) möglichst medienpräsent darzustellen (Pierce, Reinbold, Lyngard, Goldman & Pastore, 2006). Es gibt nur vereinzelt wissenschaftliche Studien, die kinematische Parameter im Boxen bestimmen (Favre, Mass & Aminian, 2007; Nakano,

lino, Imura & Kojima, 2014; Kimm & Thiel, 2015). Grund hierfür ist vor allem der sehr große Aufwand einer derartigen Untersuchung. Häufig werden für Studien eigenentwickelte Messsysteme verwendet, die nicht praxistauglich sind (Chadli, Ababou & Ababou, 2014). Auch der am IAT entwickelte Boxmessplatz ist für die valide Bestimmung der *Schlagschnelligkeit* nicht verwendbar.

Der entwickelte *Messhandschuh* erlaubt es erstmalig, Schlagbewegungen im Boxsport mit geringem Aufwand und ohne Beeinträchtigung des Sportlers zu analysieren. Das System ermöglicht die Untersuchung von Einzelschlägen und Kombinationen sowohl gegen ein festes Ziel als auch in die Luft. Damit ist der *Messhandschuh* sowohl im Training und in Leistungsdiagnostiken am Sandsack, am Boxmessplatz, beim Schattenboxen, bei Partnerübungen, im Sparring als auch im Wettkampf¹ flexibel einsetzbar. Es lassen sich Aussagen zu Geschwindigkeit, Technik, Schlagart, Schlaganzahl und Trefferanzahl treffen. Auch das Erfassen der zeitlichen Struktur und des Impulses eines Schlags ist möglich. Beispielhaft für eine mögliche Auswertung sind in Abb. 5 die Beschleunigungs-Zeit-Verläufe von drei typischen Boxschlägen dargestellt. Die Charakteristik der Beschleunigungs-Zeit-Verläufe lässt z. B. eine Schlagmustererkennung zu.

¹ Unter *Wettkampfdiagnostik* wird die Untersuchung in einem vom DBV durchgeführten Wettkampf verstanden, der dem Regelwerk der AIBA entspricht, jedoch die Möglichkeit bietet, Messsysteme und Sensorik einzusetzen. In offiziellen AIBA-Turnieren ist der Einsatz von zusätzlichen Messsystemen direkt am Ring oder von Sensorik am Sportler derzeit nicht erlaubt.

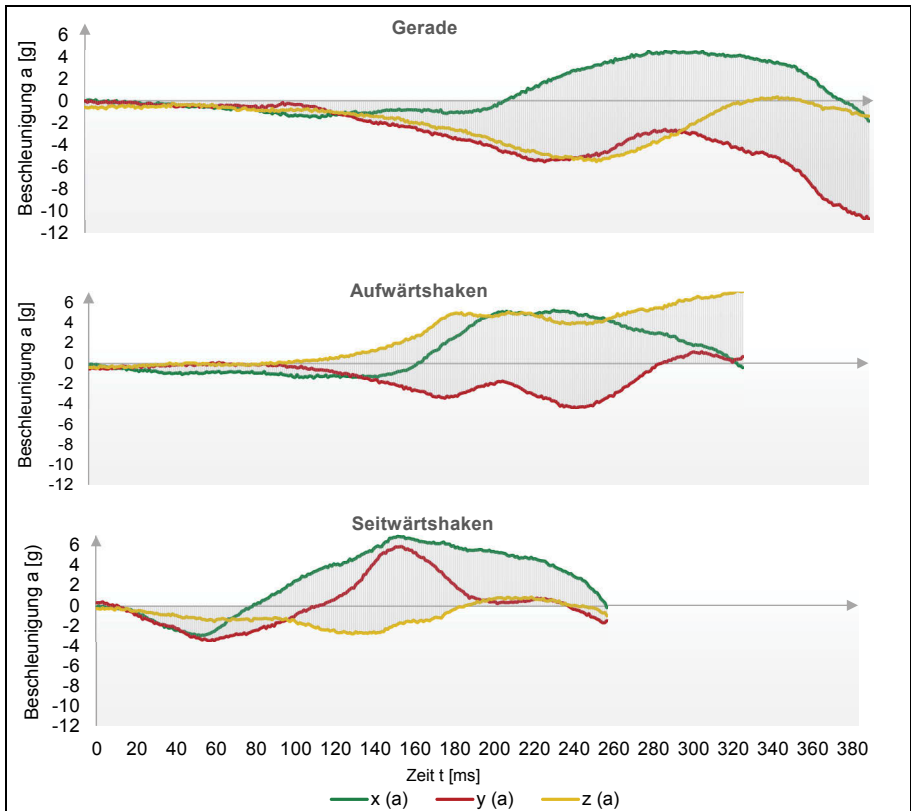


Abb. 5. Beschleunigungs-Zeit-Kurven der Schlagarten, mit der Führhand ausgeführt

4 Ausblick

Die Daten sollen zukünftig in Echtzeit auswertbar sein und dem Wissenschaftler, Trainer und Sportler, z. B. in Form von Diagrammen und Statistiken, zur Verfügung stehen. Weiterhin wird das Sensorsystem aufgrund der Erfahrungen aus dem Praxiseinsatz derzeit sowohl in Hard-, Firm- und Software überarbeitet. Zukünftig findet die Datenübertragung per Bluetooth statt, der Sensor kann dann über das Endgerät ein- und ausgeschaltet und der Ladestatus verfolgt werden. Auch wird die Software benutzerfreundlicher und flexibler in der Datenauswertung gestaltet. Weiterhin sind Tests mit einem System der Firma Hykso (Hykso, 2016) geplant, um den *Messhandschuh* zu evaluieren. Die Firma hat mit ihrem System einen ähnlichen Ansatz verfolgt. Die Markteinführung des Systems ist für August 2016 geplant.

Literatur

- Atha, J., Yeadon, M. R., Sandover, J. & Parsons, K. C. (1985). The damaging punch. *British Medical Journal (Clinical Research Ed)*, 291 (6511), 1756-1757.
- Chadli, S., Ababou, N. & Ababou, A. (2014). A new instrument for punch analysis in boxing. *Procedia Engineering*, 72, 411-416.
- DeGEval (Hrsg.). (2008). *Standards für Evaluation* (4. unveränderte Auflage). Mainz.
- Favre, J., Mass, Y. & Aminian, K. (2007). Study of punches performance in boxe with inertial sensors. *Journal of Biomechanics*, 40 (2), 539.
- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (1994). *Einführung in die Trainingslehre (Teil 1: Grundlagen)*. Schorn-dorf: Hofmann.
- Hadaschik, N., Kemeth, F., Schäfer, M. & v. d. Grün, T. (2014). *Determining a speed of a multidimensional motion in a global coordinate system*. Europäisches Patent. 2798357B1. Anmeldedatum: 18. Januar 2013.
- Home Box Office, Inc. (2014). *System and methods for gathering and analyzing objective motion data*. Amerikanisches Patent: 0106833A1. Anmeldedatum: 19. Dezember 2013.
- Hykso (2016). *Punch tracking sensors*. Zugriff am 08. April 2015 unter www.hykso.com
- Kimm, D. & Thiel, D. V. (2015). Hand speed measurements in boxing. *Procedia Engineering*, 112, 502-506.
- Nakano, G., Iino, Y., Imura, A. & Kojima, T. (2014). Transfer of momentum from different arm segments to a light movable target during a straight punch thrown by expert boxers. *Journal of sports sciences*, 32 (6), 517-523.
- Pierce, J. D., Reinbold, K. A., Lyngard, B. C., Goldman, R. J. & Pastore, C. M. (2006). Direct measurement of punch force during six professional boxing matches. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 2 (2), 1-17.
- Stojsih, S., Boitano, M., Wilhelm, M. & Bir, C. (2010). A prospective study of punch biomechanics and cognitive function for amateur boxers. *British Journal of Sports Medicine*, 44 (10), 725-730.
- Viano, D. C., Casson, I. R., Pellman, E. J., Bir, C. A., Zhang, L., Sherman, D. C. & Boitano, M. A. (2005). Concussion in professional football: Comparison with boxing head impacts-part 10. *Neurosurgery*, 57 (6), 1154-1172.
- Walilko, T. J., Viano, D. C. & Bir, C. A. (2005). Biomechanics of the head for Olympic boxer punches to the face. *British Journal of Sports Medicine*, 39 (10), 710-719.
- Zepperitz, S., Pratesi, M. & Bussweiler, J. (2013). *Entwicklung eines Messgeräts zur Bestimmung der „Schlagschnelligkeit“ im Boxen (Messhandschuh)*. Lastenheft. Leipzig: IAT.