

Maren Witt, Hans-Peter Köhler, Eva Böker, Christine Janke, Tim Schlimme & Sebastian Vetter

Entwicklung der Sportbiomechanik an der Universität Leipzig im Zeitraum von 2009 bis 2023

Summary

This article describes the development of the department of sports biomechanics at the Faculty of Sports Science at Leipzig University over the last 15 years. Key aspects of the further development of teaching and research as well as the infrastructure are discussed in more detail.

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt die Entwicklung der Sportbiomechanik an der Sportwissenschaftlichen Fakultät der Universität Leipzig in den letzten 15 Jahren. Dabei wird auf wesentliche Aspekte der Weiterentwicklung von Lehre und Forschung sowie der Infrastruktur näher eingegangen.

Schlagworte: Sportbiomechanik Leipzig, Lehre, Forschung, Labore

1. Einleitung

Mit Beginn des Sommersemesters 2009 wurde erstmalig nach der Neugründung der Sportwissenschaftlichen Fakultät an der Universität Leipzig wieder eine Professur für Sportbiomechanik besetzt. Mit Frau Professorin Dr. phil. habil. Maren Witt konnte für diese Professur eine Expertin aus der Leistungssportforschung gewonnen und das Profil der Fakultät in dieser Richtung gestärkt werden. Im Nachfolgenden soll die Entwicklung der Abteilung unter der neuen Leitung dargestellt werden.

2. Einrichtung der Labore Sportbiomechanik

Die Abteilung Sportbiomechanik betreibt aktuell ein Labor für die studentische Ausbildung und ein Forschungslabor. Die exzellente Ausstattung der Labore wurde mit Berufungsmitteln der Universität Leipzig sowie durch zwei Förderungen im Rahmen von Großgeräteanträgen durch den Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (EFRE) bzw. die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und den Freistaat Sachsen mit insgesamt mehr als einer Millionen Euro unterstützt. Darüber hinaus wurden im Rahmen von zwei kleinen, vom Sächsischen Immobilien- und Baumanagement geförderten, Baumaßnahmen die räumlichen Voraussetzungen für die Arbeit deutlich verbessert.

2.1 Lehr- und Lernlabor

Das Lehr- und Lernlabor besteht aus einem Seminarraum mit 30 Plätzen und einem gleich großen Laborraum. Beide Räume lassen sich durch eine Schiebewand miteinander verbinden bzw. trennen. Im Lehr- und Lernlabor ist damit die direkte Demonstration und Durchführung von Experimenten im Rahmen von Seminaren möglich. Grundsätzlich werden in allen Unterrichtseinheiten Messdaten erhoben, die die Studentinnen und Studenten selbstständig auswerten können. Zum didaktischen Konzept gehört, die Ergebnisse zielgruppenspezifisch auszuwerten und zu diskutieren.

Die folgenden Messsysteme stehen im Studentenlabor zur Verfügung.

Kinemetrie: Für Videoaufnahmen stehen mehrere Full HD-Kameras sowie 10 Tablets verschiedener Hersteller zur Verfügung. Die 2-D-Bildanalyse wird z. B. zur Bestimmung von Abwurfparametern und Gelenkwinkeln in verschiedenen Anwendungsbeispielen genutzt.

Dynamometrie: Im Labor sind insgesamt drei dynamometrische Plattformen (600 x 900 mm) der Firma Kistler nutzbar (mit der Software Mars & Bioware). Diese werden für die Ganganalyse, die Sprungkraftdiagnose sowie die Ermittlung des Kraftangriffspunkts eingesetzt. Weiterhin kommt die Dynamometrie bei der Demonstration biomechanischer Prinzipien (z. B. Prinzip der Anfangskraft, Prinzip des optimalen Beschleunigungswegs) zum Einsatz.

Präventions- und Rehabilitationsdiagnose: Zur Beurteilung der funktionellen Stabilität der großen Gelenke und der posturalen Kontrolle können der Star Excursion Balance Test und der Funktional Movement Screen eingesetzt werden. Darüber hinaus stehen alle Tests aus den Testbatterien zur Präventions- und Rehabilitationsdiagnose der Berufsgenossenschaft (VBG) zur Verfügung.

Schnelligkeitsdiagnose: Das Studentenlabor ist mit Tests zur Erfassung aller Dimensionen der elementaren Schnelligkeitsleistungen ausgestattet, die auch feldtauglich sind. Dies reicht von Tests der Einfachreaktion (optisch/akustisch)

über Wahlreaktionstests und Tappingtests der oberen/unteren Extremitäten bis zur azyklischen Schnelligkeit (z. B. Armschlagtest).

Kraftausdauerdiagnose: Am Beispiel der Seilzugergometrie für die obere Extremität erarbeiten wir im Vertiefungskurs die Möglichkeiten zur Kraftausdauerdiagnose und leiten mögliche trainingspraktische Entscheidungen ab.

Darüber hinaus kommen folgende Experimente in der studentischen Ausbildung zum Einsatz:

Muskelarm: Mit Hilfe eines Modells der oberen Extremität können die Hebelgesetze am Beispiel ein- und zweiseitiger anatomischer Hebel und die Auswirkungen auf die Muskelkräfte demonstriert werden.

Hillsche Kurve: Mit Hilfe des Sensors von v_{max} pro können die Bewegungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Krafttrainingsübungen erfasst und zur Ermittlung der Muskelleistung genutzt werden. Ausgehend von den Ergebnissen werden mögliche Effekte des Kraft- und Schnelligkeitstrainings auf das neuromuskuläre System diskutiert.

Bestimmung des Körperschwerpunkts (KSP): Die Bestimmung des Körperschwerpunkts erfolgt sowohl mit einem experimentellen (KSP-Waage) als auch einem analytischen Ansatz (Bildanalyse), wodurch beide Verfahren verglichen und Vor-/Nachteile erörtert werden können.

Nervenleitgeschwindigkeit/H-Reflex: Mit Hilfe der Stimulation am motorischen Nerv bzw. Muskel selbst werden den Studentinnen und Studenten die elektrophysiologischen Mechanismen der Muskelaktivität nähergebracht und der Bezug zum Training bzw. zur sportlichen Eignung hergestellt.

2.2 Forschungslabor

Das Forschungslabor ist mit verschiedenen biomechanischen Messplätzen ausgestattet, die im Rahmen von Forschungsprojekten, aber auch für Projekt- und Abschlussarbeiten, insbesondere für Masterstudierende genutzt werden. Mit einer Grundfläche von ca. 15 x 8 m und der Möglichkeit einer kleinen Rundbahn für die bipedalen Lokomotionen steht ein ausreichend großer Raum für die meisten Aufgaben zur Verfügung. Alle Messplätze waren bereits auch mobil im Einsatz. Seit dem Jahr 2019 ist unser Labor als Netzwerklabor im Forschungsnetzwerk Muskuloskelettale Biomechanik (MSB-NET) der Sektion Grundlagenforschung der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) zertifiziert. Es stehen folgende Messplätze zur Verfügung:

Isokinetische Kraftdiagnose: Mit dem Primus BTE der Fa. Proxomed kann ein multifunktionales System genutzt werden, mit dem sowohl eingelenkige Krafttests durchgeführt, als auch komplexe Anforderungen aus dem Arbeits-

umfeld simuliert werden können. Dieser Messplatz wurde darüber hinaus bereits im Feld für exzentrisches Krafttraining der oberen Extremität genutzt.

Markerbasierte und markerlose Bewegungsanalyse: Im Rahmen der EFRE-Förderung und der DFG konnten in den Jahren 2014 und 2022 zwei Bewegungsanalysensysteme auf dem neusten Stand der Entwicklung angeschafft werden. 2014 erfolgte die Anschaffung eines markerbasierten Bewegungs-Erfassungssystems auf Infrarotbasis. Dieses umfasst zwölf Infrarotkameras (Auflösung zwölf Megapixel; max. Messfrequenz bei voller Auflösung: 300 Hz) sowie zwei Videokameras der Firma Qualisys (Qualisys AB, Schweden). 2022 wurde als Erweiterung der bestehenden Bewegungserfassung ein markerloses Bewegungsanalyse-System angeschafft, bestehend aus zwölf Videokameras (Auflösung: 2 Megapixel; max. Messfrequenz bei voller Auflösung: 85 Hz) der Firma Qualisys. Das Herzstück der markerlosen Bewegungserfassung ist die zugehörige Software Theia 3D (Theia Markerless Inc., Kanada). Sowohl die markerlose, als auch markerbasierte Bewegungsanalyse nutzen im Nachgang Visual 3d (C-Motion Inc., USA) als Modellierungsumgebung. Beide Systeme können parallel betrieben werden, um z. B. Sportler*in und Sportgerät zu erfassen. Weiterhin ist auch ein mobiler Einsatz der Systeme unter Feldbedingungen wie Sporthallen oder auch Leichtathletikanlagen möglich.

Laufanalyse: Die Laufanalyse ist sowohl auf dem Laufband (Cosmos HP) als auch auf einer kleinen Rundbahn möglich. Für die 2-D-Laufanalyse kann das System der Fa. Contemplas genutzt werden. In der studentischen Ausbildung kommt vor allem die Laufanalyse nach Marquardt zum Einsatz.

Ganganalyse: Für die Ganganalyse nutzen wir sowohl das markerbasierte Verfahren (CAST-Modell), als auch die markerlose Bewegungsanalyse (siehe oben). Die Bildanalyse wird mit der Dynamometrie kombiniert, so dass über die inverse Kinematik die Belastung bzw. Beanspruchung der kinematischen Kette ermittelt werden kann.

Rumpfkraftdiagnose (Pegasus, Fa. BFMC): Der Messplatz ermöglicht eine isometrische Kraftdiagnose in allen drei Bewegungsebenen des Rumpfes. Aufgrund seiner Bauweise ist er besonders für die Rumpfkraftdiagnose bei Kindern geeignet und kann auch unter Feldbedingungen eingesetzt werden. Der Messplatz wird komplettiert durch das Trainingsgerät Centaur der gleichen Firma.

Darüber hinaus stehen im Forschungslabor folgende Untersuchungsverfahren zur Verfügung:

Elektromyographie: Es kann ein 12-kanaliges System der Fa. Noraxon mit weiteren Sensoren (Goniometer, Inklinometer, Beschleunigungssensoren, Kraftmessung, Kontakte) genutzt werden.

Inertialsensoren: Es steht ein kabelloses MTw Awinda (Fa. Xsens, Niederlande) mit sechs inertialen Messeinheiten ($\pm 2000^\circ/\text{s}$; $\pm 160 \text{ m/s}^2$; 100 Hz) zur

Verfügung. Zwei wasserdichte, kabelgebundene Komplettsysteme (Fa. 2D Debus & Diebold Messsysteme GmbH) mit jeweils vier Sensoren ($\pm 2000^\circ/\text{s}$; $\pm 80 \text{ m/s}^2$; 500 Hz) erweitern das Einsatzspektrum im Wasser.

Dynamometrie: Es stehen im Labor insgesamt acht dynamometrische Plattformen der Fa. Kistler zur Verfügung. Die verschiedenen Plattformen der Größen 900 x 600 mm bzw. 600 x 400 mm können variabel angeordnet werden, so dass alle Anforderungen aus spezifischen Bewegungen bzw. verschiedener Körpergrößen erfüllt werden können.

Optogait: Das System besteht aus zwei synchronisierten Kameras und einer Lichtleiste. Im Forschungslabor wird es vor allem zu Demonstrationszwecken und zum Vergleich von Labortechnik mit feldtauglichen Methoden eingesetzt.

Trotz der sehr guten räumlichen und sächlichen Ausstattung, ist die Nutzung der Labore durch begrenzte personelle Ressourcen eingeschränkt. Zur Professur Sportbiomechanik gehören 1,5 VZÄ befristete wissenschaftliche Mitarbeiter. Der Betrieb des Labors wird aktuell durch eine minimale ingenieurtechnische Kapazität (5 h/Woche) unterstützt; es gibt keinerlei wissenschaftlich-technische Kapazität mehr. Ursprünglich der Professur zugeordnete und für den Betrieb in einem wissenschaftlich-technologisch orientierten Bereich unumgängliche Ressourcen wurden durch die Fakultätsleitung entgegen den Vereinbarungen zum Betrieb der Großgeräte anderen, weniger drittmittelstarken Bereichen zugeordnet. Die Nutzung des Labors muss daher aktuell durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter zusätzlich zu seinen eigentlichen Aufgaben betreut werden, was die Nutzungszeiten und Unterstützung insbesondere für externe Nutzer aus anderen Fakultäten der Universität deutlich einschränkt und eine effiziente Nutzung der Infrastruktur nicht zulässt. Der Ausbau und die Nutzung der Labore für Lehre und Forschung konnte ausschließlich durch die eingeworbenen Drittmittel abgesichert werden. Unter diesen Umständen sind wir besonders stolz, dass es gelungen ist, die technologischen Innovationen in der Bewegungsanalyse der letzten Jahre in die Labore zu implementieren.

3. Forschungsschwerpunkte der Sportbiomechanik

Die Abteilung Sportbiomechanik konnte in den letzten 15 Jahren drei Forschungslinien etablieren. Im ersten Schwerpunkt wurde die Expertise in der Optimierung sportlicher Bewegungen im Leistungssport weiterentwickelt. Als weiterer neuer inhaltlicher Schwerpunkt kam die Präventions- und Rehabilitationsdiagnose hinzu. Darüber hinaus wurden die Untersuchungsmethoden weiterentwickelt.

Im Rahmen von 13 z. T. mehrjährigen Drittmittelprojekten konnten in den letzten 15 Jahren insgesamt 1,3 Millionen Euro eingeworben werden. Alle Forschungsprojekte sowie die daraus entstandenen Publikationen sind über das

Forschungsinformationssystem der Universität Leipzig einsehbar (<https://leuris.uni-leipzig.de/portal/ou/399/forschungsprojekt>).

Aufgrund der engen Anbindung und des hohen Engagements im Kinder- und Jugendsport hat sich die Professur an der Universität Leipzig federführend in die Initiative Forschungsforum Kind eingebracht (<https://www.uni-leipzig.de/forschung/forschungsprofil/wissenschaftliche-zentren/kind>).

3.1 Optimierung sportlicher Bewegungen im Leistungssport

Die primäre Expertise an der Professur wurde weiter ausgebaut. Dies erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Spitzenfachverbänden (insbesondere mit: Deutscher Skiverband, Deutscher Schwimmverband, Deutscher Behindertensportverband, Deutscher Leichtathletikverband) und dem Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) Leipzig. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen sowohl zyklische Antriebsbewegungen als auch die Schnellkraftsportarten. Dabei kam eine große Palette von Untersuchungsmethoden zum Einsatz (z. B. Dynamometrie, 2-D- und 3-D-Bildanalyse, Inertialsensoren, Elektromyografie, Atemgasanalyse, Modellierung). Dies soll nun an zwei Beispielen detaillierter dargestellt werden.

Im Schwimmen wurde mit Hilfe von Inertialsensoren die Rumpfbewegung im Freistilschwimmen untersucht. Tendenziell zeigt sich für die Freistilsprinter eine deutlichere Ausprägung der Verwindungstechnik (entgegengesetzte Rotation von Hüft- und Schulterachse) in allen Schwimmgeschwindigkeiten im Vergleich mit den Langstrecklern und Spezialisten der Wechselschlagschwimmarten. Erwartungsgemäß fanden wir bei den Freistilsprinter*innen eine stabilere Position der Hüftachse bei höheren Schwimmgeschwindigkeiten. Es konnte gezeigt werden, dass mit zunehmender Geschwindigkeit das Becken stärker stabilisiert wird. Diese Bewegungstechnik zeigen die Sprintspezialist*innen in Ansätzen tendenziell bereits bei niedrigeren Geschwindigkeiten. Mit dem entwickelten diagnostischen Inventar war es möglich, Parameter für die Quantifizierung der Rumpfbewegung zu bestimmen und Orientierungswerte zu erarbeiten. Mit Hilfe der Rotationsamplitude der Hüfte und des Phasenversatzes zwischen Hüft- und Schulterrotation lassen sich individuelle Einschätzungen der Zweckmäßigkeit der Rumpfbewegung vornehmen und so Reserven in der Antriebsgestaltung erschließen.

Im Speerwurf der Männer wurden mit Hilfe der markerbasierten Bewegungsanalyse und der anschließenden Bewegungsmodellierung die Antriebsmechanismen des Speers näher untersucht. Während bisher davon ausgegangen wurde, dass die finale Gerätebeschleunigung durch das Verrichten mechanischer Arbeit der Muskulatur der Schulter, des Ellenbogens und des Handgelenks geschieht, zeigten die Ergebnisse des Projekts, dass das Schultergelenk als letztes Gelenk Energie in das System einträgt, wobei nicht sichergestellt werden konnte, ob es sich um einen Eintrag wiedergewonnener, elastischer

Energie oder um einen tatsächlichen Energieeintrag handelt. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass ein erhöhter Eintrag an Energie im Schultergelenk zu erhöhten Gelenkmomenten und somit zu einem erhöhten Verletzungsrisiko an Schulter- und Ellenbogengelenk führt. Es konnte somit geschlussfolgert werden, dass ein Fokus auf den Transfer mechanischer Energie von den proximalen Segmenten bzw. aus den vorbereitenden Bewegungsabschnitten zu einer deutlicheren Leistungssteigerung bei einer Verringerung des Verletzungsrisikos führt. Dies sollte somit in der Ausbildung der spezifischen Technik Berücksichtigung finden, um einen unterbrechungsfreien und effektiven Trainingsprozess zu ermöglichen.

3.2 Prävention und Rehabilitation von Sportverletzungen

In den letzten Jahren haben sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der Professur Sportbiomechanik verstärkt in diesem Grenzbereich zur Sportmedizin engagiert. Dabei wurden enge Kooperationen zur Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie (Professor Hepp, Dr. Schleifenbaum), zur Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie (Professor Denecke, OÄ Dr. Henkelmann), dem Institut für Kinderradiologie der Kinderklinik (Professor Hirsch, OA Dr. Roth) und dem Institut für Anatomie (Professor Beckmann, PD Dr. Steinke) an der Medizinischen Fakultät, zur Unfallkasse Sachsen (K. Jurig) aufgebaut sowie zum IAT Leipzig (Dr. Schleichardt) und weiteren Praxispartner*innen (Kinderzentrum Leipzig – Professor Brock; Heliosklinik, Professor Pap; Sana-Klinikum – K. Untiedt, Asevida Rehasentrum, R. Plich) erweitert. Diese Projekte sind aktuell noch nicht abgeschlossen.

Im Rahmen einer prospektiven Studie wurde die **Rehabilitation von Kindern und Jugendlichen nach schweren Knieverletzungen** begleitet (Kooperation Unfallkasse Sachsen, Kinderzentrum Leipzig, Asevida Rehasentrum). Für diese Altersgruppe gab es bisher keine belastbaren Daten für die zeitlichen Abläufe und die Besonderheiten dieser Gruppe. Es werden nach wie vor die Leitlinien für Erwachsene genutzt. Die Rückkehr in den Schulsport erfolgte in etwa 50 % der Fälle innerhalb von sechs Monaten, wobei keine Studienteilnehmerin bzw. kein Studienteilnehmer die Return-to-Sport-Kriterien erfüllte. Es konnte in der Studie gezeigt werden, dass die Einflussfaktoren Body-Mass-Index, Aktivitätsscore vor der Verletzung sowie Geschlecht den Rehabilitationsprozess beeinflussen. Außerdem verbessern urbane Räume den Zugang und die Dauer der Maßnahmen gegenüber den ländlichen Räumen. Im Ergebnis des Projekts können erstmalig altersspezifische und individualisierte Empfehlungen und Maßnahmen abgeleitet werden.

Aus dem Projekt Optimierung der Wurfbewegungen wurde deutlich, dass bei diesen Bewegungen eine Leistungssteigerung immer auch eine Vergrößerung der Gelenkbelastungen, insbesondere im Schultergelenk, mit sich bringt. Vor allem der Energietransfer stellt hohe Anforderungen an die Speicherung elasti-

scher Energie in aktiven und passiven Strukturen des Antriebssystems. Als ein präventiver Aspekt wird in diesem Zusammenhang die Anpassung der Muskelfaszikellänge durch exzentrisches Krafttraining diskutiert. Die Effekte konnten für die untere Extremität bereits bestätigt werden. Durch unsere Arbeitsgruppe wurden die Interventionsprogramme an die Besonderheiten der oberen Extremität angepasst und in mehreren Schritten positiv evaluiert. Die Arbeit an diesem Projekt wurde durch uns über eine Arbeitsgruppe *Schulter* koordiniert, in der wir mit verschiedenen Kooperationspartner*innen der Medizinischen Fakultät (Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, dem Institut für Anatomie) sowie dem IAT Leipzig interdisziplinär zusammenarbeiten. Durch diese Zusammenarbeit konnte erstmalig eine Vergrößerung der Faszikellänge für Muskeln an der oberen Extremität nachgewiesen werden. Dieser Nachweis erfolgte mit Hilfe einer neu entwickelten Auswerttechnologie für bildgebende Verfahren (siehe auch Punkt 3.3).

Ein drittes Projekt beschäftigt sich mit der **Prävention von Knorpelverletzungen** im Kontext von Wachstum und Sport. Im Vergleich von drei Kohorten (Belastung durch leistungsorientierten Sport bei Volleyballern, Belastung durch erhöhten Body-Mass-Index (BMI), Kontrollgruppe) konnte gezeigt werden, dass Vorstufen struktureller Veränderungen, wie wir sie von Erwachsenen kennen, auch beim juvenilen Knorpel nachweisbar sind. Häufigkeit und Schwere der Veränderungen erhöhen sich insbesondere mit einem vergrößerten BMI und weniger durch sportliche Belastung. Es deutet sich ein Zusammenhang der Region der Knorpelveränderungen mit der Beinstatik an. Dieses Projekt wird in Kooperation mit dem Institut für Kinderradiologie der Kinderklinik und dem Kinderzentrum Leipzig bearbeitet.

3.3 Weiterentwicklung von Untersuchungsmethoden

Im Jahr 2013 konnte an der Professur Sportbiomechanik eine Nachwuchsforscherguppe **Schnelligkeit in Kognition und Motorik** eingeworben werden (Förderung des Europäischen Sozialfonds). Im Rahmen dieses Drittmittelprojekts wurden intensive Kooperationen zur Neurowissenschaft (Max-Planck-Institut (MPI) Leipzig) und der Humangenetik (Professor Schäfer) aufgebaut werden. Als ein wesentliches Ergebnis der Arbeit konnte die Theorie zum Schnelligkeitstraining und -diagnostik weiterentwickelt werden, und es entstand ein Diagnostikum zur elementaren Schnelligkeit (Krug et al., 2019) mit detaillierten Testbeschreibungen und entsprechenden Referenzwerten für verschiedene Zielgruppen und über die gesamte Lebensspanne. Es entstanden mehrere Dissertationen (Wenzel, 2013; Kurth-Rosenkranz, 2017; Berger, 2018).

Im Rahmen einer Kooperation mit der Central Washington University (Professorin Dr. Karen Roemer) und dem IAT (PD Dr. Axel Schüler) wurden Modelle zur Analyse von Wurfbewegungen entwickelt. Dies umfasste unter anderem

die Abschätzung von Fehlern bei der Anwendung von unterschiedlichen Trägheitseigenschaften von Körpersegmenten auf die Ergebnisse invers-dynamischer Berechnungen. Weiterhin wurde ein Modell aufgebaut und erprobt, das neben der Kinematik und Dynamik des Körpers, auch die des Sportgeräts (z. B. Speer) berücksichtigt und in die Berechnungen mit einbezieht. Auch die Auswirkungen unterschiedlicher Oberkörpermodelle (einteilig vs. zweiteilig) auf die Ergebnisse unterschiedlicher Berechnungen wurde evaluiert. Der Aufbau eines hybriden Modells von Körper (markerlos) und Sportgeräten (markerbasiert) steht derzeit aus.

Im Rahmen der Research Akademie der Universität Leipzig gründeten wir gemeinsam mit dem Veterinäranatomischen Institut (Professor Mülling) die **Graduiertengruppe InteReBio**. Assoziierte Partner*innen der Gruppe sind Kollegen der HTWK (Professor Dobner, Professor Grüttmüller), die uns vor allem im Bereich der mathematischen Verfahren zur Datenanalyse unterstützen. Hauptzielstellung der Gruppe ist die gemeinsame Anwendung und Weiterentwicklung von Untersuchungsmethoden zur Bewegungsanalyse bei Mensch und Tier. Neben dem regelmäßigen Austausch zu Messverfahren und der Schulung der Doktorand*innen hat die Gruppe erfolgreich einen gemeinsamen Großgeräteantrag eingeworben. Dieser ermöglicht, die 3-D-Fluokinemetrie für den Einsatz in der Veterinärmedizin zu erneuern und schafft perspektivisch die Möglichkeit für eine humane Anwendung.

Für den Nachweis von Adaptationsprozessen am Muskel wurden im Rahmen der Arbeitsgruppe *Schulter* (in Kooperation mit der Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und dem Institut für Kinderradiologie, Kinderklinik) die Möglichkeit einer *MR-basierten Diffusions-Tensor-Bildgebung des Muskels (mDTI)* erschlossen. Mit Hilfe dieses innovativen Ansatzes kann eine genaue Berechnung der Fasermetrik erfolgen. Die Durchführung von mDTI setzt aufwendige Datenaufbereitungsschritte wie eine Segmentierung der Zielstrukturen voraus. Da die Segmentierung raterabhängig sein könnte, war es wichtig zu verstehen, wie die Segmentierung die Traktografie beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, dass die Rater-Unterschiede in den Segmentierungsvorgängen und resultierenden Modellvolumina aufwiesen, die jedoch keinen Einfluss auf die Traktografie hatten und Faszikellänge, Faservolumen, fraktionelle Anisotropie, axiale Diffusivität, radiale Diffusivität und mittlere Diffusivität ausgezeichnete Intraklassen-Korrelationsschätzungen ($> 0,97$) aufwiesen. Im Gegensatz dazu zeigte ein explorativer Ansatz, der auf eine Segmentierung und damit auf ein Modell der Zielstruktur verzichtete, signifikante Unterschiede in der Faszikellänge. Aus diesen Ergebnissen schließen wir, dass die Traktografie nicht empfindlich auf kleine Abweichungen bei der Segmentierung reagiert. Dennoch müssen automatische Segmentierungsansätze in Betracht gezogen werden, um das Potenzial von mDTI weiter auszubauen.

3.4 Ausrichtung von Tagungen

Der regelmäßige Austausch mit Fachkolleg*innen ist für unsere Abteilung ein wichtiges Element im Forschungsprozess. Neben der Vorstellung unserer Forschungsergebnisse auf Fachtagungen haben wir auch die Ausrichtung ausgewählter Veranstaltungen übernommen. Im Jahr 2017 waren wir Ausrichter der dvs-Tagung Sportbiomechanik *Biomechanik & Kognition* mit mehr als 100 Teilnehmer*innen aus sportwissenschaftlichen Einrichtungen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Olympiastützpunkten.

Seit dem Jahr 2018 haben wir gemeinsam mit dem Landessportbund Sachsen und dem Sportärztebund die *Tagung Sportmedizin* im 2-jährigen Turnus etabliert, die sich vor allem Themen der Prävention- und Rehabilitation im leistungsorientierten Sport widmet. Im Rahmen dieser Weiterbildung wird ein reger Austausch zwischen Sportmediziner-, Bewegungswissenschaftler- und Praktiker*innen (Trainer-, Sport- und Physiotherapeut*innen) zum gegenseitigen Vorteil organisiert.

Das Jahr 2023 war für uns ein besonderer Höhepunkt, konnten wir doch in Leipzig Vertreter*innen aus Forschung und Praxis des Schwimmsports aus aller Welt begrüßen. Die Abteilungen Sportbiomechanik und der Internationale Trainerkurs (ITK) richteten gemeinsam zwei Veranstaltungen aus. In Kooperation mit dem Europäischen Schwimmverband (LEN) und unterstützt vom World Aquatics organisierte der ITK eine zweitägige *European Aquatics Coaching Clinics*. Im Anschluss diskutierten Wissenschaftler*innen auf dem XIV. Kongress *„Biomechanics & Medicine in Swimming“* vier Tage lang neue Ergebnisse und Ansätze in der Schwimmsportforschung. Die Themen reichten dabei vom Anfängerschwimmen bis zur Simulation von Strömungen zur Verbesserung des Antriebs bei Bewegungen im Wasser. Die Konferenz wurde von der Abteilung Sportbiomechanik in Kooperation mit dem Internationalen Council BMS organisiert. Ein besonderes Highlight des Kongresses war die Pool-Side-Demonstration. Hier wurden an acht Stationen Messverfahren im Praxiseinsatz vorgestellt und mit den Teilnehmer*innen diskutiert. Insgesamt nahmen ca. 350 Trainer- und Wissenschaftler*innen aus über 30 Ländern an den Veranstaltungen teil.

4. Weiterentwicklung der studentischen Ausbildung

Mit der Etablierung der konsekutiven Studiengänge (Bachelor und Master) und der Lehramtsausbildung (Staatsexamen) wurde das Lehrangebot grundsätzlich neu konzipiert. Besonderen Wert legen wir in unserer Ausbildung auf den Bezug zum Berufsfeld der jeweiligen Fachrichtung. Aus diesem Grund werden neben der Vermittlung grundlegender Kenntnisse für die verschiedenen Studiengänge differenzierte Angebote gestaltet. In mittlerweile drei Lehr- und Lern-

projekten (Förderung über LaborUniversität im Rahmen von *StiL – Studieren in Leipzig* der Universität Leipzig, Förderung über den Arbeitskreis E-Learning der Landesrektorenkonferenz Sachsen) wurden *blended learning* Ansätze für die Sportbiomechanik entwickelt und viele Inhalte digitalisiert. Für die Umsetzung dieser lehrbezogenen Vorhaben wurden insgesamt weitere 89 T€ Förderung eingeworben.

Lehr- und Lernlabor Sportbiomechanik (2013/14)

Studierende der Sportwissenschaft kommen häufig mit geringem Interesse und unzureichenden Kenntnissen für naturwissenschaftliche Teildisziplinen an die Universität Leipzig. Dadurch ist eine theoriegeleitete Wissensvermittlung, besonders in den ersten Semestern, schwer umsetzbar und erzielt nur für einen Teil der Studierenden den gewünschten Effekt (heterogene Studierenden-Gruppen). Ziel des Projekts war die Verbesserung des Zugangs zu naturwissenschaftlichen Teildisziplinen für Studierende der Sportwissenschaft und speziell in den Grundlagen der Sportbiomechanik. Die methodisch-didaktische Umsetzung erfolgte über physikalisch-mechanische und verhaltenswissenschaftliche Laborübungen. Durch den Einsatz neuer Medien und Vermittlungsformen wurden der hohe Betreuungsaufwand der Laborübungen beherrschbar gestaltet, das Interesse der Studierenden geweckt und der Zugang zum eigenständigen Arbeiten verbessert. Die Umsetzung erfolgte im Rahmen des StiL-Projektes der LaborUniversität mittels der an der Universität bereitgestellten Lernplattform *Moodle* und einem *Blended-Learning-Konzept*. Für die Versuchsdurchführung wurden Informationsmaterialien, Protokollvorlagen und Videos zur Durchführung erstellt. Resümierend ist festzuhalten, dass die Studierenden ein überwiegend positives Feedback zu den evaluierten Lehrveranstaltungen (86 %) gaben.

Erlebnisse, Ergebnisse, Erkenntnisse und erfolgreiche Anwendung – seminaristische Übungen in der Biomechanik – Vertiefung (2018/19)

In einem Folgeprojekt wurde das Vorgehen auf den Kurs Sportbiomechanik Vertiefung für Sportwissenschaftler*innen übertragen. Dazu wurden alle notwendigen Arbeitsmaterialien erstellt und das Modulhandbuch weiterentwickelt. Zur Bewertung der Protokolle wurden im Rahmen des Projekts Musterlösungen zu jedem Arbeitsauftrag der einzelnen Seminare erstellt und digitalisiert. Im Nachgang zum Projekt wurden verschiedene Erklärvideos erstellt (z. B. Berechnung von Integralen in Excel, Digitalisierung von Bildpunkten etc.). Diese Videos können von den Studierenden als Hilfestellung bei der Bewältigung der Aufgabenstellungen der einzelnen Seminarthemen genutzt werden.

Über die beiden Projekte hat sich die messplatzbezogene Lehre entwickelt und etabliert. Die methodisch-didaktische Umsetzung der durchzuführenden Module erfolgt über seminaristische Übungen, in denen die Lehrinhalte anhand von sportbiomechanischen Testverfahren mit den Studierenden erschlossen wer-

den. Neben verschiedenen Mess- und Informationssystemen mit konkreten Fallbeispielen aus potenziellen Berufsfeldern der Studierenden, kommen auch Messplätze zum Einsatz, deren Aufbau und messtechnische Zusammenstellung eigens für die Vermittlung grundlegender Konzepte geschaffen wurde. Um diese speziellen Messplätze asynchron vor- und nachbereiten zu können, war die Erstellung adressatenorientierter Aktivitäten notwendig.

Die Ergebnisse beider Projekte bildeten die Grundlage für die erfolgreiche Bewältigung der Herausforderungen in den Corona-Semestern. Die Umstellung auf die Online-Lehre erfolgte mit Hilfe der Bausteine Videostream, Podcast, Tafelbilder, Propädeutikum, Modulhandbuch, seminaristische Übungen mit Bereitstellung von Daten zur Auswertung, Beispiellösungen und Selbstlerntests. Das Feedback der Studierenden war außerordentlich positiv.

Digitales Labor Sportbiomechanik (2022/23)

Im Ergebnis des dritten Projekts wurden zwei digitale Labore unter Nutzung von HTML5 Paketen erstellt, das Studierendenlabor und das Forschungslabor, wobei hier die H5P-Aktivität Virtual Tour (360) zum Einsatz kam. In dieser können 360°-Aufnahmen und normale Bilder mit interaktiven Elementen und Verlinkungen angereichert werden. Die eingepflegten Bilder bilden Szenen, die auch miteinander verknüpft werden können. Damit kann den Nutzer*innen der Eindruck vermittelt werden, zwischen verschiedenen Umgebungen oder wie in unserem Fall, verschiedenen Standpunkten innerhalb derselben Umgebung zu wechseln.

Als Startszene dient jeweils eine zusammengesetzte 360°-Aufnahme des jeweiligen Labors. In dieser Startszene ist es möglich, sich in alle Richtungen umzusehen. Es existierte bereits ein digitales Handbuch zu den Modulen, in denen die Lernziele der einzelnen Lehreinheiten mit Verweisen auf Basis- und weiterführende Literatur zusammengefasst sind. In diesem Projekt wurden die unterfütternden Inhalte in einer ansprechenden Umgebung zusammengefasst und durch interaktive Lektionen ergänzt, um das Selbststudium noch ansprechender und adressatenorientierter zu gestalten.

Die inhaltliche Ausarbeitung der Messplatz-Lektionen basierte auf dem bestehenden Modulhandbuch und wurde erfolgreich umgesetzt. Der Bezug zur Sportpraxis wurde durch die Erstellung weiterer adressatenorientierter Anwendungsbeispiele und Transferbeispiele für verschiedene Fachrichtungen gestärkt. Die Bewegungsgrundformen Gehen/Laufen, Springen und Werfen wurden weiter in den Mittelpunkt gerückt, wobei auch der Präventionsaspekt erweiterten Raum erhielt. Lehrvideos wurden zusammengestellt und erfolgreich in die grundständige Lehre des Grundlagenmoduls Biomechanik integriert. Die digitalen Labore wurden als innovative 360°-Abbildungen realisiert, wodurch Studierende interaktiv in die biomechanischen Messplätze eintauchen können. Die Einbettung der Inhalte in Moodle erfolgte unter Nutzung der Expertise des E-Learning-Service der Universität Leipzig.

Literatur

Berger, L. (2018). *Assoziationsstudie zur genetischen Determiniertheit von elementarer motorischer Schnelligkeit*. Dissertation Universität Leipzig, Zugriff unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:15-qucosa2-313565>

Krug, J., Kurth-Rosenkranz, R., Voß, G., Wenzel, U., & Witt, M. (2019). *Diagnostikum der elementaren Schnelligkeit* (Reihe: Sport und Wissenschaft – Band 15). Lehmanns Media.

Kurth-Rosenkranz, R. (2017). *Veränderung der Struktur elementarer Schnelligkeitsleistungen im Altersgang*, Dissertation Universität Leipzig, Zugriff unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:15-qucosa2-209385>

Wenzel, U. (2013). *Zu ausgewählten Einflussfaktoren der willkürlich initiierbaren Schnelligkeit. Eine elektrophysiologische und neurostrukturelle Untersuchung* (Reihe Sportwissenschaften, Band 15). Lehmanns Media.

Verfasser*innen

Witt, Maren, Prof. Dr. phil. habil., Abteilung Sportbiomechanik, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig

Köhler, Hans-Peter, Dr. phil., Abteilung Sportbiomechanik, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig

Böker, Eva, Abteilung Sportbiomechanik, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig

Janke, Christine, Abteilung Sportbiomechanik, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig

Schlimme, Tim, Abteilung Sportbiomechanik, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig

Vetter, Sebastian, Abteilung Sportbiomechanik, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig