

# Der schnelle Arm im Tennis – trainings- und bewegungswissenschaftliche Analysen zur Optimierung der Aufschlagqualität im Nachwuchsleistungstennis

(AZ-072017/16)

Alexander Ferrauti<sup>1</sup> (Projektleitung), Daniel Hahn<sup>2</sup> (Projektleitung), Janina Fett<sup>1</sup>, Jo-Lâm Vuong<sup>1</sup>, Stephan Babel<sup>2</sup>, Nils Oberschelp<sup>1</sup>, Dennis Gatzke<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sportwissenschaft, Lehr- und Forschungsbereich Trainingswissenschaft

<sup>2</sup>Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sportwissenschaft, Lehr- und Forschungsbereich Bewegungswissenschaft

## 1 Problem

Die Spielentwicklung im professionellen Tennissport zeigt in den vergangenen zwei Dekaden eine Veränderung von einer ausschließlich technikdominierten Sportart zu einem schnellkraftbetonten Spiel, welches durch höhere Aufschlaggeschwindigkeiten und deutlich kürzere Ballwechsel gekennzeichnet ist. Im aktuellen professionellen Tennissport ist der Aufschlag nach Meinung vieler Experten der bedeutendste Schlag, der häufig über Sieg und Niederlage entscheidet. Aufgrund der Verkürzung der Ballwechseldauer und folglich der Verringerung der Schlaghäufigkeit pro Ballwechsel konnte der Aufschlag auch quantitativ an Bedeutung gewinnen (Behringer et al., 2013; Martin et al., 2013; Girard et al., 2005; Weber et al., 2010; Vaverka & Cernosek, 2013).

Aufgrund der beschriebenen Entwicklungen ist es naheliegend und dringlich, die leistungsbestimmenden Einflussgrößen für die Aufschlagqualität differenziert nach Alter und Geschlecht sowie für jede Technikvariante zu quantifizieren. Wissenschaftliche Untersuchungen zeichnen bislang ein uneinheitliches Bild bezüglich der athletischen und biomechanischen Prädiktoren für die Aufschlagqualität, und es existiert insbesondere auch ein Forschungsdefizit im Bereich des Nachwuchsleistungssports. Neben Einflussgrößen hinsichtlich anthropometrischer und athletischer Faktoren wird in der Praxis die verbleibende Grauzone zumeist eher nebulös dem Phänomen des

„schnellen Arms“ zugeschrieben. Zu den relevanten bewegungsanalytischen Charakteristika besteht jedoch in der Trainerschaft kein Konsens, und auch die bislang verfügbaren wissenschaftlichen Analysen liefern allenfalls veraltete und undifferenzierte Leitlinien (Elliot, 1988; Elliot et al., 1995).

In der langfristigen Entwicklung des Nachwuchsspielers bzw. der Nachwuchsspielerin erfolgt die Bedeutungszunahme vergleichsweise abrupt ab den Altersklassen U16 (männlich) und U14 (weiblich). Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass dem Aufschlag in der U12 aufgrund von anthropometrischen Voraussetzungen zunächst noch keine primär leistungslimitierende Rolle zukommt. Eine ausreichende und zielgerechte Vorbereitung auf die späteren Anforderungen im Spitzentennis findet daher im Nachwuchsbereich nur selten statt. Zusätzlich fehlen adäquate Leitlinien zur Bewegungsoptimierung und zur Trainingsintervention. Speziell im Damentennis wird dies dadurch verstärkt, dass aufgrund von unzureichenden motorischen Vorerfahrungen und Grundfertigkeiten für schnellkräftige Wurfbewegungen der oberen Extremität über viele Jahre hinweg Vermeidungs- und Kompensationsstrategien in der Trainingssteuerung erfolgen und der Verbesserung des Aufschlags ein unzureichender Trainingsumfang gewidmet wird. Grundsätzlich ist demnach eine frühzeitige und zielgerichtete Fokussierung auf Interventionsbemühungen zur Verbesserung der Aufschlagqualität zu fordern. Hierzu mangelt es jedoch bislang an alters- und geschlechtsspezi-

fischen Kenntnissen über die hierfür erforderlichen allgemeinmotorischen und konditionellen Voraussetzungen sowie über technisch-taktische Charakteristika einer erfolgreichen Bewegungsausführung verschiedener Aufschlagvarianten und deren effiziente Einbindung in das komplexe Spielverhalten.

Das Service-Forschungsprojekt greift durch seinen integrativen und komplexen Ansatz die oben aufgezeigte Problematik gezielt und praxisnah auf und strebt dabei die Erfüllung folgender Ziele an:

- Identifikation und Quantifizierung des Einflusses von anthropometrischen, konditionellen und technischen Voraussetzungen für die Realisation einer guten Aufschlagqualität in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht im Nachwuchsleistungstennis,
- Analyse der Effizienz spieltaktischer Einsatzstrategien verschiedener Aufschlagvarianten und Diagnostik von Aufschlaggeschwindigkeit und -präzision unter realen Matchbedingungen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht im Nachwuchsleistungstennis,
- Differenzierung bewegungsanalytischer Merkmale erfolgreicher und weniger erfolgreicher Aufschlagstechniken in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht im Nachwuchsleistungstennis.

## 2 Methode

Das dreistufige Projekt beinhaltet zwei Felduntersuchungen und eine Laboruntersuchung. In Abb. 1 sind die einzelnen Untersuchungsabschnitte zusammengefasst dargestellt. Alle Maßnahmen erfolgten mit C-/D-Kaderspielern der Landesverbände des Deutschen Tennisbunds. Abschnitt 1 basiert auf Untersuchungen des DTB-Konditionstests sowie einer zusätzlichen isokinetischen Krafterhebung (Isomed2000). Dem Untersuchungsabschnitt 2 liegt ein spielanalytischer Ansatz zu Grunde (Play Sight Smart

Court und Radar), während in Abschnitt 3 kinematische Bewegungsanalysen (Vicon Motion Capturing) durchgeführt wurden. Detaillierte Beschreibungen aller Testmethoden können dem Abschlussbericht entnommen werden.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Abschnitt 1 – Qualitative und quantitative Technikrobanalyse

#### *Teil 1 Qualitative Technikrobanalyse*

Bei einem Gruppenvergleich der Aufschlagmerkmale zwischen den schnellen und langsamen Aufschlägern lassen sich bei einigen Faktoren Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung feststellen. So weisen die Parameter Ballwurf, Rumpfneigung, Trophy Position, Treffpunkt Armstreckung sowie die Unterarmpronation in der schnellen Aufschlaggruppe eine größere Häufigkeit in dem Auftreten des Merkmals auf ( $p < 0.05$ ). Dies bedeutet, dass die schnelle Gruppe den Ball häufiger nach vorne wirft, in der Vorbereitungsphase häufiger eine deutlicher Seitneigung im Oberkörper aufweist, häufiger die „Trophy Position“ einnimmt, im Treffpunkt häufiger eine Armstreckung aufweist und ebenfalls häufiger eine Unterarmpronation in der Beschleunigungsphase bis zum Treffpunkt zeigt im Vergleich zu der langsamen Aufschlaggruppe.

Bei einem Vergleich in Abhängigkeit des Geschlechts liegen Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeitsverteilung in der Ausgangstellung (die Jungen bevorzugen neben der Ausrichtung der Füße Netzpfosten/Grundlinie, die Ausrichtung Grundlinie/hinten und Netzpfosten/hinten, während die Mädchen neben der Ausrichtung Netzpfosten/Grundlinie die Ausrichtung links/rechts Grundlinie sowie Grundlinie/hinten bevorzugen), dem Ballwurf, der Gewichtsverlagerung (die Jungen bevorzugen die Gewichtsverlagerung vorne/hinten/vorne während bei den Mädchen die Verteilung der Gewichtsverlagerung vorne/hinten/vorne und hinten/vorne gleich verteilt ist) sowie der Fußstellung (Mädchen bevorzugen die Foot up-Technik, während die Verteilung der foot up und foot back-Technik bei den Jungen ausgeglichener ist) auf. Des Weiteren weisen die Jungen in den Merkmalen Ellenbogen, Rumpfneigung,

		
<p><b>Abschnitt 1</b> Qualitative und quantitative Technikgrobanalyse (DTB-Konditionstest)</p> <p><i>Teil 1</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifikation von qualitativen Technikmerkmalen in Abhängigkeit der Aufschlaggeschwindigkeit (n= 356 C-/D-Kaderathleten)</li> </ul> <p><i>Teil 2</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifikation athletischer und anthropometrischer Einflussgrößen (n= 1019 C-/D-Kaderathleten)</li> </ul> <p><i>Teil 3</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifikation des Einflusses der isokinetischen Kraft von Innen- und Außenrotatoren im Schultergelenk (n= 12 C-/D-Kaderathleten)</li> </ul>	<p><b>Abschnitt 2</b> Systematische Spiel- und Taktik-Analyse (Play Sight Court)</p> <p><i>Teil 1</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Überprüfung der Messgenauigkeit des PlaySight-Court Systems (n= 5)</li> </ul> <p><i>Teil 2</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung von qualitativen und quantitativen Merkmalen der technisch-taktischen Anwendung des Aufschlags, Aufschlageffizienz sowie erweiterte Spieleröffnung unter realen Matchbedingungen (n= 12 C-/D-Kaderathleten)</li> </ul>	<p><b>Abschnitt 3</b> 3D-Bewegungsanalyse (Vicon Motion Capture)</p> <p><i>Teil 1</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pilotstudie zur Erfassung kinematischer Parameter während des Tennisaufschlags sowie Festlegung eines geeigneten Modells zur Erfassung kinematischer Parameter (n= 3)</li> </ul> <p><i>Teil 2</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifikation leistungslimitierender kinematischer Charakteristika im Nachwuchsleistungstennis (n= 10 C-/D-Kaderathleten)</li> </ul>
<p><b>Transferkonzept</b> Entwicklung von alters- und geschlechtsspezifischen Leitlinien für das Training; Integration in Traineraus- und -fortbildung (u.a. Online-Campus); Installation eines individuellen Service- und Beratungs-Zentrums (ZeDI des DTB)</p>		

Abb. 1: Darstellung der einzelnen Untersuchungsabschnitte.

Bogenspannung, Treffpunkt Ganzkörperstreckung, Treffpunkt Armstreckung, Schulter über Schulter im Treffpunkt sowie bei der Unterarmpronation eine größere Häufigkeit in dem Auftreten der Merkmalsausprägung im Vergleich zu den Mädchen auf ( $p < 0.05$ ).

Betrachtet man die Merkmalsausprägung im Altersgang, zeigt sich in den meisten Parametern eine Zunahme hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit des jeweiligen Merkmals mit steigendem Alter.

*Teil 2 Anthropometrische und athletische Voraussetzungen auf die Aufschlagleistung*

Korrelationsanalytischer Berechnungen zwischen den athletischen Voraussetzungen und der Aufschlaggeschwindigkeit zeigen, dass über alle Altersklassen (U12, U14, U16, U18) hinweg die Parameter Medizinballwürfe ( $r = 0,20-0,63$ ) sowie

die Handkraft ( $r = 0,27-0,59$ ) den größten Zusammenhang zur Schlaggeschwindigkeit aufweisen, mit den höchsten Koeffizienten im pubertären Alter. Hinsichtlich anthropometrischer Faktoren erweisen sich vor allem die Spannweite ( $r = 0,24-0,56$ ) sowie das Körpergewicht ( $r = 0,35-0,57$ ) als Prädiktoren für eine hohe Aufschlaggeschwindigkeit.

Ergebnisse multipler Regressionsanalysen zeigen, dass mit den Prädiktoren bei den Jungen zwischen 41 % und 66 % der Varianz erklärt werden kann, bei den Mädchen hingegen nur zwischen 19-45 %. Die Prädiktorvariablen setzten sich bei den Jungen aus den Medizinballwürfen, der Handkraft sowie der Armspannweite zusammen, während bei den Mädchen neben den Medizinballwürfen und der Handkraft vor allem noch das Körpergewicht von großer Bedeutung ist.

### *Teil 3 Identifikation des Einflusses der isokinetischen Kraft der Schulterinnen- und -außenrotatoren*

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen den erhobenen Kraftparametern und der maximalen sowie mittleren Aufschlaggeschwindigkeit zeigen hohe signifikante Zusammenhänge zwischen dem max. Drehmoment während der Schulterinnenrotation und der Aufschlaggeschwindigkeit ( $r = .67-.81$ ;  $p < .05$ ), unabhängig von der Winkelgeschwindigkeit ( $60^\circ/s$  &  $180^\circ/s$ ). Betrachtet man das durchschnittliche Drehmoment sind bei einer Winkelgeschwindigkeit von  $180^\circ/s$  signifikante Zusammenhänge in der Innenrotation und der Aufschlagleistung zu finden ( $r = .63-.69$ ;  $p < .05$ ).

## **3.2 Abschnitt 2 - Systematische Spiel- und Taktikanalyse (PlaySight Smart Court)**

### *Teil 1 Überprüfung der Messgenauigkeit des PlaySight-Court Systems*

In diesem Untersuchungsabschnitt ist zunächst das Messinstrument (PlaySightCourt, PlaySight Interactive Ltd, Kfar Saba, Israel) auf seine Messgenauigkeit hin überprüft worden. Bei der Überprüfung der Aufschlaggeschwindigkeit zeigt sich eine durchschnittliche Abweichung von ca. 5 %. Hinsichtlich der Typisierung der Schlagart zeigt das System nur geringe Abweichungen vom wahren Wert, bei der Zuordnung von jeweils 160 Vor- und Rückhandschlägen (Total 320) sind in der Summe sechs Schläge falsch zugeordnet worden. Bei der Kategorisierung der Trefferzone (im Feld/im Aus) ist ein Fehler von 3 % zu verzeichnen. Große Abweichungen hingegen zeigen sich bei den ermittelten Werten der zurückgelegten Laufdistanz sowie des Energieumsatzes ( $p < 0,05$ ;  $d \geq 0,8$ ).

### *Teil 2 Qualitativen und quantitativen Merkmalen der technisch-taktischen Anwendung des Aufschlags*

Ein zwei-Satz-Match dauert im Mittel  $83,1 \pm 27,0$  Minuten und besteht aus durchschnittlich  $132,9 \pm 42,5$  Ballwechseln. Über die Hälfte der gesamten Ballwechsel, knapp 60 %, sind nach 1 bis 4 Schlägen beendet. Nahezu die Hälfte (48,7 %) der Schläge machen Aufschlag, Return und die erweiterte Spieleröffnung aus. Hinsichtlich des Aufschlags beträgt die durchschnittli-

che Aufschlaggeschwindigkeit des 1. Aufschlags  $162,9$  km/h. Pro Match werden 4,1 Asse erzielt und die Gültigkeit des 1. Aufschlags liegt bei 58,8 %. Eine detaillierte Zusammenfassung aller erhobener Parameter können dem Abschlussbericht entnommen werden.

## **3.3 Abschnitt 3 – 3D-Bewegungsanalyse**

### *Identifikation leistungslimitierender kinematischer Charakteristika im Nachwuchsleistungstennis*

Hinsichtlich des Bewegungsumfangs zeigen die schnellen Aufschläger eine größere Lateralflexion während der Vorbereitungsphase ( $16,9^\circ \pm 2,5^\circ$  vs.  $10,5^\circ \pm 5,4^\circ$ ;  $p < 0,05$ ; ES 1,70) und beim Balltreffpunkt. Bei deskriptiver Betrachtung lassen sich darüber hinaus Tendenzen erkennen, dass vor allem die Bewegungsparameter in der Beschleunigungsphase (Knieextension des hinteren Beins, Ellenbogenextension, Schulterinnenrotation, Handgelenksflexion; ES 0,50 - 1,28) höhere Winkelgeschwindigkeiten in der schnellen Aufschlaggruppe aufweisen. Darüber hinaus treten in der zeitlichen Differenz der maximalen Winkelgeschwindigkeiten zum Treffpunkt Divergenzen zwischen den Gruppen auf. Die maximale Ellenbogenextensionsgeschwindigkeit liegt bei der schnellen im Vergleich zu der langsamen Aufschlaggruppe zeitlich gesehen näher am Balltreffpunkt (ES 1,12). In Kombination mit einem nahezu zeitgleichen Erreichen der maximalen Rumpfflexionsgeschwindigkeit führt dies zu einer unterschiedlichen Reihenfolge der maximalen Segmentgeschwindigkeiten, sodass die kinematische Kette der Aufschlagbewegung zwischen den beiden Gruppen differiert (schnell: Knie, Rumpf, Ellenbogen, Handgelenk, Schulterinnenrotation; langsam: Knie, Ellenbogen, Rumpf, Handgelenk, Schulterinnenrotation).

## 4 Diskussion

### 4.1 Qualitative und quantitative Technikgrobanalyse

Im Hinblick auf die wachsende Bedeutung des Aufschlags im modernen Tennis ist es wichtig, Prädiktoren der Aufschlagleistung zu identifizieren, um effektive Trainingsstrategien zur Verbesserung der Aufschlagleistung zu entwickeln. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen die Bedeutung ausgewählter anthropometrischer und athletischer Einflussgrößen auf die Aufschlaggeschwindigkeit auf, unterstreichen aber auch, dass es sich um eine komplexe (neuromuskuläre) Bewegung handelt, die zudem stark von technischen Faktoren beeinflusst wird und in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht differiert.

Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutsamkeit der Schnellkraft und Kraft der oberen Extremität für die Realisierung hoher Aufschlaggeschwindigkeiten vor allem im pubertären Alter (Fett et al., 2018). In einer differenzierteren Betrachtung zeigt sich zudem, dass die Kraft der Innenrotatoren im Schultergelenk die Aufschlagleistung beeinflusst. Hinsichtlich anthropometrischer Faktoren führt eine größere Spannweite bzw. Körpergröße als auch das Körpergewicht (vor allem bei den Mädchen) zu biomechanischen Vorteilen bei der Ausführung des Aufschlags. Schlussfolgernd untermauern die Ergebnisse die Implementierung eines den Anforderungen des Aufschlags angepassten Athletiktrainings (Kraft und Power obere Extremität, Lastüberwindung bei hohen Geschwindigkeiten). In Bezug auf die Talentidentifikation sollte zudem die Größe als auch die Spannweite, aufgrund ihrer resultierenden biomechanischen Vorteile während der Aufschlagbewegung, Berücksichtigung finden und ggf. zu einer Verlagerung von Trainingsinhalten und -volumen führen. Ferner muss speziell für weibliche Tennisspieler festgehalten werden, dass eine ausreichend hohe aktive Körpermasse erzeugt werden muss, um wettbewerbsfähig zu sein.

Andererseits untermauern die Ergebnisse der Regressionsanalysen als auch die der Technikgrobanalyse, dass der Tennisaufschlag neben den athletischen und anthropometrischen

Faktoren auch stark von technischen Faktoren abhängig ist. Die Ergebnisse der bislang erfolgten Technikgrobanalyse machen deutlich, dass eine Differenzierung bewegungsanalytischer Merkmale sowie die Modellierung erfolgreicher und wenig erfolgreicher Aufschlagstechniken in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht im Nachwuchsleistungstennis notwendig ist.

### 4.2 Systematische Spielanalyse

Die Ergebnisse zeigen auf, dass das PlaySight-System mit Einschränkungen für die Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen geeignet ist. Nutzbar ist es für spielanalytische Parameter wie die Schlagzuordnung als auch die Identifikation der Trefferzone. Hinsichtlich der Aufschlaggeschwindigkeit kann es zwischen langsamen, mittleren und schnellen Aufschlägen gut diskriminieren, jedoch ist es aufgrund einer mittleren Abweichung von 5 % gerade für individuelle Längsschnittuntersuchungen nicht geeignet, da mögliche Adaptationseffekte innerhalb des Messfehlers liegen werden. Kaum geeignet ist das angewandte System für die Erfassung von Laufdistanzen wie auch die des Energieumsatzes. Trotz der beschriebenen Ungenauigkeiten bietet der PlaySight SmartCourt ambitionierten Tennisspielern und Trainern einen gewinnbringenden Zugang für die technisch-taktische Spielanalyse. Während bei Betrachtung der statistischen Werte die erhobenen Fehler einkalkuliert werden sollten, können allein über die Videoanalyse unmittelbar nach einem Spiel oder einer Trainingsübung wertvolle Informationen über das Spielerverhalten abgerufen werden (Groppe et al., 1989).

Die spielanalytischen Ergebnisse der Matches der U18 Spieler untermauern die stetig steigende Bedeutung des Aufschlags auch im Nachwuchsleistungstennis. Über die Hälfte der gesamten Ballwechsel, knapp 60 %, wurden nach 1 bis 4 Schlägen beendet. Nahezu die Hälfte (48,7 %) der Schläge machen Aufschlag, Return und die erweiterte Spieleröffnung aus. Es wird ersichtlich, dass somit der Aufschlag auch quantitativ an Bedeutung gewinnt. Vergleicht man diese Daten mit denen aus dem Profibereich, stellt man fest, dass bereits 70 % aller Ballwechsel nach den ersten vier Schlägen beendet sind (O'Shannessy 2016). Betrachtet man die

allgemeinen Qualitätsmerkmale des Aufschlags der U18 Spieler, fällt auf, dass diese unter den von Weber und Kollegen (2012) für jugendliche Nachwuchsspieler empfohlenen Zielgrößen liegen. Besonders auffallend ist dabei die Aufschlaggeschwindigkeit. Mit 163 km/h liegen sie ca. 30 km/h unter den erzielten Aufschlaggeschwindigkeiten der French Open 2009. Gerade beim Übergang von der U18 in den Profibereich zur Weltspitze können diese Defizite von großer Bedeutung sein und müssen in der langfristigen Trainingsplanung der Nachwuchsspieler Berücksichtigung finden.

### 4.3 3D-Bewegungsanalyse (Motion Capturing)

Die Ergebnisse der Bewegungsanalyse zeigen, dass sich die Gruppen nur hinsichtlich der Bewegungsumfänge in der Lateralflexion in der Vorbereitungsphase unterscheiden, während hinsichtlich der Beschleunigungsparameter diese Tendenz bei mehreren Faktoren zu beobachten ist. Die Lateralflexion in der Ausholbewegung gilt als eine Voraussetzung für die kontralaterale Rumpfflexion beim Balltreffpunkt, die in der Literatur häufig auch als „Schulter über Schulter Rotation“ bezeichnet wird. Die ipsilaterale Flexion des Rumpfes führt zu einer Vordehnung der rumpfflektierenden Muskulatur auf der kontralateralen Seite und ermöglicht so eine reaktivkräftige Rumpffrotation nach anterioposterior. Aufgrund der Bedeutsamkeit der Lateralflexion sollte im Krafttraining die häufig zur Anwendung kommenden Rumpfkraftübungen, durch die explosive Rotationsbewegungen in Sagital- und Transversalebene trainiert werden, um Übungen ergänzt werden, die zusätzlich die koronale Bewegungsebene einbeziehen.

Die vergleichsweise höheren Rotationsgeschwindigkeiten im Schlagarm der schnellen Aufschlaggruppe verdeutlichen die Relevanz der segmentalen Beschleunigungen des Schlagarms für die Generierung der Aufschlaggeschwindigkeit. Um möglichst hohe segmentale Geschwindigkeiten im Schlagarm realisieren zu können, sollte die Fähigkeit des neuromuskulären Systems exzentrische Vordehnungen optimal für eine explosive konzentrische Kraftentfaltung zu nutzen, verbessert werden. Angesichts dieser Zielstellung ist der Einsatz von plyometrischen

Wurf- und Schlagbewegungen zu empfehlen, da so eine Effizienzsteigerung in der neurophysiologisch-biomechanischen Antwort auf schnelle Vordehnungen der Muskulatur erzielt werden kann.

## 5 Literatur

- Behringer, M., Neuerburg, S., Matthews, M. & Mester, J. (2013). Effects of two different resistance- training programs on mean tennis-serve velocity in adolescents. *Pediatric exercise science*, 25, 370-384.
- Elliot, B. (1988). Biomechanics of the serve in tennis: A biomedical perspective. *Sports medicine*, 6, 285-294.
- Elliot, B., Marshall, R. N. & Nofall, G. (1995). Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *Journal of applied biomechanics*, 11, 433-442.
- Girard, O., Micallef, J. & Millet, G. P. (2005). Lower-limb activity during the power serve in tennis: effects of performance level. *Medicine and science in sports & exercise*, 37, 1021-1029.
- Gropper, J. L., Loehr, J. E., Melville, D. S. & Quinn, A. M. (1989). *Science of Coaching Tennis*. Champaign: Leisure Press.
- Martin, C., Kulpa, R., Delamarche, P. & Bideau, B. (2013). Professional tennis players' serve: Correlation between segmental angular momentums and ball velocity. *Sport biomechanics*, 12, 2-14.
- O'Shannessy, C. (2016, 10. November). *The first 4 shots*. Vortrag auf einem Tennis-Symposium an der Deutschen Sporthochschule Köln.
- Reid, M., Elliot, B. & Alderson, J. (2008). Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. *Medicine and science in sports and exercise*, 40 (2), 308-315.
- Vaverka, F. & Cernosek, M. (2013). Association between body height and serve speed in elite tennis players. *Sports biomechanics*, 12, 30-37.

- Weber, K., Exler, T., Marx, A., Pley, C., Röbbel, S. & Schäffkes, C. (2010). Schnellere Aufschläge, kürzere Ballwechsel und höherer Zeitdruck für Grundschnitte in der Tennis-Weltspitze. *Leistungssport*, 40 (5), 36-42.
- Weber, K. & Born, P. (2012). Die besondere Bedeutung der erweiterten Spieleröffnung im Leistungstennis. Begründung, Leitlinien und Umsetzung in die Trainingspraxis. *Leistungssport*, 42 (6), 26-32.

## 5.1 projektbezogene Veröffentlichungen

- Ferrauti, A., Fett, J., Vuong, J. & Oberschelp, N. (2018). *The misconception of learning the tennis serve: the ad versus the deuce court error*. Book of Abstracts of the 23rd Annual Congress of the European College of Sports Science, 4th-7th July 2018, Dublin, Ireland.
- Fett, J., Ulbricht, A & Ferrauti, A. (2018). Impact of physical performance and anthropometric characteristics on serve velocity in elite junior tennis players. *Journal of strength and conditioning research* (accepted).
- Fett, J., Vuong, J., Oberschelp, N. & Ferrauti, A. (2018). A kinematic analysis of the tennis serve: Influence of serve velocity. *Book of Abstracts of the 23rd Annual Congress of the European College of Sports Science*, 4th-7th July 2018, Dublin, Ireland.
- Gatzke, D., Fett, J., Ulbricht, A., Vuong, J., Oberschelp, N. & Ferrauti, A. (2017). Service characteristics in elite junior tennis players of different sex and age groups. In A. Ferrauti, P. Platen, E. Grimminger-Seidensticker, T. Jaitner, U. Bartmus, L. Becher, M. De Marees, T. Mühlbauer, A. Schauerte, T. Wiewelhove & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 22nd annual congress of the European College of Sports Science*, 5th-8th July 2017, Metropolis Ruhr, Germany (pp. 239-240). Metropolis Ruhr (Germany): ECSS.
- Oberschelp, N., Fett, J., Wiewelhove, T. & Ferrauti, A. (2017). Validation of the play-sight smartcourt's tennis serve speed measurement. In A. Ferrauti, P. Platen, E. Grimminger-Seidensticker, T. Jaitner, U. Bartmus, L. Becher, M. De Marees, T. Mühlbauer, A. Schauerte, T. Wiewelhove & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 22th annual congress of the European College of Sports Science: 5th-8th July 2017*, Metropolis Ruhr, Germany (pp. 653). Metropolis Ruhr (Germany): ECSS.
- Vuong, J., Fett, J. & Ferrauti, A. (2017). Development and evaluation of a marker model for kinematic comparison of the tennis serve velocity – a case study. In A. Ferrauti, P. Platen, E. Grimminger-Seidensticker, T. Jaitner, U. Bartmus, L. Becher, M. De Marees, T. Mühlbauer, A. Schauerte, T. Wiewelhove & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 22nd Annual Congress of the European College of Sports Science*, 5th-8th July 2017, Metropolis Ruhr, Germany (p. 535). Metropolis Ruhr (Germany): ECSS.