

# **Evaluation eines sechswöchigen Aufschlagstrainings mit und ohne verstärkendes Feedback auf die Aufschlagsgeschwindigkeit von Elite-Tennisspielern**

Abschlussarbeit zur Erlangung des  
Master of Science in Sportwissenschaften  
Option Unterricht

eingereicht von

**Dominic Kölbener**

an der  
Universität Freiburg, Schweiz  
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät  
Departement für Medizin

in Zusammenarbeit mit der  
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent  
Prof. Wolfgang Taube

Fribourg, Mai 2019

## **Inhaltsverzeichnis**

Zusammenfassung .....	3
1 Einleitung.....	4
1.1 Big Data.....	4
1.2 Feedbacktheorie.....	6
1.3 Ziel und konkrete Fragestellung.....	19
2 Methode.....	21
2.1 Stichprobe.....	21
2.2 Studiendesign.....	22
2.3 Messmethoden.....	24
2.4 Auswertung und statistische Analyse der Daten.....	25
3 Resultate.....	26
3.1 Abbildungen Interventionsgruppe.....	29
3.2 Abbildungen Kontrollgruppe.....	30
4 Diskussion.....	31
5 Schlussfolgerung.....	37
Literaturverzeichnis.....	38
Dank.....	44

## **Zusammenfassung**

Feedback nimmt eine zentrale Rolle im Prozess des motorischen Lernens ein. In der Forschung konnte gezeigt werden, dass Feedback nicht nur im Bereich des Neulernens einer Bewegung, sondern auch im Verfeinern einer solchen einen positiven Effekt zeigt. Jüngst konnte festgestellt werden, dass durch das Implementieren von Knowledge of Result (KR) augmented Feedback (aF) im Training der Aufschlagsgeschwindigkeit von Elite-Tennisathleten, diese kurz- und längerfristig erhöht werden konnte. Ziel dieser Masterarbeit war es, den temporalen Effekt von KR aF auf die Aufschlagsgeschwindigkeit von Junioren Elite-Tennisathleten zu untersuchen. Dafür wurden Nachwuchskader-Spieler in zwei Gruppen eingeteilt, eine Interventionsgruppe (n = 11), welche über einen Zeitraum von sechs Wochen mithilfe von KR aF den Aufschlag trainierte, und einer Kontrollgruppe (n = 9), welche den Aufschlag im gleichen Zeitraum konventionell trainierte. Es wurden drei Messzeitpunkte festgelegt: Eine Eingangsmessung (Pre-Messung), um eine Standortbestimmung der Aufschlagsgeschwindigkeit der einzelnen Athleten durchzuführen; eine Ausgangsmessung (Post-Messung), um langfristige Effekte von aF auf die Aufschlagsgeschwindigkeit zu untersuchen, und eine Retentionsmessung, um zu ermitteln, ob ein potentieller Leistungsanstieg der Aufschlagsgeschwindigkeit bei Abwesenheit von KR aF bestehen bleibt. Für die Messungen bestand die Aufgabe der Athleten darin, 20 gültige Aufschläge so schnell wie möglich ins gegnerische Feld zu servieren, wobei die Quote der gültigen Aufschläge nicht unter 50 % sinken sollte. In den Trainingseinheiten bis zur Post-Messung servierte die Athleten der Interventionsgruppe jeweils 60 Minuten mithilfe von unterstützendem KR aF, welches mittels einer Radarkamera zur Verfügung gestellt wurde. Die Kontrollgruppe absolvierte genau gleich viele Trainingseinheiten wie die Interventionsgruppe, jedoch ohne KR aF. Beide Gruppen trainierten im Anschluss sechs weitere Wochen ohne KR aF weiter. Die Resultate der Postmessung konnten keine signifikanten Veränderungen der Aufschlagsgeschwindigkeiten vorweisen, weder in der Interventions-, noch in der Kontrollgruppe. Ausserdem konnten wir auch nach der Retentionsphase keine Leistungsverbesserung der Aufschlagsgeschwindigkeit finden. Wir gehen davon aus, dass die Trainingsquantität einerseits zu hoch, andererseits zu tief angesetzt wurde. Eine weitere Möglichkeit für das Fehlen einer Leistungssteigerung sehen wir in einer fehlenden Motivation der Athleten, beruhend auf der Annahme, dass KR aF die intrinsische Motivation erhöht, und somit die Trainingsintensität steigert. Des Weiteren könnte die noch sehr hohe Variabilität der Aufschlagsgeschwindigkeit bei den Nachwuchsspielern dazu geführt haben, dass potentielle positive Trainingseffekte nicht detektiert werden konnten.

# 1 Einleitung

Der Tennissport hat sich von einem stark technisch basierten Sport zu einem zunehmend dynamisch schnelleren Sport entwickelt. Mit diesem Wandel veränderten sich auch die Anforderungen an die Tennisspieler. So sind heute besser trainierte, konditionelle Fähigkeiten sowie verbesserte sportspezifische Fertigkeiten wie zum Beispiel höhere Schlag- und Aufschlagsgeschwindigkeiten relevant (Gillet, Leroy, Thouwarecq & Stein, 2009). Man ist sich weitgehend einig, dass der Aufschlag der wichtigste Schlag im modernen Tennis darstellt (Johnson, McHugh, Wood & Kibler, 2006; Kovacs, 2007; Kovacs & Ellenbecker, 2011; Reid, Whiteside & Elliott, 2011). Reid, McMurtrie und Crespo (2010) konnten diesbezüglich einen starken Zusammenhang zwischen einem hohen Ranking und einem guten schnellen Aufschlag feststellen. Ein weiteres Argument von Reid et al. (2011) ist, dass der Gegenspieler durch eine hohe Aufschlagsgeschwindigkeit in seiner Entscheidungs- und Handlungszeit beim Return limitiert wird, was sich wiederum negativ auf dessen Return-Leistung auswirken sollte. Im professionellen Tennissport ist es üblich, dass Aufschlagsgeschwindigkeiten von über  $200 \text{ kmh}^{-1}$  gemessen werden. Der schnellste gemessene Aufschlag in einem offiziellen Spiel stammt von Samuel Groth im Jahre 2012 mit einer Geschwindigkeit von  $263 \text{ kmh}^{-1}$ . Bei den Frauen war es ein Aufschlag von Sabine Lisicki (2014) mit einer Aufschlagsgeschwindigkeit von  $210 \text{ kmh}^{-1}$  (Girard, Micallef & Millet, 2005; Ulbricht, Fernandez-Fernandez, Mendez-Villanueva & Ferrauti, 2016).

Mit diesen Erklärungen kann die zentrale Rolle des Aufschlags im Tennis verdeutlicht werden. Aber: Wie kann ein Athlet seine Aufschlagsgeschwindigkeit optimal verbessern? Zur Beantwortung dieser Frage sollten Erkenntnisse des motorischen Lernens in den Spitzensport transferiert werden, um langfristig zu einem optimalen Training der Athleten zu kommen. Wie weit sich die Forschung bereits mit dem Training des Aufschlags und dessen Bedeutsamkeit im Tennis beschäftigt hat, wird in den nachfolgenden Kapiteln gezeigt. Anschliessend wird die Feedbacktheorie und deren Bedeutung thematisiert, und eine Verbindung anhand der Feedbacktheorie zwischen Leistungssport und motorischem Lernen geschaffen.

## 1.1 Big Data

Kovalchik und Reid (2017) zeigten mit ihrer Studie den Unterschied der physischen Anforderungen zwischen Junioren- und Erwachsenen-Tour auf. Erstens ist das Erreichen eines höheren Rankings mit mehr Turnierspielen verbunden. Dies bestätigt bereits die Feststellung, dass das professionelle Spiel an sich höhere physische Anforderungen an die jungen Athleten stellt

(Coaching tennis successfully, 2004). Zweitens konnten Kovalchick und Reid (2017) mit ihren Analysen aufzeigen, dass die Aufschlagsleistung beim Wechsel von der Juniorenliga in die Profiligas an Bedeutung gewinnt. Oftmals müssen junge Spieler feststellen, dass es in hohen Klassierungen deutlich schwieriger ist, dem Gegner ein Aufschlagsspiel abzunehmen, da die Aufschläge schneller und präziser sind als in tieferen Klassierungen. Diese Erkenntnis teilen Kovalchick und Reid (2017) mit der Querschnittsstudie von Hizan, Whipp und Reid (2011), welche festgestellt haben, dass bei den professionellen erwachsenen Männern, im direkten Vergleich zu den professionellen jugendlichen Spielern, die Aufschlagsgeschwindigkeit im Schnitt  $20 \text{ kmh}^{-1}$  schneller ist. Bei den professionellen erwachsenen Frauen wurde im Vergleich zu den professionellen jugendlichen Frauen im Schnitt  $10 \text{ kmh}^{-1}$  schneller aufgeschlagen. Die Relevanz des Aufschlages schlägt sich zusätzlich in der Menge an Aufschlägen pro Spiel nieder. Professionelle männliche Jugendliche Athleten müssen im Schnitt pro Spiel 72-mal aufschlagen, was 21.8 % aller geschlagenen Bälle während einem kompletten Match ausmachen. Bei den professionellen männlichen Erwachsenen steigt der prozentuale Anteil der servierten Bälle, bezogen auf die gesamte Anzahl an gespielten Bällen, auf 22.7 % nicht stark an. Jedoch serviert ein professioneller Erwachsener im Schnitt 134-mal pro Spiel. Bei den professionellen Frauen wurde auch eine Steigerung bezüglich der Aufschlagsquantität und Aufschlagsgeschwindigkeit festgestellt (siehe Tabelle 1). Zusätzlich steigert sich die Präzision der servierten Bälle von den professionellen Junioren zu den diesbezüglichen Erwachsenen. Professionelle Erwachsene Spieler servieren prozentual genauer an die Seitenlinien und seltener auf den Körper des Gegenspielers (erster Aufschlag professionelle Männer: 7.4 %; zweiter Aufschlag professionelle Männer: 31 %). Wobei bei den professionellen Junioren bereits beim ersten Aufschlag 19 % (männlich) respektive 27 % (weiblich) Aufschläge auf den Körper des Gegners serviert werden. Beim zweiten Aufschlag sind es bei den männlichen Junioren 47.5 %, respektive 57.3 % der Bälle bei den weiblichen Junioren, welche auf den Körper serviert wurden. In einer aktuelleren Studie versuchten Kovalchik und Reid (2018), ein Lexikon der unterschiedlichen Aufschläge zu erstellen. Dabei stellten sie fest, dass mehr Arten von Aufschlägen existieren als traditionell bekannt. Die meisten Trainer gebrauchen lediglich die neun bekannten Aufschlagarten (Ballspinn: *flat*, *slice*, *kick*; Richtung: aussen, Körper, T-Linie; Crespo & Miley, 1998). Kovalchik und Reid (2018) haben durch das Bestimmen von Richtung, Art und Schnelligkeit mehr als neun Aufschlagsarten gefunden. Dabei stellten sie fest, dass die üblichen Arten zu servieren, nicht unbedingt die Effektivsten waren. Im Gegenteil, die höchsten Gewinnchancen wurden unter den seltener verwendeten Aufschlagstechniken gefunden. Beispiele bei den Männern wären der schnelle Aufschlag durch die Mitte, mit durchschnittlichem *kick* weg vom Gegenspieler,

oder der schnelle Aufschlag nach aussen, mit minimalem *kick*. Diese beiden Aufschlagsarten haben eine Gewinnchance von über 70 %. Die höchsten Gewinnchancen konnten mit der Aufschlagsgeschwindigkeit in Zusammenhang gebracht werden. Schnelle Aufschläge haben bei den Männern wie auch bei den Frauen, unabhängig von wo aus serviert, immer über 50 % Gewinnchance.

Diese Erkenntnisse führen zur Annahme, dass das Ziel der Athleten nicht nur die Genauigkeit der servierten Bälle sein sollte, sondern auch darin, die Aufschlagsgeschwindigkeit zu steigern. Ein mögliches Hilfsmittel für Athlet und Trainer könnte dabei das aF darstellen. Dazu werden wir in den folgenden Abschnitten die wissenschaftliche Ausgangslage der Feedbacktheorie aufzeigen und mögliche Anwendungsarten im Leistungssport klären.

Tabelle 1

*Mittelwert der geschlagenen Bälle und der Geschwindigkeiten von Junioren und professionellen Tennisspielern generiert aus den Daten der Australian Open (2012-2017)*

	Junioren (m)	Professionals (m)	Junioren (w)	Professionals (w)
<b>Anzahl geschlagene Bälle</b>				
Aufschlag	72	134	64	75
Vorhand	140	237	118	120
Rückhand	119	219	89	110
<b>total</b>	<b>331</b>	<b>590</b>	<b>271</b>	<b>305</b>
<b>Schlaggeschwindigkeit (kmh<sup>-1</sup>)</b>				
Aufschlag	158	179	146	153
Vorhand	113	119	110	111
Rückhand	105	108	103	106

*Anmerkung.* Daten sind aus der Studie von Kovalchik & Reid (2017, S. 494). Daten stehen für einen gemittelten Wert pro Spiel gespielte Bälle. m = männlich. w = weiblich.

## 1.2 Feedbacktheorie

In der Einleitung wurde die Frage gestellt, wie ein Athlet seine Aufschlagsgeschwindigkeit optimal verbessern kann. Um diese Frage zu beantworten, wird in diesem Abschnitt das

motorische Lernen thematisiert. Oft beschreibt das motorische Lernen das Aneignen einer neuen Bewegung, auch *skill learning* genannt. Im Falle dieser Arbeit würde man eher von motorischer Anpassung oder *motor adaptation* sprechen. Darunter versteht man das Verfeinern einer bereits erlernten Bewegung (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). In dieser Arbeit verwenden wir das motorische Lernen für beide Lernprozesse, und wir werden nur im Spezifischen differenzieren.

Motorisches Lernen besteht in der Bildung motorischer Kontrollprozesse durch Wiederholung einer motorischen Aufgabe. Das Ziel der Wiederholung der motorischen Aufgabe ist, in einem ersten Schritt eine qualitative Bewegungsverbesserung zu identifizieren und diese permanent zu festigen (Schmidt & Lee, 2005). Der Tennisaufschlag ist eine höchst komplexe Bewegung aufgrund des Timings und der diesbezüglichen Körperkoordination. Diese muss darauf abgestimmt werden, eine höchstmögliche Kraftübertragung von den unteren Extremitäten bis in den Schlägerkopf zu transferieren. In der Literatur spricht man dabei von der *kinetic chain* (Kibler, 2014; Kovacs & Ellenbecker, 2011). Aus diesem Grund müssen Tennisspieler zahlreiche Aufschlagstrainings absolvieren, um einen stabilen und dennoch druckvollen Aufschlag in allen Spielsituationen abrufen zu können. Bei einem Spitzenathleten, welcher bereits einen soliden Aufschlag beherrscht, liegt das Interesse von Trainern und Athleten meistens darin, die Aufschlagsgeschwindigkeit, Aufschlagspräzision und Aufschlagsvariabilität auszubauen. Moran, Murphy und Marshall (2012) konnten in ihrer Studie zeigen, dass ein professioneller Tennisspieler beim Servieren nicht einschätzen kann, ob sein Aufschlag schneller oder langsamer als der vorhergegangene war. Dies bedeutet, dass der Athlet, davon ausgehend, dass ein schneller Aufschlag wünschenswert ist, nicht von sich aus einschätzen kann, ob eine Bewegung optimiert wurde oder nicht. Welche Möglichkeiten und Hilfsmittel sind für Spieler und Trainer also vorhanden, um in einem ersten Schritt Bewegungsoptimierungen zu detektieren und in einem zweiten Schritt eine erzielte Leistungssteigerung zu festigen?

Hauptmerkmal der folgenden Themen besteht in der Klärung der Frage, inwiefern Feedback uns im motorischen Lernprozess nützlich sein kann. Um diese Frage zu beantworten, werden wir uns mit der Feedbacktheorie auseinandersetzen, da grundsätzlich anerkannt ist, dass Feedback für den motorischen Lernprozess eine zentrale Rolle spielt (Schmidt & Lee, 2005). In den folgenden Abschnitten wird dargelegt, wie ein Individuum Feedback aufnimmt, welche Kanäle dabei verwendet werden und inwiefern Feedback kategorisiert werden kann.

**1.2.1 Sensorisches Feedback.** Sensorisches Feedback entsteht über unterschiedliche Kanäle in unserem Körper. Auditive Informationen werden über das Gehörorgan, taktile

Wahrnehmungen über die Haut, visuelle Informationen über die Augen und die Lage unseres Körpers und dessen Extremitäten im Raum über die Propriozeption generiert. Dabei wird zwischen Informationen über das Individuum selbst und dessen Umwelt differenziert (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). In der Forschung existieren drei Unterkategorien. Diese sind das *interne intrinsische*, *interne extrinsische* und das *externe* auch *aF* genannt.

***Intern intrinsisches Feedback.*** Das interne intrinsische Feedback liefert dem Individuum Informationen über die Lage des eigenen Körpers (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). Für einen Tennisspieler wäre dies beispielsweise seine Körperhaltung. Diese Einschätzung kann auch über mehrere Kanäle (wie oben beschrieben) entstehen. Durch Kombination von unterschiedlichen Quellen kann diese Einschätzung verbessert werden.

***Intern extrinsisches Feedback.*** Die zweite Art von sensorischem Feedback ist das interne extrinsische Feedback, welches das Individuum über dessen Umwelt informiert. Hauptquelle dieses Feedbacks stellt in erster Linie das visuelle System dar, kann jedoch wie auch das interne intrinsische Feedback aus mehreren Quellen generiert werden (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). Beispiel aus dem Tennis hierfür wäre ein Angriffsball des Gegenspielers. Einerseits liefert uns das visuelle System Informationen über die Position des Gegners und Schlagart des Angriffsballes. Diese Informationen können durch akustische Informationen ergänzt werden. Auch taktil generierte Informationen können für intern extrinsische Feedbackinformationen als Quelle dienen. Nehmen wir das Beispiel einer blinden Person, welche ihre Umwelt unter anderem über ihren Blindenstock wahrnimmt.

***Augmented Feedback.*** Zusätzlich zu den zwei Arten von Feedback, mit welchen wir fortlaufend uns und unsere Umwelt wahrnehmen, existiert noch eine dritte Art von Feedback. Das extrinsische, externe oder auch *aF* genannt. In dieser Arbeit wird dafür ausschliesslich der Term *aF* verwendet. Hierbei handelt es sich um Informationen, welche dem Individuum Rückmeldungen über dessen Interaktion mit der externen Welt wiedergibt (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). Anders formuliert informiert das *aF* das Individuum darüber, wie gut eine Bewegung oder Aufgabe ausgeführt wurde (Winstein, 1991). Eine triviale Form von *aF* im Tennis wäre zum Beispiel, ob der Ball beim Aufschlag im gegnerischen Aufschlagfeld platziert wurde oder nicht. Es kann sich jedoch auch um ein präziseres Feedback handeln, indem der Aufschläger eine exakte Information mittels Hawk-Eyes über die Platzierung des Aufschlages erhält.

**1.2.2 Augmented Feedback.** AF wird in erster Linie in zwei unterschiedliche Kanäle gegliedert, welche im folgenden Abschnitt thematisiert werden.

***Knowledge of performance (KP).*** Der Begriff *knowledge of performance* bezieht sich auf die Ausführung der Bewegung und wird deshalb auch als kinematisches Feedback bezeichnet (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). KP beschreibt die Bewegung mithilfe von physikalischen Größen wie Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Eine Problematik des kinematischen Feedbacks stellt hierbei die Wahl der Information oder der Parameter dar. Nehmen wir als Veranschaulichung wiederum den Aufschlag im Tennis. Kovacs und Ellenbecker (2011) haben den Tennisaufschlag in acht Teilstufen (1. Start, 2. Release, 3. Loading, 4. Cocking, 5. Acceleration, 6. Contact, 7. Deceleration, 8. Finish) gegliedert. Dabei haben sie Parallelen zwischen unterschiedlichen Leistungssportlern und deren persönlichen Technik aufgezeigt. Im Spitzensport ist es schwierig, eine perfekte Technik zu beschreiben. Jeder Athlet personalisiert seine Bewegungen. Trainer und Sportler müssen sich fragen, worauf sich ein trainierender Athlet konzentrieren soll. Auf die Geschwindigkeit oder Bewegungsbahn des Ellenbogens und Unterarmes zum Kontaktpunkt, oder auf andere Parameter. Anders formuliert: Bei einer Bewegung wie dem Tennisaufschlag, wo die Bewegungsbahn der Hand von Spieler zu Spieler unterschiedlich ausfallen kann, das Resultat (Ballgeschwindigkeit, Spin oder Ort wo der Tennisball auftrifft) hingegen dasselbe sein kann, ist es keine triviale Aufgabe, die passenden Parameter zu definieren.

***Knowledge of result (KR).*** Bei einem *knowledge of result* basierendem aF ist das Bestimmen von einem Parameter klarer. KR liefert explizite Informationen über das Resultat einer Bewegung (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). Wenn wir auf das bereits oben formulierte Beispiel des Tennisaufschlags zurückkommen, ist eine simple Anwendung von KR, ob der Aufschlag im gegnerischen Aufschlagfeld gelandet ist oder nicht. Wobei das Wort *explizit* hervorgehoben werden muss, da der Spieler auch selbst über das visuelle System feststellen kann, ob der Aufschlag gültig war oder nicht. In diesem Fall würden wir von einem intrinsisch internen Feedback sprechen. Eine explizite Informationsquelle könnte der Trainer darstellen, der dem Spieler sagt, ob der Aufschlag gültig war oder nicht. Zusätzlich kann die Informationsqualität bei KR variieren. Der Trainer kann dem Spieler sagen, wo genau der Ball im Feld gelandet ist. Hierbei geht es um den Inhalt eines aF, worauf wir im nächsten Abschnitt kommen werden. Schmidt und Lee (2005) definieren als Synonym für KR auch „Informationsfeedback“ oder „Verstärkung“. AF kann durchaus als Verstärkung verstanden werden, da aF ein zukünftiges Verhalten wie die Reduktion von Fehlern verstärken soll.

Tabelle 2

Mittlere Wurfdistanz in Metern vor (Pre) und nach (Post) vier Wöchigen Wurfraining unterstützt durch KR oder KP aF

	Pre Test	Post Test	
	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung		Verbesserung
Gruppe 1 (KR)	10.76 $\pm$ 2.81	17.82 $\pm$ 2.90	7.06*
Gruppe 2 (KP)	10.90 $\pm$ 2.62	19.73 $\pm$ 2.89	8.82*
<b>Differenz der Verbesserung (KR vs. KP)</b>			<b>1.76*</b>

*Anmerkung.* Daten sind aus der Studie von Sharma et al. (2016, S. 1484). Es handelt sich um die gemittelten Werte der Wurfdistanzen  $\pm$  Standardabweichung (Meter) zu den zwei Zeitpunkten Pre und Post. Die Verbesserung der Wurfdistanz (Meter) ist die Differenz zwischen Pre- und Postmessung.

\* $p < 0.05$ .

Sharma, Chevidikunnan, Khan und Gaowgzeh (2016) haben in ihrer Trainingsstudie die Effektivität von aF in Form von KR und KP auf eine Wurfbewegung des nicht dominanten Armes untersucht. Die Wurfdistanz in Metern stellte die abhängige Variable dar. Für die unabhängige Variable haben Sharma et al. (2016) zwei Gruppen gebildet. Eine der beiden Gruppen erhielt während der Trainingsphase aF in Form von KR, während die andere Gruppe mithilfe von aF in Form von KP trainierte. Beide Gruppen führten nach einer Eingangsmessung (Pre-Test) insgesamt 24 Trainingseinheiten im Zeitraum von vier Wochen durch. Dies entsprach sechs Trainings pro Woche. Im Anschluss der vier-Wöchigen Trainingsintervention absolvierten die Probanden eine Ausgangsmessung (Post-Test). Die Resultate der Trainingsstudie zeigten, dass sich beide Gruppen von Pre- zu Post-Test signifikant verbesserten (Tabelle 2). Es ist interessant zu sehen, dass die Bedingung KP, im direkten Vergleich zu KR, zu einer höheren Leistungssteigerung geführt hat. Sharma et al. (2016) argumentieren diese Differenz der Verbesserung mit der Annahme, dass KP beim Lernen einer sich periodisch wiederholenden Bewegung zu einem besseren Endresultat der Bewegung führt (Sharma et al., 2016). In dieser Studie handelt es sich jedoch um eine Wurfbewegung des nicht dominanten Armes (*motor learning*). Meines Erachtens existiert noch keine Studie welche, im Unterschied zur Studie von Sharma et al. (2016), den direkten Vergleich von KP und KR im Verfeinern (*motor adapting*) einer komplexen

Bewegung untersucht hat. Es wäre durchaus im Interesse der Forschung zu sehen, ob es in diesem Fall umgekehrt wäre. Denn wie wir im nächsten Abschnitt sehen werden, weist ein quantitatives aF, welches hauptsächlich im Bereich KR fungiert, im Prozess des Perfektionierens einer Bewegung eine wichtigere Rolle auf (Magill & Anderson, 2014).

**1.2.3 Dimensionen von augmented Feedback.** Bei der Anwendung von aF im Umgang mit einer lernenden Person müssen mehrere Aspekte im Vermitteln von Informationen berücksichtigt werden. Einer dieser Aspekte stellt die oben behandelte Thematik dar. Es ist wichtig zu definieren, ob das aF auf der Charakteristik der Bewegungsausführung (KP) oder dem Bewegungsergebnis (KR) beruht. Leukel und Lundbye-Jensen (2015) haben drei Dimensionen definiert, in welche die unterschiedlichen Aspekte unterteilt werden können. Die erste Dimension definiert den Informationsinhalt. Die zweite Dimension bestimmt die Frequentierung und die dritte Dimension berücksichtigt das Timing oder den Zeitpunkt des Feedbacks.

**Informationsinhalt.** Der Informationsinhalt definiert das *was*, also in gewisser Weise das Extrakt, das man von der Bewegung dem Lernenden übermitteln will. Welche Charakteristik oder Aspekte der Bewegung oder des Bewegungsergebnisses werden kommuniziert? Aus diesem Grund gehört die Differenzierung von KP und KR in diese Dimension (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015).

**Informationsreichhaltigkeit – qualitativ vs. quantitativ.** Ein weiterer Punkt stellt die Informationsreichhaltigkeit dar. Diese definiert, wieviel ich dem Sportler preisgeben will. Soll der Tennisspieler lediglich die Information erhalten, ob sein Aufschlag im Feld war oder nicht? Oder sollte man ihm den genauen Auftreffpunkt im gegnerischen Feld aufzeigen? In der Literatur wird in Bezug auf die Informationsreichhaltigkeit von qualitativem oder quantitativem Feedback gesprochen (Schmidt & Lee, 2005). Quantitatives Feedback beinhaltet einen numerischen Leistungsmaßstab. Laut Magill und Anderson (2014) werden quantitative Informationen wichtiger, wenn es um eine Verfeinerung der Bewegung geht (*motor adaptation*). Also um die Optimierung der Effizienz und der Konstanz. Darauf zurückschließend gewinnt quantitatives, also ein numerisches Feedback, während dem Lernprozess des *motor adapting* an Bedeutung. Das qualitative Feedback hingegen stellt Informationen bezüglich der Leistungsqualität ohne einen numerischen Wert dar (Magill & Anderson, 2014). Mit einem quantitativ und qualitativ fehlerhaften Feedback, müssen Trainer vorsichtig sein. Die Gefahr besteht darin, dass kommunizierte Fehlinformationen oder nicht akkurate Informationen in Widerspruch mit dem intrinsischen Feedback des Athleten stehen, und dieses den Lernprozess negativ beeinflussen. Es ist

schwierig, intrinsisches Feedback bewusst zu beobachten, zu interpretieren und anzuwenden. Eine fehlerhafte Beurteilung kann die Leistung eines Athleten verschlechtern (Bueckers, Magill & Sneyers, 1994). Trainer sollten deshalb immer zuerst überlegen, welche Informationen sie vermitteln wollen und nicht einfach automatisch Feedback geben (Chu, 2017). Diesen Standpunkt vertreten auch Leukel und Lundbye-Jensen (2015). Sie nehmen an, dass unter Umständen aF dem intrinsischen Feedback übergeordnet werden kann. Dies würde zu einer Interferenz von selbst wahrgenommenen Informationen und gegebenen Informationen (aF) führen und die intrinsische Wahrnehmung demzufolge negativ beeinflussen.

*Positives und negatives Feedback.* Chu (2017) führt einen zusätzlichen Aspekt in diese Dimension ein. Den Aspekt ob ein aF positiv oder negativ formuliert wird. In der Forschung wurde festgestellt, dass positives Feedback nach gelungenen Versuchen die Motivation und die Leistung der motorischen Aufgabe verbessern, negatives Feedback hingegen nach schlechten Ausführungen die Motivation verschlechtern (Chiviacowsky & Wulf, 2007; Tzetzis, Votsis & Kourtessis, 2008). Positives Feedback kann zusätzlich die intrinsische Motivation und das Selbstvertrauen eines Athleten stärken, was wiederum seine Leistung, Aufmerksamkeit und Zielstrebigkeit optimiert (Lewthwaite & Wulf, 2010). Ungeachtet dessen hat die Forschung festgestellt, dass sich korrigierendes Feedback oder auch *error information in Feedback* effektiver auf den Lernprozess einer Bewegung auswirkt als nur positives Feedback (Wallace & Hagler, 1979). Dies bezieht sich auf die Beständigkeit und die Übertragungsfähigkeit erlernter Bewegungsoptimierungen (zum Beispiel im kompetitiven Aspekt). Tzetzis et al. (2008) haben in ihrer Studie mit intermediären Badmintonspielern festgestellt, dass nur eine Kombination aus fehlerhinweisenden und korrigierenden Hinweisen eine Steigerung im Selbstvertrauen zur Folge hatte. Im Lernprozess einer Bewegung (motor learning und/oder motor adaptation) ist es zentral, nicht nur zu kommunizieren was gut gemacht wurde. Fehler aufzuzeigen ist hinsichtlich des Lernprozesses sehr wichtig, um dem Athleten beizubringen, sich selbst korrigieren zu können (Magill & Anderson, 2014). Da Sportler mit gewissem Niveau bereits über ein starkes Selbstvertrauen verfügen, ist spezifisches negatives Feedback notwendig und hilfreich, um motorische Fertigkeiten zu verbessern. Chu (2017) sagt, wenn junge Athleten signifikante Fehler machten, ohne dies zu realisieren, sei ein Feedback unmittelbar notwendig. Das Feedback müsse dabei konstruktiv und *change-oriented* sein. *Change-oriented Feedback* (Carpentier & Mageau, 2013) ist empathisch, gefolgt von möglichen Lösungsansätzen um den Fehler zu korrigieren. Es sollte ausserdem auf klaren, erreichbaren Zielen und gepaart mit Ratschlägen formuliert werden.

*Angewandte Methode für die Analyse und Auswertung der Bewegung.* Ein letzter Aspekt des Informationsinhaltes stellt die angewandte Methode dar, wie die Bewegung analysiert wurde. Die Informationen können aus einer kinematischen als auch kinetischen Analyse entstehen. Ausserdem können physiologische Parameter zusätzliche Informationen bereitstellen. Beispiele sind Herzfrequenz, Blutdruck, Muskel oder Hirnaktivitäten gemessen mit Oberflächen Elektromyografie und Elektroenzephalografie. Diese physiologischen Parameter werden in der Literatur oftmals als *biofeedback* definiert (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015).

Leukel und Lundbye-Jensen (2015) integrieren die Übertragungsart, über welchen sensorischen Kanal die Informationen aufgenommen werden, des aF auch in die Dimension des Informationsinhaltes. Darüber lässt sich diskutieren: Wäre eine vierte Dimension, welche zwischen den Kanälen auditiv, visuell und taktil unterscheidet sinnvoller? Eine Beschreibung für eine solche Kategorie könnte die Informationsart darstellen.

***Frequentierung der Information.*** Mit der Frequentierung wird die Frage beantwortet, wie oft ein Athlet aF erhalten soll. Dies lässt sich beispielsweise in Prozentzahlen ausdrücken. Erhält ein Athlet 100 % aF, bekommt er dieses nach jeder Ausführung. 0 % heisst, der Athlet erhält kein aF erhält. Neben der Möglichkeit immer oder nur nach bestimmten Wiederholungen aF zur Verfügung zu stellen, existieren vier Frequentierungsmethoden in der Literatur (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). Diese sind die Zusammenfassende Methode (*summary technique*), die Durchschnittsmethode (*average technique*), die Bandbreitenmethode (*Bandwidth technique*) und die Selbstkontrollmethode (*self-selection technique*).

*Zusammenfassende Methode.* Bei dieser Methode erhält der Athlet nach einer definierten Anzahl Versuchen für jeden durchgeführten ein aF. Ein Tennisspieler erhält beispielsweise die Aufgabe, zehn Mal hintereinander zu servieren. Nach diesen zehn Aufschlägen erhält er für jeden Aufschlag die maximale Ballgeschwindigkeit. Diese Methode eignet sich sehr gut, wenn es um eine Serie von Bewegungen geht, die direkt hintereinander ausgeführt werden müssen.

*Durchschnittsmethode.* Die Durchschnittsmethode ist ähnlich wie die zusammenfassende Methode. Der Unterschied liegt darin, dass der Athlet nicht bei jedem einzelnen Versuch ein aF bekommt, sondern lediglich einen Durchschnittswert aller Versuche. Im gleichen Beispiel von oben hiesse das, dass der Athlet nicht für jeden Aufschlag die servierte Ballgeschwindigkeit erhält, sondern nur einen Durchschnittswert bekommt, also an Stelle von zehn Werten (Ballgeschwindigkeiten) nur einen gemittelten Wert.

*Bandbreitenmethode.* Die Bandbreitenmethode ist eine Feedbackstrategie, in welcher der Athlet nur aF erhält, wenn der Fehler grösser ist als ein zuvor definierter Wert. Sherwood (1988) hat diese Methode in einer Studie untersucht. Aufgabe war eine schnelle Ellenbogen-Flexion.

Für diese Studie hat Sherwood drei Gruppen gebildet. Die Gruppen bekamen nur KR aF wenn ihr Fehler grösser war als 0 %, 5 % respektive 10 %. Die Resultate haben gezeigt, dass die Gruppe welche erst bei einem Fehler von 10 % aF erhalten hat, im Endeffekt die kleinste Fehlerquote aufzeigte. Das interessante an der Studie war, dass die Gruppe, welche bei einem Fehler von 0 % aF erhalten hat, also immer, wenn ein Fehler vorhanden war, am Ende die grösste Fehlerquote aufwies. Es ist das gleiche Konzept wie die *fading technique* (Winstein & Schmidt, 1990) in welcher bei komplexen Bewegungsstrukturen systematisch die Frequentierung von KR aF reduziert wird. Diese Methode ist besonders wertvoll in Fällen, wo ein Trainer mit einer Gruppe von Athleten arbeitet. In solchen Situationen ist die individuelle Interaktion zwischen Trainer und Athlet limitiert. Wenn diese Methode angewandt wird, sollte der Trainer dem Athleten im Voraus mitteilen, dass kein KR aF zu erhalten im Grunde hiesse, dass die Bewegung oder das Bewegungsergebnis korrekt beziehungsweise gut ausgefallen ist. Dies soll dem Athleten helfen, auch ohne KR aF akkurate Einschätzungen treffen zu können. Schlussfolgernd kann man sagen, dass das Ziel für den Sportler sein sollte, seine Kompetenzen in der Anwendung unterschiedlicher Techniken bewusst zu verbessern (Butler, Reeve & Fischman, 1996).

*Selbstkontrollmethode.* Die letzte der hier vorgestellten Methoden ist die Selbstkontrollmethode, in welcher der Athlet selbst entscheidet, wann er aF erhalten will. Der Vorteil dieser Methode ist, dass der Athlet die Bewegung selbstreflektierender ausübt, um selbst beurteilen zu können, ob die Bewegung fehlerhaft war und deshalb aF notwendig ist.

Janelle, Barba, Frehlich, Tennant und Cauraugh (1997) haben in ihrer Studie das Konzept der Abhängigkeit von aF untersucht. Sie haben den Effekt der persönlichen Kontrolle über die Feedbackfrequentierung anhand einer nicht-dominanten Wurfbewegung untersucht. Die Gruppe, welche selbst entscheiden konnte wann sie aF erhalten will, hat im direkten Vergleich mit der Kontrollgruppe, welche eine gegebene Feedbackfrequentierung hatte, in Form und Genauigkeit der Bewegungsaufgabe besser abgeschnitten. Diese Feststellung konnte auch Bund und Wiemeyer (2004) in ihrer Tischtennisstudie bestätigen. Sie untersuchten die Methode der Selbstfrequentierung und der selbstbestimmten Feedbackart anhand eines Vorhand Topspin Schlages im Tischtennis. Die Auswertung dieser Studie hat gezeigt, dass die Gruppen, welche selbst über die Frequentierung und Art des aF entscheiden konnten, eine höhere Genauigkeit und auch ein höheres Selbstvertrauen aufwiesen als die Kontrollgruppe, welche aF nach Vorgaben bekam.

Selbstkontrolliertes Feedback im Allgemeinen, nicht nur in der Frequentierung, kann den Lernprozess verbessern, da es dem Athleten die Freiheit gibt, selbst darüber zu entscheiden, wann und wie er Feedback erhalten will (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). Es handelt sich daher um

eine Selbstreflexion, in welcher der Sportler sich intensiver mit der Bewegungsausführung und dessen Resultat auseinandersetzt. Für einen Trainer ist demnach wichtig, dem Athleten beizubringen, wann dieser aF verlangen soll. Er sollte den Sportler dazu ermutigen selbst zu entscheiden, in welchen Momenten aF für ihn nützlich ist und dadurch die Autonomie des Athleten fördern.

*Guidance hypothesis.* Die optimale Frequentierung von aF ist eine umstrittene Thematik in der Literatur. Die *guidance hypothesis* besagt, dass das Bewegungslernen mithilfe von aF zwar positiv stimuliert wird, sich jedoch durch eine zu hohe Frequentierung des aF eine Abhängigkeit entwickeln kann (Salmoni, Schmidt & Walter, 1984). Diese Abhängigkeit äussert sich in einem Leistungsrückgang bei Retentions- oder Transfertests, bei welchen kein aF gegeben wird (Vander Linden, Cauraugh & Greene, 1993; Winstein et al., 1996). Basierend auf diesen Annahmen wird empfohlen, dass aF mit einer relativen Frequenz von unter 100 % bereitgestellt werden sollte. Jedoch konnten Keller, Lauber, Gehring, Leukel und Taube (2014) diese Hypothese in ihrer Studie nicht bestätigen. Das Ziel ihrer Studie war es den sofortigen (kurzfristigen) Effekt von aF während einer Trainingseinheit selbst, sowie den langzeitigen Effekt zu untersuchen. Es ging dabei um die Optimierung der Sprunghöhe (abhängige Variable) eines *drop-jumps*. Ein weiterer Aspekt ihrer Studie bestand darin zu ermitteln, welche Frequentierung von aF zu der optimalsten Leistungsverbesserung führt. Dafür haben Keller et al. drei Gruppen für ihre Trainingsstudie gebildet. Eine Gruppe hat während der vier Wöchigen Trainingsintervention 100 % frequentiertes aF erhalten, die zweite Gruppe lediglich 50 % und eine Kontrollgruppe hat kein aF in Form der Sprunghöhe erhalten. Um den kurzfristigen Effekt von aF auf die Sprungleistung zu ermitteln, haben Keller et al. während den Messungen den Probanden für die Hälfte der Sprünge aF bereitgestellt. In Tabelle 3 sind die Resultate für den langzeitigen Effekt aufgeführt. Es ist zu entnehmen, dass die erste Gruppe (100 % Frequentierung) die höchste Leistungssteigerung aufweist. Dies steht insofern im direkten Widerspruch mit der *guidance hypothesis*, da es sich bei den aufgeführten Daten in Tabelle 3 um die Sprünge handelt, bei welchen keiner der Probanden aF erhalten hat. Keller et al. argumentieren, dass es für diesen Fund unterschiedliche Erklärungen geben könnte. Eine davon ist ein Ansatz von Swinnen (1996). Er vermutet, dass in den Studien der Befürworter der *guidance hypothesis* die Information in Form von aF benötigt wurde, um zu verstehen wie die neue Aufgabe ausgeführt werden musste. Schlussfolgernd können diese Aufgaben ohne aF nicht korrekt ausgeführt, und deshalb auch nicht korrekt gelernt werden. Diese Situation könnte dafür verantwortlich sein, dass sich eine solche Abhängigkeit von aF bei den Testpersonen entwickelt hat. In der Studie von Keller et al. (2014) handelt es sich um eine bereits bekannte Bewegung (Sprung), weshalb sie vermuten,

dass das aF nicht die gleiche Rolle wie in den oben genannten Studien einnimmt (Keller et al., 2014). Des Weiteren argumentieren sie, dass die Bewegungsaufgabe selbst eine entscheidende Rolle spielt, wenn es darum geht herauszufinden, welche Frequentierung am geeignetsten ist. Weitere Studien mit komplexeren Bewegungsaufgaben haben diesbezüglich ähnliche Befunde wie die Studie von Keller et al. (2014) ergeben (Manonen et al., 2003; Swinnen, Lee, Verschueren, Serrien & Bogaerds, 1997; Wulf, Shea & Matschiner, 1998).

Tabelle 3

*Prozentuale Verbesserung der Sprunghöhe nach der Trainingsintervention*

	<b>Gruppe 1</b>	<b>Gruppe 2</b>	<b>Kontrollgruppe</b>
Frequentierung von aF	100 %	50 %	0 %
<b>Verbesserung der Sprunghöhe in %</b>			
Pre- zu Post-Messung	+ 14.01 %	+ 9.97 %	+ 6.03 %

*Anmerkung.* Daten sind aus der Studie von Keller et al. (2014). Es handelt sich um die prozentuale Verbesserung der Sprunghöhe, bei welcher die Probanden kein aF während den Messungen erhalten haben.

**Zeitpunkt des Feedbacks (Timing).** Der Zeitpunkt des Feedbacks beantwortet die Frage zu welchem Zeitpunkt der Bewegung das aF vermittelt werden soll. Grundsätzlich unterscheidet man in der Literatur zwischen zwei unterschiedlichen Zeitpunkten. Einerseits wenn das aF während der Bewegungsausführung, andererseits nach Beendigung dieser kommuniziert wird. Ersteres wird *concurrent Feedback* genannt. Ein Beispiel hierfür wäre die Herzfrequenz, welche der Athlet während der Leistung über seine Puls-Uhr (während einem Rennen) ablesen kann. Die zweite Form des Zeitpunktes nennt sich *terminal Feedback* (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). Beispiel dafür wäre die Videoaufnahme des Tennisaufschlags, welche dem Athleten nach der Bewegungsausführung gezeigt wird.

*Concurrent Feedback* wird im Trainingsalltag häufig angewandt, sollte jedoch mit Bedacht eingesetzt werden, da es die Aufmerksamkeit des Athleten von seiner intrinsischen Wahrnehmung auf das aF umlenken kann (Magill & Anderson, 2014). Es kann sich auch eine Abhängigkeit entwickeln, wenn junge Athleten während eines Lernprozesses zu viel *concurrent Feedback* erhalten (Chu, 2017). Andererseits hat man festgestellt, dass junge Athleten während des Lernprozesses einer komplexeren Bewegung durchaus von *concurrent Feedback* profitieren

können. Dies in Situationen, in welchen es schwierig ist für einen Athleten, nur über das intrinsische Feedback Informationen wahrzunehmen (Magill & Anderson, 2014). Diese Annahme wurde in der Studie von Todorov, Shadmehr und Bizzi (1997) bestätigt. In dieser wurde das Unterbinden von kognitiver Überlastung anhand einer virtuellen Tischtennis Aufgabe untersucht.

Bei *terminal Feedback* muss definiert werden, zu welchem Zeitpunkt nach der Bewegungsausführung das aF kommuniziert werden sollte, und wieviel Reflektionszeit dem Athleten bis zur nächsten Ausübung gegeben wird. In der Literatur spricht man von *KR-delay*, welches für ersteres steht, und von *post-KR intervals* (Leukel & Lundbye-Jensen, 2015). Man ist sich einig, dass aF so schnell wie möglich kommuniziert werden sollte, da der Athlet damit einen direkten Bezug zur ausgeführten Bewegung schaffen kann. Es muss jedoch aufgepasst werden, dass die Qualität und Validität des aF nicht unter dem Zeitdruck leidet (Chu, 2017). Guadagnoli und Lee (2004) haben herausgefunden, dass sofortiges Feedback das Lernen von sehr schwierigen Aufgaben verbessert. Jedoch sei nicht direktes Feedback im Lernprozess von einfachen Bewegungen besser. Junge Athleten sollen in diesem Fall eine subjektive Selbsteinschätzung vor dem aF des Trainers absolvieren, was sich positiv auf den Lernfortschritt auswirkt (Swinnen, 1990; Liu & Wrisberg, 1997).

**Rolle von augmented Feedback.** AF kann grundlegende Rollen im motorischen Lernprozess einnehmen. Es kann dem Individuum ein direktes Resultat (KR) der ausgeführten Bewegung geben, oder als Fehleridentifikationsmittel einer ausgeführten Bewegung dienen. Dies ist entscheidend, um Bewegungsfehler korrigieren zu können. In diesem Sinne kann aF zum akkuraten Fehlerfinden und im Korrekturprozess durch Gegenüberstellen von intrinsisch internen und intrinsisch externen Feedbackinformationen einen Beitrag leisten (Young, Schmidt & Lee, 2001). Das Analysieren und Reflektieren der Leistung ist eine wichtige Variable im Prozess des Lernens (Ericsson, Krampe & Tesch-Römer, 1993). Wenn aF diesen Prozess verstärkt, hat es folglich einen positiven Effekt auf das Lernen selbst. Studien unterstützen diese Aussage, gehen jedoch davon aus, dass aF einen höheren direkten Effekt auf die Motivation hat und nicht direkt auf das Lernen selbst (Chiviacowsky & Wulf, 2007; Lewthwaite & Wulf, 2010). Diese Rolle von aF, der Effekt auf die intrinsische Motivation einer lernenden Person, kann eine Aufgabe interessanter und unterhaltsamer machen, die Aufmerksamkeit hochhalten, und dadurch den Einsatz steigern, um eine Bewegung zu erlernen oder zu perfektionieren (Little & McCullagh, 1989). Eine erhöhte Motivation führt zusätzlich zu höheren Trainingsintensitäten und sorgt dafür, dass Lernende bereit sind öfters und länger zu trainieren (Schmidt & Lee, 2005).

Obwohl wiederholt gezeigt werden konnte, dass aF Anpassungsprozesse in der motorischen Leistung, sei es die Bewegungsausführung an sich oder das Resultat daraus, unterstützen und erleichtern kann, ist es wichtig den Lern-Leistungsunterschied hervorzuheben (Salmoni et al., 1984). Mit anderen Worten formuliert, interessiert nicht nur die momentane Leistung, sondern viel mehr, wie sich diese Leistung über die Zeit entwickelt, wenn wir aF anwenden. Kantak und Winstein (2012) haben dies meiner Ansicht nach sehr schön formuliert. Sie sagen, dass das Lernen und die Leistung miteinander interagieren, und motorisches Lernen erwartungsweise zu einer Verbesserung der motorischen Leistung führt. Die Essenz des motorischen Lernens liegt jedoch in der temporalen Beständigkeit des Lernfortschritts (Kantak & Winstein, 2012). Der Lern- Leistungsunterschied definiert auch den Unterschied zwischen der motorischen Leistung im Training und deren Belastbarkeit, welche durch Training verbessert und über die Zeit gefestigt werden kann (Cahill, McGaugh & Weinberger, 2001). Um den Lerneffekt einschätzen zu können, sollte die motorische Leistung schlussfolgernd nicht nur während des Trainings selbst getestet werden, sondern sollte anhand von Retentionstests in unterschiedlichen Zeitabständen, zu den diesbezüglichen Trainingseinheiten, das Leistungsvermögen nachgeprüft werden (Kantak & Winstein, 2012). Aus diesem Grund war eines der Ziele dieser Arbeit, diese Thematik zu untersuchen.

Tabelle 4

*Mittlere Aufschlagsgeschwindigkeit in  $\text{kmh}^{-1}$  vor (Pre) nach (Post) einem sechswöchigem Aufschlagstraining mithilfe von KR aF und nach (Retention) weiteren sechs Wochen konventionellem Aufschlagstraining*

	Pre Test	Post Test	Retention Test
<b>Gruppe</b>	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung		
Intervention	168.16 $\pm$ 16.92	171.68 $\pm$ 16.92	171.86 $\pm$ 16.96
Kontroll	164.02 $\pm$ 13.07	164.81 $\pm$ 13.14	164.77 $\pm$ 13.21

*Anmerkung.* Daten sind aus der Studie von Moran et al. (2012, S. 757). Es handelt sich um die gemittelten Werte der Aufschlagsgeschwindigkeiten  $\pm$  Standardabweichung ( $\text{kmh}^{-1}$ ) zu den Zeitpunkten Pre, Post und Retention der Kontrollgruppe und Interventionsgruppe.

Moran et al. (2012) haben diesen Sachverhalt in einer Tennisaufschlags-Studie untersucht. Dafür haben sie zwei Gruppen gebildet. Eine Gruppe (Interventionsgruppe) trainierte über einen Zeitraum von sechs Wochen hinweg dreimal pro Woche mithilfe von KR aF. Eine zweite Gruppe (Kontrollgruppe) absolvierte die gleiche Trainingsquantität, jedoch ohne KR aF. Die Resultate zwischen der Eingangsmessung (Pre-Messung) und der Messung nach den sechs Wochen Training mit KR aF (Post-Messung) sind in Tabelle 4 ersichtlich. Es ist zu entnehmen, dass sich die Kontrollgruppe nicht signifikant verbessern konnte. In der Interventionsgruppe konnte hingegen eine Leistungssteigerung der Aufschlagsgeschwindigkeit gefunden werden. In einem Zeitraum von weiteren sechs Wochen haben beide Gruppen ohne KR aF weitertrainiert. Im Anschluss wurde in einer Retentionsmessung festgestellt, dass die Interventionsgruppe ihren vorherigen Leistungsanstieg beibehalten konnte. Die Aufschlagsleistung der Kontrollgruppe unterschied sich nicht signifikant zu den vorherigen Messzeitpunkten. Moran et al. (2012) haben sich in ihrer Studie, im Widerspruch zur *guidance hypothesis* für eine 100 % Frequentierung des aF in den Trainings entschieden. In der Forschung versucht man herauszufinden, welche Art von Feedback für welche spezifische motorische Aufgabe am geeignetsten ist. Einerseits für direkte Verbesserungen der Leistung und andererseits um kurzfristige Verbesserungen temporal zu festigen.

### **1.3 Ziel und konkrete Fragestellung**

Wie oben ausführlich beschrieben, kann Training mithilfe von aF durchaus zu einer erhöhten Leistung in motorischen Bewegungsabläufen führen. Es existieren jedoch noch nicht viele longitudinale Studien, welche den Erhalt einer Leistungsverbesserung nach einer Retentionsphase, in welcher kein aF zur Verfügung stand, untersuchten (Mononen, 2007, Moran et al., 2012). Die Studie von Moran et al. (2012) stellte fest, dass diese Anpassung nicht nur gegenwärtig vorhanden ist, sondern auch längerfristig erhalten bleibt.

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es festzustellen, ob ein sechswöchiges Aufschlagstraining mit verstärkendem Feedback (KR der Aufschlagsgeschwindigkeit) einen grösseren Effekt auf die Verbesserung der Aufschlagsgeschwindigkeit hat als konventionelles Aufschlagstraining. Zusätzlich wollen wir untersuchen, ob diese, falls vorhandene, Leistungssteigerung nach einem Zeitraum ohne bereitgestelltes KR aF im Training erhalten bleibt, oder ob es zu einem Rückgang der Leistung kommt. Die Hypothesen lauten wie folgt:

- (1) Die trainingsbedingte Zunahme der Aufschlaggeschwindigkeit ist signifikant höher bei der Interventionsgruppe, welche mit aF trainiert.
- (2) Die trainingsbedingte Leistungsverbesserung der Aufschlaggeschwindigkeit bleibt nach einer Retentionsphase, in welcher ohne aF weitertrainiert wird, bestehen.

Die konkrete Fragestellung lautet: Führt im Training bereitgestelltes aF zu einer Zunahme der Aufschlaggeschwindigkeit und bleibt diese Leistungsverbesserung langfristig bestehen?

## 2 Methode

### 2.1 Stichprobe

30 Nachwuchsspieler/innen der *Swiss Tennis Academy* haben an der Studie teilgenommen. Es handelte sich um potenzielle Kaderspieler/innen, welche im Durchschnitt 20 Stunden pro Woche trainieren. Zehn Probanden konnten die Studie aufgrund unterschiedlicher Umstände nicht zu Ende führen.

Die verwendete Stichprobe beinhaltete somit 20 Probanden, welche die gesamte Trainingsintervention durchgeführt haben. Sie setzt sich aus 13 männlichen und sieben weiblichen jugendlichen Spielern im Alter zwischen zwölf und 22 Jahren zusammen.

Die Probanden wurden bereits vor der Pre-Messung in Intervention- und Kontrollgruppe eingeteilt. Die Gruppeneinteilung wurde vom Leiter der Swiss Tennis Academy organisiert. Die Interventionsgruppe bestand aus elf (Geschlecht: weiblich = 4, männlich = 7; Alter: Mittelwert = 16.2, Standardabweichung = 2.5) und die Kontrollgruppe aus neun Probanden (Geschlecht: weiblich = 4, männlich = 5; Alter: Mittelwert = 16.6, Standardabweichung = 3.1). In Tabelle 5 sind die anthropometrischen Daten und die Gruppeneinteilung dargestellt.

Tabelle 5

*Gruppencharakteristik und anthropologische Daten der Stichprobe*

	<b>Interventionsgruppe (n = 11)</b>		<b>Kontrollgruppe (n = 9; 1 LH)</b>	
<b>Alter (Jahre)</b>	16.2 ± 2.5		16.6 ± 3.1	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
<b>Anzahl</b>	7	4	5	4
<b>Körpergewicht (kg)</b>	68.5 ± 9.3	54.2 ± 11.0	64.6 ± 17.6	56.6 ± 10.0
<b>Körpergrösse (cm)</b>	180.5 ± 8.1	167.8 ± 5.3	173.9 ± 14.9	163.6 ± 4.6

*Anmerkung.* Werte sind Mittelwerte ± Standardabweichungen. LH = Linkshändige Testperson.

## 2.2 Studiendesign

Bei unserer Studie handelte es sich um eine Trainingsstudie, um den Effekt eines KR aF basierten Aufschlagtrainings im Junioren Elite-Tennis zu untersuchen. Für die Trainingsstudie wurde ein ähnliches Protokoll wie in der Studie von Moran et al. (2012) gewählt.

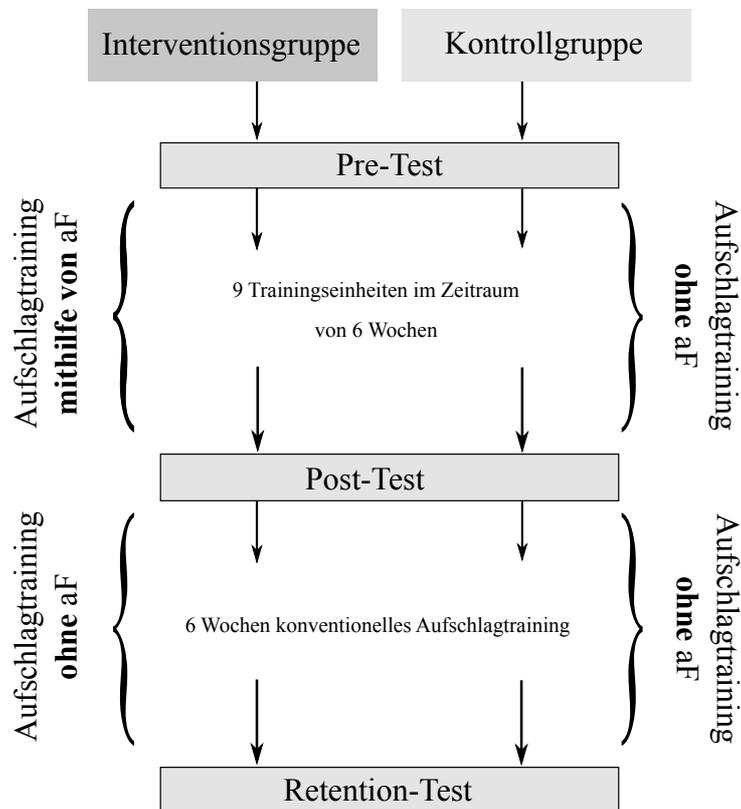


Abbildung 1. Zeitliche Organisation der Trainingsstudie mit zwei Gruppen und drei Messzeitpunkten.

Wir haben zwei Gruppen gebildet. Eine Interventionsgruppe, welche das spezifische Aufschlagtraining unter Bereitstellung von KR aF durchführte, und einer Kontrollgruppe, die im gleichen Zeitraum den Aufschlag konventionell trainierte. Es wurden folgende drei Messzeitpunkte definiert: eine Pre- und Post-Messung, um einen langfristigen trainingsbedingten Effekt unter Gebrauch von KR aF festzustellen, und eine dritte Messung (Retentionsmessung), um in Erfahrung zu bringen, ob ein Erhalt der Leistungsverbesserung festzustellen ist. Zwischen Pre- und Postmessung hat die Interventionsgruppe neun Trainingseinheiten im Zeitraum von sechs Wochen mit Unterstützung von KR aF durchgeführt, während die Kontrollgruppe den Aufschlag konventionell trainierte. In der Phase zwischen Post- und Retentionsmessung vollzogen beide Gruppen ihre üblichen Aufschlagtrainings ohne jegliche Anwendung von KR aF. Abbildung 1 zeigt die Organisation unserer Studie auf. Eine Trainingseinheit bestand aus einer

Stunde Aufschlagstraining mittels autoregulierten Rhythmus. Die Athleten erhielten zusätzlich technisches Feedback vom Trainer. Die Kontrollgruppe konnte ausschliesslich vom Trainerfeedback profitieren („konventionelles Training“). Während den Messungen konnten alle Spieler akustisch vom KR aF profitieren.

**2.2.1 Eingliederung des aF in die unterschiedlichen Dimensionen.** Die Spieler erhielten auditives KR aF. Um klar zu spezifizieren, um welche Art von aF es sich handelt, beziehen wir uns auf die Erklärungen in der Theorie. Das Feedback war *terminal* mit einem *KR-delay* von < 2 Sekunden und mit einem *post-KR Intervall* von < 10 Sekunden in den einzelnen Serien. Während den Messungen und den Trainingseinheiten arbeiteten wir mit einer 100 %en Frequentierung. Die Athleten erhielten somit nach jedem Aufschlag direkt ihre Aufschlagsgeschwindigkeit. Da es sich um eine Geschwindigkeit handelt, ist das KR aF eine quantitative Grösse.

**2.2.2 Ablauf der Messungen (Pre-, Post- und Retentionsmessung).** Alle Messungen wurden in der Trainingsanlage von Swiss Tennis in Biel (CH) durchgeführt. Bei der Hallenanlage handelte es sich um eine Hartplatzanlage (Rebound Ace Sports, Victoria, Australia). Vor Testbeginn haben sich jeweils zwei Athleten mit dem Trainer aufgewärmt. Das Aufwärmen bestand aus einem kurzen Einlaufen, einer Mobilisation der Gelenke, kurzen mittleren intensiven Sprints, Steigerungsläufen und einem kurzen Einspielen. Anschliessend wurden mit den gleichen Bällen wie in den Messungen verwendet einige Aufschläge serviert, um eine optimale Akklimatisation zu gewährleisten. Die Spieler wurden daraufhin über den Verlauf der Messungen informiert und aufgekommene Fragen wurden beantwortet. Die Spieler wurden zusätzlich vor jeder Messung darauf aufmerksam gemacht, aus der gleichen Position wie bei vorhergegangenen Messungen aufzuschlagen.

Die Athleten mussten zehn Aufschläge von der Einstand Seite durch die Mitte servieren. Nach jeweils zehn Aufschlägen wechselte der Athlet, um genügend Regenerationszeit in den Messablauf zu integrieren. Im Falle, dass nur ein Athlet gemessen wurde, wurden zwei Minuten Pause zwischen den Aufschlagsserien gegeben. Dieser Ablauf wiederholte sich, bis insgesamt 20 gültige Aufschläge gemessen wurden.

**2.2.3 Ablauf der Trainingseinheiten.** Die Trainingseinheiten wurden von den Trainern des jeweiligen Spielers durchgeführt. Da die Probanden nach 90 Aufschlägen bei maximaler Belastung Schmerzen in der Schulter empfanden, waren wir gezwungen das Training, im Vergleich zu Moron et al. (2012) seiner Studie, anzupassen. Die Anpassung bestand darin, dass die Spieler anstelle der 90 Aufschläge, welche geplant waren, 60 Minuten reines Aufschlagstraining ohne vorgegebene Anzahl an Wiederholungen durchführten. Während den Trainings wurde die Radarkamera aufgestellt und die Spieler wurden angespornt und motiviert, so schnell wie möglich zu servieren. Das KR aF erhielten die Spieler akustisch vom Trainer. Die Athleten sollten schneller als beim vorhergegangenen Aufschlag servieren. Es wurde wie in den Messungen nach jeweils zehn Aufschlägen eine Pause eingelegt. Diese war im Unterschied zu den Messungen autoreguliert.

**2.2.4 Konventionelles Aufschlagstraining.** Im konventionellen Aufschlagstraining wird oftmals mit externem Fokus gearbeitet. Hierfür werden Bodenmarkierungen oder Balldosen im gegnerischen Aufschlagfeld platziert, und die Athleten versuchen diese zu treffen. Der Gegenspieler returniert dabei den Ball. Es geht in erster Linie um eine quantitativ nicht zwingend definierte Wiederholungsanzahl, sondern um spielsimulierende Aufschlagssituationen oder um eine Maximierungsaufgabe (Drill). Der Athlet positioniert den Ballwagen neben sich und versucht entweder durch die Mitte (T-Line), auf den Körper des Gegenspielers (zentriert) oder nach aussen (an die Seitenlinie) zu servieren. Der Trainer gibt dabei, wenn er dabei ist, KP basierendes Feedback. Aufschlagstraining gehört bei praktisch allen Athleten zum Aufwärmprogramm.

## **2.3 Messmethoden**

Die Athleten servierten von ihrer gewohnten Position aus. Die Aufschlagsgeschwindigkeit wurde mittels Radarkamera aufgezeichnet, welche sich in einem Abstand von zwei Metern, auf einer Höhe von 1.6 Meter zentriert hinter der Grundlinie stand, von welcher aus serviert wurde. Die Kamera war zentral ausgerichtet, da sie für die Einstands- und Vorteilseite verwendet wurde (Abbildung 2). Der absolute Fehler für die Kamera ist klein ( $\pm 0.04 \text{ms}^{-1}$ ) und Ungenauigkeiten aufgrund nichtparallel servierter Aufschläge, bezogen auf die Ausrichtung der Kamera, liegen bei einem Maximum von 0.25 % der Aufschlagsgeschwindigkeit.

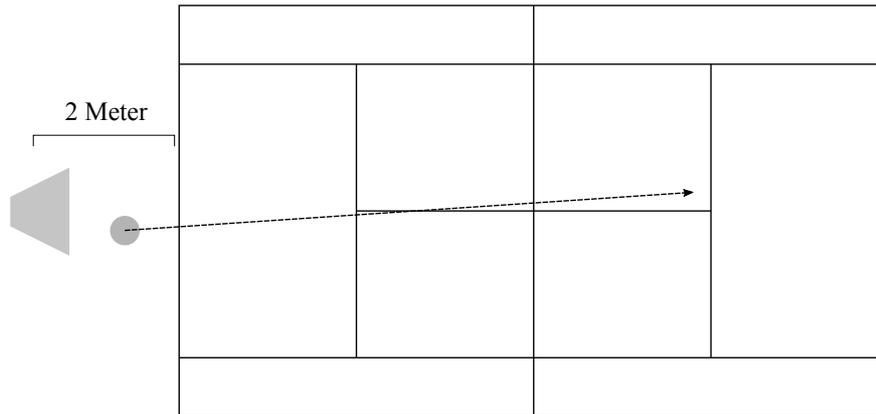


Abbildung 2. Versuchsaufbau auf dem Tennisplatz. Trapez = Radarkamera.  
Kreis = Athlet.

#### 2.4 Auswertung und statistische Analyse der Daten

In einer deskriptiven Statistik wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der Aufschlagsgeschwindigkeiten zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten (Pre, Post und Retention) berechnet. Um den Effekt der Anwendung von aF im Trainingsalltag zu evaluieren wurde für die Aufschlagsgeschwindigkeit und die Aufschlagsquote je eine Mixed-Design-ANOVA gerechnet, mit den Innersubjektvariable „Zeitpunkt“ (Pre vs. Post vs. Ret) und der Zwischensubjektvariable „Gruppe“ (Intervention vs. Kontroll) [3(Zeit)\*2(Gruppe)].

Um die kurzfristigen Effekte von aF auf die Aufschlagsgeschwindigkeit zu untersuchen, wurde die Entwicklung der Aufschlagsgeschwindigkeit aller Probanden während der Pre-Messung untersucht. Dafür wurden die 20 gültigen Versuche in fünf Blöcke à vier Aufschläge eingeteilt, für die jeweils der Mittelwert berechnet wurde. Die Mittelwerte der fünf Blöcke wurden anschliessend mit einer ANOVA mit Messwiederholung verglichen.

Die Effektstärke wurde als *generalized eta squared* ( $\eta^2_G$ ) angegeben, wo 0.01 als «schwacher» Effekt, 0.06 als «moderater», und 0.14 als «starker» Effekt anzusehen ist. Wir beziehen uns diesbezüglich auf die Richtwerte von Cohen (1988, zitiert nach Lakens, 2013).

Alle statistischen Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS (IBM SPSS Statistics 20, IBM Corporation, Armonk, New York, USA) vorgenommen.

### 3 Resultate

Tabelle 6 (Intervention) und Tabelle 7 (Kontroll) zeigen alle gemittelten Werte aller Probanden der Interventions- respektive der Kontrollgruppe zu den drei unterschiedlichen Messzeitpunkten (Pre, Post & Ret) und die Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen aller Athleten einer Gruppe zusammen. Für die Aufschlagsgeschwindigkeit hat die ANOVA weder für die Haupteffekte von «Gruppe» ( $F_{1,18} = 0.41$ ;  $p = 0.530$ ;  $\eta^2_G = 0.021$ ) oder «Zeitpunkt» ( $F_{2,36} = 3.08$ ;  $p = 0.058$ ;  $\eta^2_G = 0.007$ ), noch für die Interaktion ( $F_{2,36} = 0.055$ ;  $p = 0.582$ ;  $\eta^2_G = 0.001$ ) signifikante Resultate gezeigt. Für den Haupteffekt von «Gruppe» wurde allerdings ein Trend in Richtung einer Verschlechterung gefunden.

Für die Aufschlagsquote hat die ANOVA auch keine signifikanten Resultate gezeigt. Weder für die Haupteffekte von «Gruppe» ( $F_{1,18} = 0.053$ ;  $p = 0.821$ ;  $\eta^2_G = 0.001$ ) oder «Zeitpunkt» ( $F_{2,36} = 0.67$ ;  $p = 0.517$ ;  $\eta^2_G = 0.018$ ) noch für die Interaktion ( $F_{2,36} = 0.17$ ;  $p = 0.682$ ;  $\eta^2_G = 0.003$ ) konnten wir signifikante Resultate ermitteln.

Die Analyse für kurzfristige Effekte von aF auf die Aufschlagsgeschwindigkeit (Abbildung 3) zeigte einen signifikanten Effekt von Block auf die Aufschlagsgeschwindigkeit ( $F_{4,76} = 3.085$ ,  $p = 0.021$ ,  $\eta^2_G = 0.002$ ). Bonferroni-korrigierte Post-hoc-Tests haben gezeigt, dass die Aufschlagsgeschwindigkeit im fünften Block signifikant tiefer war als im dritten ( $p = 0.026$ ). Die anderen Blöcke unterschieden sich nicht signifikant.

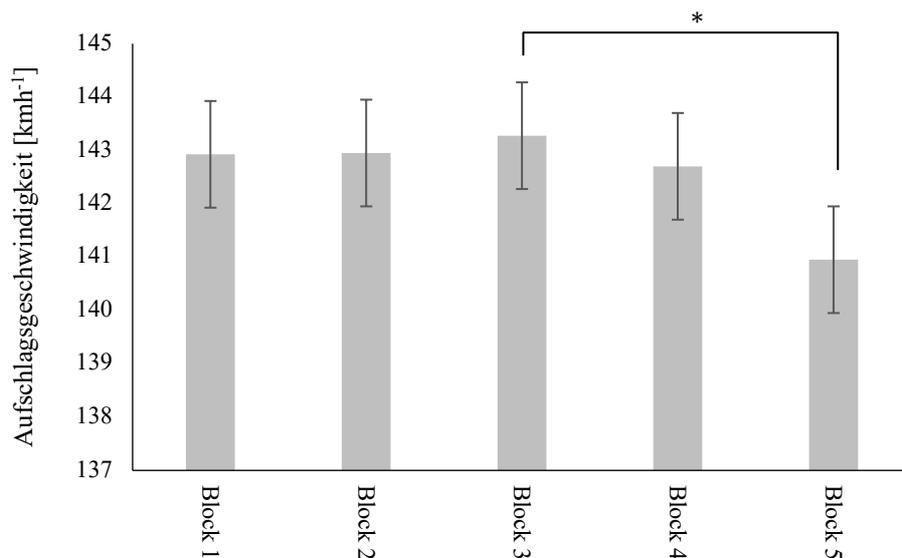


Abbildung 3. Kurzfristiger Effekt von aF auf die Aufschlagsgeschwindigkeit in  $\text{kmh}^{-1}$ . Fehlerindikatoren stellen die Standardabweichung dar. \* $p = 0.026$ .

Tabelle 6

Gemittelte Werte der Aufschlagsgeschwindigkeit ( $\text{kmh}^{-1}$ ) und Quote (Prozent) zu den drei Messzeitpunkten (Pre, Post & Retention) aller Athleten der Interventionsgruppe. Zusätzlich der gemittelte Wert aller Athleten (Interventionsgruppe) zusammen

Athlet	Pre		Post		Ret	
	AG	Quote	AG	Quote	AG	Quote
1	149	45	154	54	144	45
2	125	39	121	53	118	48
3	139	65	133	71	133	47
4	139	39	143	57	141	33
5	169	54	165	56	168	42
6	109	45	109	47	114	71
7	162	68	159	49	143	77
8	156	77	149	61	152	74
9	159	50	159	48	161	40
10	140	57	131	57	134	48
11	142	60	142	50	145	40
<i>M ± SD</i>	144 ± 17	54 ± 12	142 ± 17	55 ± 7	141 ± 16	51 ± 15

*Anmerkung.* Die Werte stellen den Mittelwert der 20 gültigen Aufschläge dar. Die Quote stellt den prozentualen Anteil der gültigen Aufschläge während der Messung dar.  $M \pm SD$  stellen die Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung aller Athleten zusammen zum Messzeitpunkt dar. AG = Aufschlagsgeschwindigkeit (in  $\text{kmh}^{-1}$ ).

Tabelle 7

*Gemittelte Werte der Aufschlagsgeschwindigkeit ( $\text{kmh}^{-1}$ ) und Quote (Prozent) zu den drei Messzeitpunkten (Pre, Post & Retention) aller Athleten der Kontrollgruppe. Zusätzlich der gemittelte Wert aller Athleten (Kontrollgruppe) zusammen*

<i>Athlet</i>	Pre		Post		Ret	
	AG	Quote	AG	Quote	AG	Quote
1	121	65	120	56	120	59
2	171	36	167	50	159	34
3	133	51	127	40	123	55
4	126	69	120	65	131	56
5	131	57	137	69	135	54
6	159	54	150	65	149	61
7	120	45	118	71	124	53
8	129	61	125	38	135	42
9	168	45	158	57	162	63
<i>M ± SD</i>	140 ± 20	54 ± 10	136 ± 18	57 ± 11	137 ± 16	53 ± 9

*Anmerkung.* Die Werte stellen den Mittelwert der 20 gültigen Aufschläge dar. Die Quote stellt den prozentualen Anteil der gültigen Aufschläge während der Messung dar.  $M \pm SD$  stellen die Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung aller Athleten zusammen zum Messzeitpunkt dar. AG = Aufschlagsgeschwindigkeit (in  $\text{kmh}^{-1}$ ).

### 3.1 Abbildungen Interventionsgruppe

In Abbildung 4 werden die Gemittelten Aufschlagsgeschwindigkeiten zu den drei Messzeitpunkten der Interventionsgruppe graphisch dargestellt. Die individuellen gemittelten Aufschlagsgeschwindigkeiten der Athleten aus der Interventionsgruppe wurden in Abbildung 5 graphisch aufgeführt.

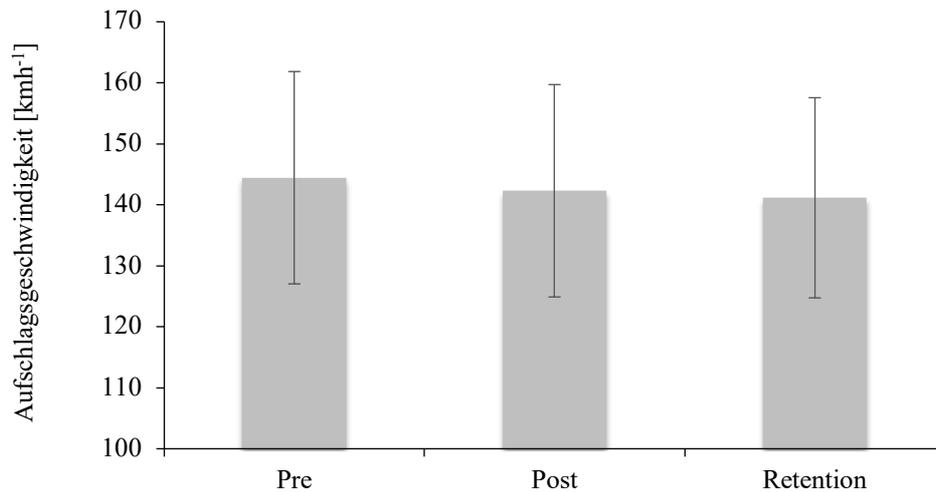


Abbildung 4. Gemittelte Aufschlagsgeschwindigkeit (kmh<sup>-1</sup>) zu den drei Messzeitpunkten (Pre, Post & Retention) der Interventionsgruppe (n = 11). Fehlerindikatoren stellen die Standardabweichung dar.

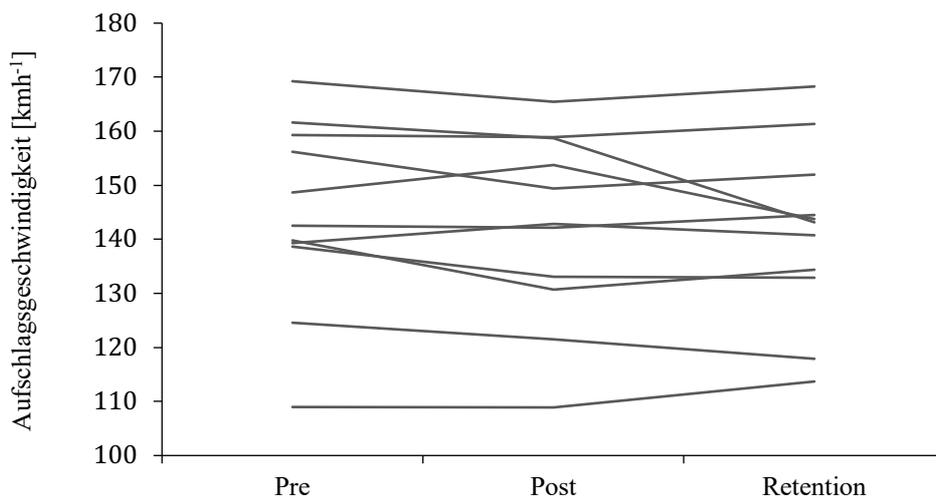


Abbildung 5. Individuelle (Athleten) gemittelte Aufschlagsgeschwindigkeiten (kmh<sup>-1</sup>) zu den drei Messzeitpunkten (Pre, Post & Retention) der Interventionsgruppe (n = 11).

### 3.2 Abbildungen Kontrollgruppe

In Abbildung 6 werden die gemittelten Aufschlagsgeschwindigkeiten zu den drei Messzeitpunkten der Kontrollgruppe graphisch dargestellt. Die individuellen gemittelten Aufschlagsgeschwindigkeiten der Athleten aus der Kontrollgruppe wurden in Abbildung 7 graphisch aufgeführt.

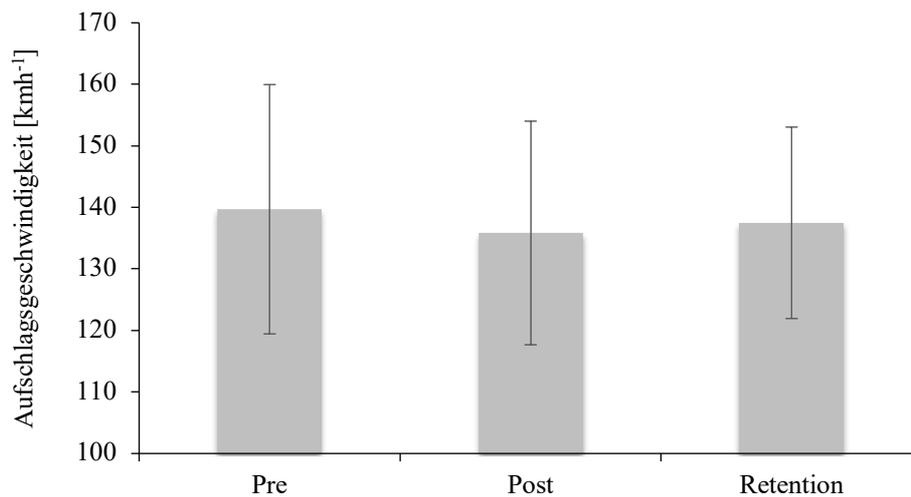


Abbildung 6. Gemittelte Aufschlagsgeschwindigkeit (kmh<sup>-1</sup>) zu den drei Messzeitpunkten (Pre, Post & Retention) der Kontrollgruppe (n = 9). Fehlerindikatoren stellen die Standardabweichung dar.

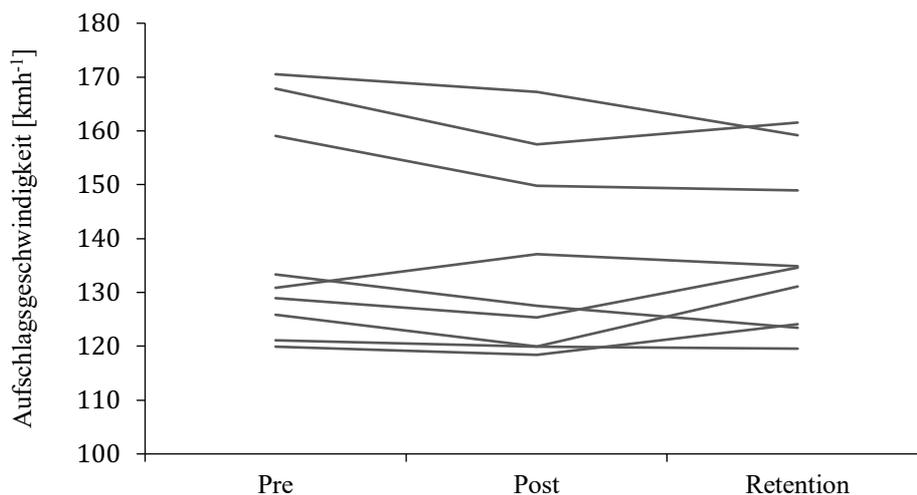


Abbildung 7. Individuelle (Athleten) gemittelte Aufschlagsgeschwindigkeiten (kmh<sup>-1</sup>) zu den drei Messzeitpunkten (Pre, Post & Retention) der Kontrollgruppe (n = 9).

## 4 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war, zu untersuchen, ob im Training integriertes KR aF die Aufschlagsgeschwindigkeit von Nachwuchs-Tennispielern im Leistungssport langfristig verbessert. Es interessierte uns, ob ein Leistungsfortschritt mithilfe von aF unterstütztem Training entsteht, und ob eine gebildete Leistungssteigerung bei folgendem Verzicht des KR aF bestehen bleibt. Dieses Erkenntnis soll dazu beitragen, herauszufinden inwiefern sich aF temporal auf eine Leistungsveränderung, einer komplexen motorischen Bewegung, wie dem Tennisaufschlag, auswirkt.

Als Zusatz zu unserer Fragestellung, fragten wir uns, ob es kurzfristige Effekte während der ersten Messung aufgrund des KR aF gegeben hat. Für diese kurzfristigen Effekte der Aufschlagleistung konnten wir vom dritten zum fünften Block eine signifikante Verschlechterung feststellen (Abbildung 3). Wir haben als Erklärung dafür zwei Theorien: Einerseits gehen wir davon aus, dass die physische Ermüdung dabei eine Rolle gespielt haben könnte. Zum anderen denken wir, dass die Motivation gegen Ende der Messung abgenommen hat. Wir stellen diesbezüglich zusätzlich fest, dass die Athleten nach mehreren Fehlversuchen einen „im Schnitt langsameren Aufschlag“ aufwiesen. Es ist nachvollziehbar, dass der Athlet nach mehreren Fehlversuchen einen sicheren Aufschlag (kleineres Risiko und tiefere Geschwindigkeit) servieren wollte. Wir konnten dies mehrheitlich gegen Ende der Messungen erkennen. Erklärung dafür könnte die bereits erwähnte physische Belastung, oder die nachlassende Konzentration der Spieler sein.

Den restlichen Resultaten ist zu entnehmen, dass wir keinen signifikanten langfristigen Fortschritt der Aufschlagsgeschwindigkeit oder der Aufschlagsquote, noch eine Verschlechterung ermitteln konnten. Für den Haupteffekt von „Gruppe“, wurde jedoch ein schwacher Trend in Richtung einer Verschlechterung gefunden ( $\eta^2_G = 0.021$ ). Trainingsbedingte Argumente könnten ein Indiz für unsere Messresultate sein. Einerseits absolvierten die Athleten innert sechs Wochen neun Trainingseinheiten. Das bedeutet eineinhalb Trainingseinheiten pro Woche. Im Vergleich dazu führten die Athleten in der Studie von Moran et al. (2012) 18 Trainingseinheiten innert sechs Wochen durch (drei Einheiten pro Woche). Somit könnte der Trainingsreiz in unserer Studie zu gering ausgefallen sein, um messbare Veränderungen in der Aufschlagsgeschwindigkeit festzustellen. Im direkten Kontrast dazu, könnte es sich durchaus um eine trainingsbedingte Überlastung handeln. Der ursprüngliche Auftrag der Athleten bestand darin, pro Trainingseinheit 90 gültige Aufschläge (15 T-Linie, 15 zentriert, 15 Aussenlinie; Vorteils- und Einstandsseite) zu servieren. Das entspricht dem gleichen Trainingsdesign wie in der Tennisaufschlagstudie von Moran et al. (2012). Wenn man bedenkt, dass die Aufschlagsquote in unserer

Studie an gültigen Aufschlägen während den Messungen bei 54 % lag, hiess dies für die Athleten, dass sie 167 Aufschläge bei maximaler Belastung ausführen mussten. Zusätzlich fand parallel zu dieser Studie eine zweite Studie mit einem ähnlichen Trainingsumfang statt. Die Spieler mussten somit approximativ über 300 Aufschläge pro Trainingseinheit ausführen. Weshalb wir gezwungen waren, den Trainingsumfang während der Studie anzupassen. Diese Anpassung bestand darin, dass die Athleten nicht mehr eine fixe Anzahl von gültigen Aufschlägen servieren mussten; wir arbeiteten neu mit einer vorgegebenen Zeit. Die Aufschlagstrainings dauerten 60 Minuten und zwei Spieler führten dieses jeweils zusammen durch. Grund für die Binom-Trainingseinheiten war aus organisatorischer Sicht und um den Athleten zwischen den Serien genügend Regenerationszeit zu ermöglichen. Wir sahen uns zu dieser Anpassung gezwungen, weil die Spieler nach den ersten Trainingseinheiten Ermüdungserscheinungen in der Schultermuskulatur und im Ellenbogengelenk empfanden. Die Anpassung der Zielvorgabe für die Trainingseinheiten macht es für uns natürlich schwierig die effektiv erbrachte Trainingsleistung zu quantifizieren (Monitoring). Wir können deshalb nicht sagen, wie viele Aufschläge effektiv pro Trainingseinheit unter maximaler Belastung durchgeführt wurden.

Ein weiterer Trainingsbedingter Aspekt wäre der Zeitpunkt der Trainingseinheiten. Damit ist gemeint, ob die Aufschlagstrainingseinheit im Anschluss, davor oder während eines intensiven Tennistrainings stattfand. Ein weiteres Argument für die fehlende Trainingsintensität könnte sein, dass die Spieler in den Vortagen ein wichtiges Turnier absolvierten haben, oder sie sich in der Vorbereitung eines solchen befanden. Einer der Gründe für Leistungssteigerungen durch aF unterstütztem Training ist, dass aF sich stark auf die intrinsische Motivation auswirkt, und somit die Trainingsintensität erhöht (Keller et al., 2014; Moran et. al, 2012). Externe Faktoren wie voraussichtliche Turniere, anders gesetzte Prioritäten, wie das Training von Rückhand- und Vorhandschlägen, könnten sich durchaus zusätzlich negativ auf die Motivation betreffend den Aufschlagstrainingseinheiten ausgewirkt haben. In einem späteren Abschnitt wird dieser Aspekt der Motivation ausführlicher dargelegt.

Wie im obigen Teil bereits erwähnt, bestand unsere Studie aus zwei unterschiedlichen Aufschlagstechniken. In dieser Arbeit wurde der Flat-Aufschlag untersucht. In der Parallelstudie handelt es sich um den Slice-Aufschlag. Es wäre durchaus möglich, dass es zu einer Interferenz zwischen Slice- und Flat-Aufschlagsleistung gekommen ist. Obwohl es für Tennisspieler essenziell ist, die Aufschlagsart während einem Spiel variieren zu können, wäre es denkbar, dass es in einer einzelnen Trainingseinheit sinnvoller wäre, sich auf eine Aufschlagart zu konzentrieren, und zu einem späteren Zeitpunkt die Variabilität des Aufschlages zu trainieren. Zusätzlich bestand unsere Stichprobe aus vielen sehr jungen Spielern (elf Spieler 16 Jahre alt oder

jünger), was die Frage aufwarf, ob diese jüngeren Spieler sich noch in der motorischen Lernphase, damit meinen wir, dass das prioritäre Ziel die Präzision und die Konstanz des Slice- und Flat-Aufschlages war, und nicht die Geschwindigkeitsmaximierung. Denn wenn sich diese Athleten noch in der Lernphase für die Bewegung (Aufschlagstechnik) selbst befanden, würde ein Aufschlagsgeschwindigkeits-optimierendes Training aus unserer Sicht keinen Sinn ergeben. Dieses sollte in erster Linie bei Athleten durchgeführt werden, welche sich in der Adaptionsphase der Bewegung befinden (*motor adaption*). Darum mussten wir eine zweite Anpassung der Anforderungen während den Messungen durchführen. Wie bereits in den Studien von Keller et al. (2018) und ähnlich der Studie von Moran et al. (2012), wäre eine Anforderung gewesen, in einen 0.8 Meter auf 2 Meter grossen Korridor an der Innen-Line des Aufschlagfeldes zu servieren. Für die jüngeren Spieler war dies praktisch unmöglich. Bei einzelnen Spielern mussten wir bereits in der ersten Messung (Pre-Messung) abbrechen, da diese nicht fähig waren, bei konstanter Quote in das vorgegebene Feld zu servieren. Zusätzlich stellten wir fest, dass gewisse Spieler immer Slice aufgeschlagen haben, und nicht fähig waren die Aufschlagstechnik zu wechseln.

Einen weiteren Punkt sehen wir in der Motivation der Athleten. Es wird davon ausgegangen, dass aF als Motivationsspritze wirkt, um die Trainingsintensität der Athleten zu erhöhen (Keller et al., 2014; Moran et al., 2012; Wälchli, Ruffieux, Bourquin, Keller & Taube, 2016). Das aF wirkt somit auf die intrinsische Motivation der Athleten. Wie stark diese Motivationsspritze auf die jeweiligen Spieler wirkt, ist jedoch schwierig zu bestimmen. Es kann angenommen werden, dass die Athleten zu den Messzeitpunkten oder im Verlauf der Studie weniger motiviert waren. Faktoren wie Zeitpunkt der Trainings- und Messeinheiten und die körperliche Verfassung zu den diesbezüglichen Zeitpunkten, könnten Indizien für eine mögliche fehlende Motivation darstellen. Ein weiterer Grund könnte das Alter der Spieler sein. Wie dem vorherigen Abschnitt zu entnehmen ist, sind elf von insgesamt 20 Athleten 16 Jahre alt oder jünger. Besonders die jüngeren Spieler empfanden unsere Messung teils als belastend, da sie davon ausgingen es sei ein entscheidender Leistungstest, obwohl wir ihnen versichert hatten, dass die Resultate ausschliesslich für unsere Studie verwendet werden. Darum fragten wir uns, ob es besser gewesen wäre, wenn die Spieler die Messungen und die Trainingseinheiten nicht zu zweit, sondern alleine durchgeführt hätten, um einen gewissen Leistungsdruck zu vermeiden. Bei den männlichen Teilnehmern stellten wir fest, dass es für sie offenbar sehr motivierend war zu zweit aufzuschlagen. Sie sahen es als Konkurrenzkampf, wer schneller aufschlagen kann. Es könnte jedoch sein, dass durch diesen Konkurrenzkampf das Hauptziel, die Bewegung zu verfeinern und die Aufschlagsleistung zu verbessern, verfehlt wurde und kein konstruktiver Lernprozess

beziehungsweise temporale Leistungssteigerung der Aufschlagsgeschwindigkeit stattfand. Könnte womöglich das psychologische Alter oder der Standort in der Entwicklung eine Variable für die Effektivität von motivationssteigerndem aF eine Rolle gespielt haben?

Sehr spezifische Argumente für die gefundenen Resultate könnten materialtechnischer Natur sein. Einer dieser Aspekte stellt die Qualität der Tennisbälle dar. Die Bälle wurden insgesamt drei Mal komplett ausgetauscht. Durch das Aufschlagen werden diese jedoch stark abgenutzt und es könnte durchaus der Fall gewesen sein, dass gewisse Athleten bei den unterschiedlichen Messzeitpunkten abgenutztere Bälle hatten, als noch bei vorhergegangenen Messungen. Wie stark dieser Einfluss auf die gemessene Aufschlagsgeschwindigkeit war, ist schwer zu beurteilen. Einen weiteren Aspekt sehen wir in der Bespannung der Schläger. Die Spieler wechseln ihre Bespannung selbständig. Wir können jedoch nicht sagen, ob sie bei jeder Messung die gleiche Bespannungsstärke und Bespannungsart hatten. Mit einer weicheren Bespannung kann normalerweise, aufgrund der höheren Elastizität, schneller aufgeschlagen werden, als mit einer harten Bespannung. Jedoch wird es schwieriger bei einer weicheren Bespannung den Ball zu kontrollieren. Auch das Modell des Schlägers könnte eine Rolle spielen. Wir wissen nicht, ob einige Spieler während der Intervention ihr Modell gewechselt haben.

Unsere Studie hat gezeigt, dass Forschung im Bereich des Leistungssports sehr anspruchsvoll ist und viele Variablen berücksichtigt werden müssen. Leistungssteigerungen von einzelnen Prozenten können bereits sehr aussagekräftig sein. Diese können von unterschiedlichen Faktoren wie Trainingsperiodisierung (Zeitpunkt von Trainings- oder Messzeitpunkten) bis hin zu materialtechnischen Veränderungen abhängen. Zusätzlich spielt die Motivation eine zentrale Rolle, gerade in Anbetracht unserer Studie, in welcher wir stark davon ausgehen, dass aF die intrinsische Motivation eines Athleten und somit die Trainingsintensität erhöht. Leukel und Lundbye-Jensen (2015) schreiben:

Essentially, the principal question is not whether augmented feedback is necessary, but if augmented feedback may be beneficial for learning and if so, how is it best implemented in order to promote learning. In all likelihood, the importance of augmented feedback for motor skill learning depends heavily on the characteristics of the specific skill or task and the learner, and this may indeed explain the seemingly inconsistent findings of different studies. (S.146)

Dieses Zitat fasst die Problematik der Anwendung von aF im Trainingsalltag von Leistungssportlern passend zusammen. Wir sind der Meinung, dass die zentrale Frage nicht mehr ist, ob

aF einen positiven Effekt auf die Leistung einer Bewegung hat, sondern wie dieses am besten in den Lernprozess integriert werden kann, um den grösstmöglichen Nutzen zu erzielen. Wir vermuten, dass es kein grundlegendes Prinzip gibt, wie man aF bereitstellen sollte, um eine bestmögliche Leistungssteigerung zu erzielen. Es muss vor allem ermittelt werden, bei welcher Art von Bewegung oder Aufgabe, welche Art von aF verwendet werden sollte. Im folgenden Abschnitt haben wir deshalb Optimierungsvorschläge für zukünftige Studien im Bereich geschwindigkeitsmaximierendes Aufschlagstraining im Tennis bezüglich Leistungssportniveau zusammengetragen.

Wir empfehlen ein abgeändertes Studiendesign und eine Mindestanforderung der Aufschlagleistung für die Auswahl der Strichprobe. Einerseits schlagen wir vor, für die Stichprobe Athleten auszuwählen, welche sich in der Geschwindigkeitsmaximierung des Aufschlages befinden. Damit sind Athleten gemeint, die bereits über einen präzisen und konstanten Aufschlag verfügen. In aktuellen Studien wurde festgestellt, dass KR aF kurzfristig und langfristig die Aufschlagsgeschwindigkeit von Elite Tennisspieler zu verbessern vermag (Keller et al., 2018; Moran et al., 2012). In diesen Studien befinden sich die Athleten bei Durchschnitts-Aufschlagsgeschwindigkeiten von über  $168 \text{ kmh}^{-1}$ , was bedeutet, dass die Athleten bereits über ein sehr hohes Niveau verfügen. In unserer Studie lagen die durchschnittlichen Aufschlagsgeschwindigkeiten zwischen  $136 \text{ kmh}^{-1}$  und  $144 \text{ kmh}^{-1}$ . Aus unserer Sicht stellt dies ein Indiz dafür dar, dass sich die Probanden unserer Studie noch nicht dafür eignen, ein geschwindigkeitsmaximierendes Training durchzuführen.

Für eine Trainingsintervention empfehlen wir drei Trainingseinheiten pro Woche, über einen Zeitraum von vier bis sechs Wochen. Wir denken jedoch, dass eine sechswöchige Trainingsintervention möglicherweise bei vielen Leistungssportlern, bezüglich einer Trainingsstudie bereits unrealistisch sein könnte, da der Terminkalender von Tennisathleten sehr voll ist. Für die Messungen sollte für alle Probanden das gleiche Datum gewählt werden, um zu gewährleisten, dass bei allen unter den gleichen Bedingungen gemessen wird. Wir empfehlen in Bezug auf die Trainingseinheiten eine Maximalanzahl von 72 gültigen Aufschlägen. Dies entspricht der durchschnittlichen Aufschlagsanzahl eines Turnierspiels von jugendlichen professionellen Tennisspielern (Kovalchik & Reid, 2017). Damit gleichzeitig dazu die Präzision trainiert werden könnte, empfehlen wir drei Zielzonen pro Aufschlagsseite (Einstands- und Vorteilsseite) zu definieren. Eine Zone an der Innenlinie des Aufschlagfeldes, eine zentral ausgerichtet Zone, um Aufschläge auf den Gegner zu simulieren und eine dritte Zone an der Aussenlinie. Jede Zone sollte dabei der gleichen Grösse wie in der Studie von Keller et al. (2018) entsprechen ( $0.8 \times 2\text{m}$ ). Sollten drei Zonen gewählt werden, hiesse dies, dass die Spieler je zwölf gültige

Aufschläge pro Zone servieren müssten. Solch ein Designe würde einem konventionellen Aufschlagstraining entsprechen, mit dem Unterschied, dass die Athleten KR aF erhielten. Aus diesem Grund sollten die Athleten nach der Trainingsintervention das gleiche Trainingsdesign für die gleiche Zeitspanne weiterführen, jedoch ohne KR aF, um den langzeitigen Effekt von aF auf die Aufschlagsgeschwindigkeit realitätsgetreu zu ermitteln. Die Athleten sollten darüber entscheiden können, welche Aufschlagtechnik (Slice, Flat oder Kick) sie verwenden wollen. Ihr Auftrag sollte einzig und allein darin bestehen, in die vorgegebene Zone zu servieren, und die höchst mögliche Ballgeschwindigkeit zu produzieren. In der Interventionsgruppe würden wir der *guidance hypothesis* widersprechend empfehlen, mit einer 100 %igen Frequentierung des KR aF zu arbeiten, da es sich um eine Maximierungsaufgabe handelt.

Uns fasziniert ausserdem noch eine weitere Tennisaufschlagsstudie, in welcher wirksam mit KR aF gearbeitet werden könnte. Diese würde den Kick-Aufschlag thematisieren. Kovalchik und Reid (2018) konnten in ihrer Studie zeigen, dass der Kick-Aufschlag eine der am häufigsten verwendeten Aufschlagstechnik bei Profispielern darstellt, vor allem bei zweiten Aufschlägen. Die Schwäche eines Kickaufschlags stellt in den meisten Fällen die niedrigere Geschwindigkeit, im Vergleich zu anderen Aufschlagstechniken, dar. Ziel eines Kick-Aufschlages ist es, eine maximale Absprunghöhe des Balles nach dem Bodenkontakt zu generieren, um den Gegenspieler bereits von Beginn an von der Grundlinie nach hinten zu zwingen. Als Versuchsaufbau könnte eine Art Rasterwand auf der gegnerischen Grundlinie installiert werden. Ziel des Aufschlägers bestände darin, den Ball über diese Wand oder in das höchst mögliche Raster zu servieren. Als erstes aF könnten die unterschiedlichen Zonen auf der Rasterwand dienen, die dem Athleten ein direktes Feedback der Ball-Höhe bei der Grundlinie liefert und das zweite aF, in Form von KR, wäre die Aufschlagsgeschwindigkeit. So könnten Athleten die Aufschlagsgeschwindigkeit ihres Kickaufschlages in Kombination mit einer grösstmöglichen Absprunghöhe des Balles, bei der gegnerischen Grundlinie, mithilfe von aF trainieren.

Es wäre im Interesse der Sportwissenschaft, wie auch der Trainer und Athleten, herauszufinden welche Methoden am geeignetsten sind, um spezifische Parameter einer Bewegung optimal zu verbessern. Deshalb sollten aus unserer Sicht Erfahrungswerte in Feldstudien gesammelt werden, um realistische Anwendungen für den Trainingsalltag zu finden. Wir denken nicht, dass es ein Grundprinzip für das optimale Training gibt. Aus diesem Grund macht das Erforschen der individuellen Methode für den einzelnen Athleten besonders Sinn.

## 5 Schlussfolgerung

Zusammenfassend konnten wir in dieser Studie keinen Effekt durch KR aF auf die Aufschlagsgeschwindigkeit von Junioren Elite-Tennisathleten feststellen. Somit konnten wir die Erkenntnis aus der Studie von Moran et al. (2012), dass KR aF zu einer Verbesserung der Aufschlagsgeschwindigkeit und deren temporalen Festigung beiträgt, nicht bestätigen. Die Gründe dafür können vielseitig ausfallen. Eine mögliche Erklärung besteht in der nicht optimal durchgeführten Trainingsintervention, deren Periodisierung und Umfang. Einerseits könnte, durch die Anforderungen dieser Studie und der Parallelstudie, welche den gleichen Trainingsumfang beinhaltete, die Trainingsintensität zu gering ausgefallen sein. Damit ist gemeint, dass die Athleten aufgrund des hohen Trainingsumfangs nicht die verlangte Intensität erbringen konnten.

Eine weitere Erklärung stellt die Motivation der Athleten dar. Wir wissen, dass aF sich positiv auf die intrinsische Motivation der Lernenden Person auswirkt. Gewisse Athleten könnten aufgrund anders gesetzter Prioritäten im Training, oder nicht optimal gewählter Zeitpunkt der Messungen, zu wenig motiviert gewesen sein. Dies würde heissen, dass das aF den Lernprozess nicht optimal unterstützen konnte.

Hauptgrund für unsere Resultate sehen wir jedoch in der sehr hohen Variabilität der Aufschlagsgeschwindigkeit. Wir vermuten, dass sich ein Grossteil der Athleten unserer Studie noch nicht für ein geschwindigkeitsmaximierendes Aufschlagstraining eignete. Diese Hypothese begründen wir damit, dass in den aktuellen Studien, in welchen ein positiver Effekt von KR aF auf die Aufschlagsleistung gezeigt werden konnte, die Athleten über  $20 \text{ kmh}^{-1}$  im Schnitt schneller aufgeschlagen haben.

Wir denken, dass die Frage, ob aF einen positiven Effekt auf den Lernprozess einer komplexen motorischen Aufgabe hat, unumstritten ist. Unsere Studie konnte zeigen, dass es zentral ist, herauszufiltern welche Variablen in einer komplexen Bewegung verbessert werden sollen, um die richtige Anwendung von aF zu wählen. Es reicht nicht, lediglich ein Feedback zu geben, sondern muss in einem ersten Schritt herausgefunden werden, in welcher Lernetappe, gerade bezüglich einer komplexen Bewegung, die lernende Person sich befindet. Erst dann kann entschieden werden, welche Art von Feedback in dieser Lernphase die optimalste ist. Für Tennissathleten, welche die Aufschlagsgeschwindigkeit maximieren wollen und bereits über einen präzisen und konstanten Aufschlag verfügen, empfehlen wir den Gebrauch von KR aF der Aufschlagsgeschwindigkeit.

## Literaturverzeichnis

- Bueckers, M., Magill, R., & Sneyers, K. (1994). Resolving a Conflict between Sensory Feedback and Knowledge of Results, While Learning a Motor Skill. *Journal Of Motor Behavior*, 26(1), 27-35. doi: 10.1080/00222895.1994.9941658
- Bund, A., & Wiemeyer, J. (2004). self controlled learning of a complex motor skill: Effects of the learners preferences on performance and self-efficacy. *Journal Of Human Movement Studies*, 47, 215-236.
- Butler, M., Reeve, T., & Fischman, M. (1996). Effects of the Instructional Set in the Bandwidth Feedback Paradigm on Motor Skill Acquisition. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 67(3), 355-359. doi: 10.1080/02701367.1996.10607964
- Cahill, L., McGaugh, J., & Weinberger, N. (2001). The neurobiology of learning and memory: some reminders to remember. *Trends In Neurosciences*, 24(10), 578-581. doi: 10.1016/s0166-2236(00)01885-3
- Carpentier, J., & Mageau, G. (2013). When change-oriented feedback enhances motivation, well-being and performance: A look at autonomy-supportive feedback in sport. *Psychology Of Sport And Exercise*, 14(3), 423-435. doi: 10.1016/j.psychsport.2013.01.003
- Chiviawosky, S., & Wulf, G. (2007). Feedback After Good Trials Enhances Learning. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 78(2), 40-47. doi: 10.5641/193250307x13082490460346
- Chu, A. (2017). The application of augmented feedback in coaching table tennis youth athletes.
- Crespo, M., & Miley, D. (1998). *ITF advanced coaches manual*. London: ITF Ltd.
- Ericsson, K., Krampe, R., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363-406. doi: 10.1037//0033-295x.100.3.363
- Ernst, M., & Banks, M. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415(6870), 429-433. doi: 10.1038/415429a
- Faisal, A., Selen, L., & Wolpert, D. (2008). Noise in the nervous system. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 292-303.
- Figoni, S., & Morris, A. (1984). Effects of Knowledge of Results on Reciprocal, Isokinetic Strength and Fatigue. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 16(2), 167. doi: 10.1249/00005768-198404000-00288

- Gillet, E., Leroy, D., Thouvarecq, R., & Stein, J. (2009). A Notational Analysis of Elite Tennis Serve and Serve-Return Strategies on Slow Surface. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 23(2), 532-539. doi: 10.1519/jsc.0b013e3181818efe29
- Girard, O., Micallef, J., & Millet, G. (2005). Lower-limb activity during the power serve in tennis: effects of performance level. *Med Sci Sports Exerc*, 37(6), 1021-1029.
- Guay, M., Salmoni, A., & Lajoie, Y. (1999). The Effects of Different Knowledge of Results Spacing and Summarizing Techniques on the Acquisition of a Ballistic Movement. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 70(1), 24-32. doi: 10.1080/02701367.1999.10607727
- Hizan, H., Whipp, P., & Reid, M. (2011). Comparison of serve and serve return statistics of high performance male and female tennis players from different age-groups. *International Journal Of Performance Analysis In Sport*, 11(2), 365-375. doi: 10.1080/24748668.2011.11868556
- Hopper, D., Axel Berg, M., Andersen, H., & Madan, R. (2003). The influence of visual feedback on power during leg press on elite women field hockey players. *Physical Therapy In Sport*, 4(4), 182-186. doi: 10.1016/s1466-853x(03)00068-3
- Human Kinetics. (2004). *Coaching tennis successfully*. Champaign, IL.
- Janelle, C., Barba, D., Frehlich, S., Tennant, L., & Cauraugh, J. (1997). Maximizing Performance Feedback Effectiveness through Videotape Replay and a Self-Controlled Learning Environment. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 68(4), 269-279. doi: 10.1080/02701367.1997.10608008
- Johnson, C., McHugh, M., Wood, T., & Kibler, B. (2006). Performance demands of professional male tennis players. *British Journal Of Sports Medicine*, 40(8), 696-699. doi: 10.1136/bjism.2005.021253
- Kantak, S., & Winstein, C. (2012). Learning–performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. *Behavioural Brain Research*, 228(1), 219-231. doi: 10.1016/j.bbr.2011.11.028
- Keller, M., Kuhn, Y., Lüthy, F., & Taube, W. (2018). How to Serve Faster in Tennis. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 1. doi: 10.1519/jsc.0000000000002899
- Keller, M., Lauber, B., Gottschalk, M., & Taube, W. (2014). Enhanced jump performance when providing augmented feedback compared to an external or internal focus of attention. *Journal Of Sports Sciences*, 33(10), 1067-1075. doi: 10.1080/02640414.2014.984241

- Keller, M., Lauber, B., Gehring, D., Leukel, C., & Taube, W. (2014). Jump performance and augmented feedback: Immediate benefits and long-term training effects. *Human Movement Science, 36*, 177-189. doi: 10.1016/j.humov.2014.04.007
- Kibler, B. (2014). Understanding the kinetic chain in tennis performance and injury. *Aspetar Sports Med Journal, 3*, 492-497.
- Kovacs, M. (2007). Tennis Physiology: Training the competitive athlete. *Sports Medicine, 37*(3), 189-198. doi: 10.2165/00007256-200737030-00001
- Kovacs, M., & Ellenbecker, T. (2011). An 8-Stage Model for Evaluating the Tennis Serve. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach, 3*(6), 504-513. doi: 10.1177/1941738111414175
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers In Psychology, 4*. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00863
- Landers, D., Petruzzello, S., Salazar, W., Crews, D., Kubitz, K., Gannon, T. & Han, M. (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. *Medicine & Science In Sports & Exercise, 23*(1), 123-129. doi: 10.1249/00005768-199101000-00018
- Leukel, C. & Lundbye-Jensen, J. (2015). The role of augmented Feedback in human motor learning. In A. Gollhofer, W. Taube & J. B. Nielsen (Hrsg.), *Routledge Handbook of Motor Control and Motor Learning* (S. 135- 154). New York: Routledge
- Lewthwaite, R., & Wulf, G. (2010). Social-comparative feedback affects motor skill learning. *Quarterly Journal Of Experimental Psychology, 63*(4), 738-749. doi: 10.1080/17470210903111839
- Little, W., & McCullagh, P. (1989). Motivation Orientation and Modeled Instruction Strategies: The Effects on Form and Accuracy. *Journal Of Sport And Exercise Psychology, 11*(1), 41-53. doi: 10.1123/jsep.11.1.41
- Liu, J., & Wrisberg, C. (1997). The Effect of Knowledge of Results Delay and the Subjective Estimation of Movement Form on the Acquisition and Retention of a Motor Skill. *Research Quarterly For Exercise And Sport, 68*(2), 145-151. doi: 10.1080/02701367.1997.10607990
- Magill, R., & Anderson, D. (2014). *Motor learning and control: Concepts and applications* (10th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Mononen, K. (2007). *The effect of augmented feedback on motor skill learning in shooting* (PhD thesis). University of Jyväskylä, Finland.

- Mononen, K., Viitasalo, J., Konttinen, N., & Era, P. (2003). The effects of augmented kinematic feedback on motor skill learning in rifle shooting. *Journal Of Sports Sciences*, 21(10), 867-876. doi: 10.1080/0264041031000101944
- Moran, K., Murphy, C., & Marshall, B. (2012). The Need and Benefit of Augmented Feedback on Service Speed in Tennis. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 44(4), 754-760. doi: 10.1249/mss.0b013e3182376a13
- Reid, M., McMurtrie, D., & Crespo, M. (2010). Title: The relationship between match statistics and top 100 ranking in professional men's tennis. *International Journal Of Performance Analysis In Sport*, 10(2), 131-138. doi: 10.1080/24748668.2010.11868509
- Reid, M., Whiteside, D., & Elliott, B. (2011). Serving to different locations: set-up, toss, and racket kinematics of the professional tennis serve. *Sports Biomechanics*, 10(4), 407-414. doi: 10.1080/14763141.2011.629206
- Russell, D., & Newell, K. (2007). On No-KR tests in motor learning, retention and transfer. *Human Movement Science*, 26(1), 155-173. doi: 10.1016/j.humov.2006.07.009
- Salmoni, A., Schmidt, R., & Walter, C. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, 95(3), 355-386. doi: 10.1037//0033-2909.95.3.355
- Sharma, D., Chevidikunnan, M., Khan, F., & Gaowgzeh, R. (2016). Effectiveness of knowledge of result and knowledge of performance in the learning of a skilled motor activity by healthy young adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(5), 1482-1486. doi: 10.1589/jpts.28.1482
- Schmidt, R., & Lee, T. (2005). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis* (4th ed., p. 544). Champaign (IL): Human Kinetics.
- Sherwood, D. (1988). Effect of Bandwidth Knowledge of Results on Movement Consistency. *Perceptual and Motor Skills*, 66(2), 535-542. doi: 10.2466/pms.1988.66.2.535
- Stalker Pro II Sports Radar Gun | Professional Sports Radar Gun. (2018). Retrieved from <https://www.stalkerradar.com/sportsradar/ProII.html>
- Swinnen, S.P. (1990). Interpolated activities during the knowledge-of-results delay and post knowledge-of-results interval: Effects on performance and learning. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, 16(4), 692-705. doi: 10.1037//0278-7393.16.4.692
- Swinnen, S.P. (1996). Information feedback for motor skill learning: A review. In H.N Zelaznik (Ed.), *Advances in motor learning and control* (pp. 37-66). Champaign, IL: Human Kinetics

- Swinnen, S., Lee, T., Verschueren, S., Serrien, D., & Bogaerds, H. (1997). Interlimb coordination: Learning and transfer under different feedback conditions. *Human Movement Science, 16*(6), 749-785. doi: 10.1016/s0167-9457(97)00020-1
- Todorov, E., Shadmehr, R., & Bizzi, E. (1997). Augmented Feedback Presented in a Virtual Environment Accelerates Learning of a Difficult Motor Task. *Journal Of Motor Behavior, 29*(2), 147-158. doi: 10.1080/00222899709600829
- Tzetzis, G., Votsis, E., & Kourtessis, T. (2008). The effects of different corrective feedback methods on the outcome and self-confidence of young athletes. *Journal Of Sports Science And Medicine, 7*, 371-378.
- Ulbricht, A., Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2016). Impact of Fitness Characteristics on Tennis Performance in Elite Junior Tennis Players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 30*(4), 989-998. doi: 10.1519/jsc.0000000000001267
- Vander Linden, D., Cauraugh, J., & Greene, T. (1993). The Effect of Frequency of Kinetic Feedback on Learning an Isometric Force Production Task in Nondisabled Subjects. *Physical Therapy, 73*(2), 79-87. doi: 10.1093/ptj/73.2.79
- Wälchli, M., Ruffieux, J., Bourquin, Y., Keller, M., & Taube, W. (2016). Maximizing Performance. *Medicine & Science In Sports & Exercise, 48*(4), 714-719. doi: 10.1249/mss.0000000000000818
- Wallace, S., & Hagler, R. (1979). Knowledge of performance and the learning of a closed motor skill. *Research Quarterly, 50*, 265-271.
- Winstein, C. (1991). Knowledge of Results and Motor Learning—Implications for Physical Therapy. *Physical Therapy, 71*(2), 140-149. doi: 10.1093/ptj/71.2.140
- Winstein, C., Pohl, P., Cardinale, C., Green, A., Scholtz, L., & Waters, C. (1996). Learning a Partial-Weight-Bearing Skill: Effectiveness of Two Forms of Feedback. *Physical Therapy, 76*(9), 985-993. doi: 10.1093/ptj/76.9.985
- Winstein, C., & Schmidt, R. (1990). Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition, 16*(4), 677-691. doi: 10.1037//0278-7393.16.4.677
- Wulf, G. (2013). Attentional focus and motor learning: a review of 15 years. *International Review of Sport and Exercise Psychology, 6*(1), 77-104. doi: 10.1080/1750984x.2012.723728

- Wulf, G., & Shea, C. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(2), 185-211. doi: 10.3758/bf03196276
- Wulf, G., Shea, C., & Matschiner, S. (1998). Frequent Feedback Enhances Complex Motor Skill Learning. *Journal Of Motor Behavior*, *30*(2), 180-192. doi: 10.1080/00222899809601335
- Young, D., Schmidt, R., & Lee, T. (2001). *Skill learning: Augmented feedback* In W. Karwowski *International encyclopedia of ergonomics and human factors* (pp. 558-561). London: Taylor and Francis.

## **Dank**

Wir danken allen Athleten und Trainern der Swiss Tennis Academy in Biel und speziell Peter Frey für die Kollaboration während den Vorbereitungen, Trainingseinheiten und Messungen. Ein Dankeschön geht auch an die Platzwärter von Swiss Tennis, welche uns während der Vorbereitungen tatkräftig unterstützt haben. Des Weiteren danken wir Dr. Martin Keller und Prof. Wolfgang Taube für die Betreuung während der Studie.