



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Belastungs- und Beanspruchungsstruktur im
leistungsorientierten Herrentennis – eine systematische
Literaturanalyse“

verfasst von / submitted by

Mag. Alexander Grosser

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 456 482

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UniStG
UF Geographie und Wirtschaftskunde UniStG
UF Bewegung und Sport UniStG

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Zusammenfassung

Als weltweit ausgeübte Sportart ist Tennis für die Sportwissenschaft ein breites Forschungsfeld. Ein modernes Training muss sich den tatsächlichen Wettkampfbedingungen so weit wie nur möglich annähern, d.h. die im Wettkampf erforderlichen Belastungszeiten, Belastungsintensitäten, etc. müssen im Training so gut wie nur möglich integriert werden. Ziel dieser Arbeit ist es, die im leistungsorientierten Herrentennis auftretenden Belastungs- bzw. Beanspruchungsstrukturen zu untersuchen und ein repräsentatives Ergebnis präsentieren zu können.

Methodik

Mit Hilfe einer systematischen Literaturanalyse wurden in den elektronischen Referenzdatenbanken ‚PubMed‘ und ‚Web of Science‘ insgesamt 1674 Datensätze identifiziert. Nach mehreren Filterungsprozessen wurden 25 davon in die Volltextanalyse aufgenommen. Schlussendlich dienten neun Studien für die Analyse und zur Beantwortung meiner Forschungsfragen.

Ergebnisse

Die Stichprobe aus 76 Tennisspielern hat ergeben, dass die mittlere Ballwechseldauer zwischen 4,3 und 14,1 Sekunden liegt und sich kaum zwischen Sandplatz und Hartplatz unterscheidet, ebenso wie die Mittelwerte der Laktatkonzentrationen zwischen 2 und 5 mmol x L⁻¹. Herzfrequenzmittelwerte bewegen sich im Bereich von 140 – 150 Schlägen pro Minute, die 70 – 85% der maximalen Herzfrequenz bedeuten und somit moderat sind. Die Höchstwerte erreichen bis zu über 90% der maximalen Herzfrequenz. Einfluss hat das taktische Verhalten bzw. die jeweilige Aufgabe am Platz. Defensivspieler haben höhere Herzfrequenzmittelwerte als Offensivspieler. Aufschläger haben höhere Herzfrequenzmittelwerte als Returnspieler. Die Studien zeigen im Durchschnitt eine Beanspruchung von rund 50% der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit. Obwohl der aerobe Anteil im Tennissport dominant ist, können, aufgrund des intermittierenden Charakters, mehrmals Phasen mit Werten von über 90% der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit vorkommen.

ABSTRACT

As a sport practiced worldwide, tennis offers a broad field of research in sports science. Modern tennis training should be as similar to the conditions in actual competition as possible, i.e. duration, intensities etc. of workloads required in competition must be integrated in the training as well as possible. The aim of this work is to examine the load structures occurring in performance-oriented men's tennis and to present representative results.

Methods

A systematic literature review was conducted, identifying a total of 1674 data sets in the electronic reference databases 'PubMed' and 'Web of Science'. After several filtering processes, 25 papers were included in the full text analysis. Finally, nine studies were used for the review and to answer the research questions.

Results

The sample consists of 76 tennis players. The average rally time is between 4,3 and 14,1 seconds. Hardly any differences can be found between clay court and hard court surfaces in average rally time as well as in average lactate concentrations (which ranges between 2 and 5 mmol x L⁻¹). Average heart rate values range between 140 and 150 beats per minute, which is 70–85% of the maximum heart rate; that can be characterized as moderate. The maximum values can reach more than 90% of the maximum heart rate. The tactical behavior as well as the function on the court have an influence. Defensive players show higher average heart rate values than offensive players. Serve players have higher average heart rate values than return players. On average, the studies show a demand of about 50% of the maximum oxygen uptake capacity. Even though the share of aerobic activities is more dominant in tennis, due to its intermittent nature, periods with values of more than 90% of maximum oxygen uptake can occur several times.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Einführung in die Thematik	4
1.2 Ziel und Fragestellung.....	5
1.3 Aufbau der Arbeit	5
2 Theoretische Grundlagen	7
2.1 Tennis – eine allgemeine Sportartanalyse.....	7
2.2 Beanspruchungsprofil und Leistungsstruktur im Tennis	9
2.2.1 Zeitliche Dimension des Tennissports	13
2.2.2 Räumliche Dimension.....	17
2.2.3 Schlaghäufigkeiten	19
2.3 Metabolische Aspekte im Tennis.....	22
2.4 Psychologische Aspekte im Tennissport	27
2.5 Tennisspezifisches Koordinations- und Konditionstraining	31
2.5.1 Koordination	32
2.5.2 Kraft.....	34
2.5.3 Schnelligkeit	40
2.5.4 Ausdauer	41
3 Methodik.....	45
3.1 Systematische Literaturanalyse	45
3.2 Datenbankrecherche.....	46
3.3 Ein- und Ausschlusskriterien für die Wahl der Studien	48
3.3.1 Studiendesign.....	48
3.3.2 Einschlusskriterien.....	48
3.3.2.1 Allgemeine Einschlusskriterien:.....	49
3.3.2.2 Spezielle Einschlusskriterien:.....	49
3.3.2.2.1 Herzfrequenzmessung.....	49
3.3.2.2.2 Laktatmessung	50
3.3.2.2.3 Messung bzw. Berechnung der Sauerstoffaufnahme.....	51
3.3.2.2.4 Abschätzen des subjektiven Belastungsempfinden	52
3.3.2.2.5 Dauer der Ballwechsel.....	53
3.3.2.2.6 Gelaufene Distanz	54
3.3.3 Ausschlusskriterien.....	55
3.4 Eingeschlossene Studien.....	55
4 Zusammenfassung der Ergebnisse	57
4.1 Herzfrequenzwerte.....	57

4.2 Laktatwerte	61
4.3 Sauerstoffaufnahme.....	64
4.4 Subjektives Belastungsempfinden	66
4.5 Dauer der Ballwechsel	68
4.6 Gelaufene Distanz	71
4.7 Verhältnis von Belastung zu Erholung.....	73
5 Resümee und Ausblick.....	75
6 Literaturverzeichnis	78
7 Abbildungsverzeichnis.....	82
8 Tabellenverzeichnis.....	83

1 Einleitung

Zunächst wurde der Tennissport nur von Reichen und Adeligen gespielt, und da es als unschicklich galt zu schwitzen, wurden weiße Hemden und weiße Hosen getragen, auf denen keine Schweißflecke zu sehen waren. Aus dieser Zeit stammt der Begriff des „weißen Sports“. Seinen Ursprung hat Tennis übrigens in Frankreich, wo bereits im 13. Jahrhundert eine Art Vorläufer von Tennis mit der flachen Hand, ab dem 16. Jahrhundert mit einem Schläger, gespielt wurde.¹ Ganz in weiß wird aktuell nur mehr in Wimbledon auf dem sogenannten „heiligen Rasen“, beim ältesten und prestigeträchtigsten Tennisturnier der Welt gespielt.²

Neben den Outfits der Tennisprofis, das immer bunter und schriller wird, hat sich in den letzten Jahren auch die Höhe der Siegerschecks weiterentwickelt. Seit 1990 sind die Siegesprämien z.B. in Wimbledon um das 11-fache angestiegen.³ Wenig überraschend bei dieser Entwicklung der Preisgelder ist, dass die Führenden in der Preisgeldrangliste die noch aktiven Spieler Novak Djoković mit 135 Millionen US-Dollar, Roger Federer mit 126 Millionen US-Dollar und Rafael Nadal mit 111 Millionen US-Dollar an gewonnenem Preisgeld sind.⁴

Der Tennissport hat sich in den letzten Jahrzehnten in allen Bereichen stark weiterentwickelt und das heutige Tennis im Hochleistungssport ist aber nicht nur bunter und ertragreicher geworden, sondern Schönborn (2016) betont, dass das heutige Tennis wesentlich schneller geworden ist als es noch in der 80er und 90er Jahren war. Die moderne Tennistechnik mit der starken Körperverwindung während des Schlages und die heutige moderne Schlägertechnologie sind Gründe dafür. Aber ein ebenso wichtiger Grund für das schnellere Tennisspiel ist der wesentlich bessere konditionelle Zustand der Athleten und Athletinnen.

Die Sportwissenschaft hat sich dementsprechend intensiv den unterschiedlichen physiologischen Parametern im Tennissport gewidmet. Viele Studien über die physiologischen Anforderungen und Studien von Tennismatchanalysen wurden veröffentlicht.

Jugendliche (Galé-Ansodi et.al., 2018; Kilit & Arslan 2018), Erwachsene und auch ältere Erwachsene (Ferrauti et.al., 2001), vom reinen Freizeitspieler (Hoppe et.al., 2015) bis hin zum Profispieler beiderlei Geschlechts (Martin et.al., 2011; Mendez-Villanueva et.al., 2007; Hoppe et.al., 2016; Kilit et.al., 2016; Pereira et.al., 2016; u.a.) wurden untersucht.

¹ Quelle: <https://www.wissen.de/welcher-sport-wird-auch-als-der-weiße-sport-bezeichnet> - Zugriff am 28.10.2019

² Quelle: <http://www.sport-insider.de/mehr-sport/gallery/die-groessten-sportevents-der-welt> – Zugriff am 28.10.2019

³ Quelle: <https://www.tennismagazin.de/news/preisgeld-wimbledon-2019-tennis> – Zugriff am 28.10.2019

⁴ Quelle: <https://www.diepresse.com/5681595/tennis-die-preisgeld-parallelwelten> – Zugriff am 28.10.2019

Ebenso unterschiedlich wie das Leistungsniveau der Spielerinnen und Spieler ist die Art der Belastung in den jeweiligen Studien, die sich von reinen Trainingsbelastungen (Fernandez-Fernandez et.al., 2010) über Simulationsmatches (Bergeron et.al., 1991; Gescheit et.al., 2015) bis hin zu Turnierbedingungen (Martinez-Gallego et.al., 2013; Mendez-Villanueva et.al., 2010; Hornery et.al., 2007; Kovalchik & Reid 2017) belaufen.

Im Prozess der Literaturrecherche fanden sich folgende Übersichtsarbeiten (sogenannte Reviews), die sich mit den physiologischen Anforderungen im Tennissport beschäftigten. Diese sind, aufsteigend nach Erscheinungsjahr:

- ‚Intensity of tennis match play‘ (Fernandez, Mendez-Villanueva & Pluim, 2006)
- ‚A Review of the Activity Profile and Physiological Demands of Tennis Match Play‘ (Fernandez-Fernandez, Sanz-Rivas, & Mendez-Villanueva, 2009)
- ‚Time-motion characteristics, notational analysis and physiological demands of tennis match play: a Review‘ (Kilit, Arslan & Soylu, 2018)

Im Folgenden werden physiologische Parameter der drei Übersichtsarbeiten dokumentiert. Diese Übersichtsarbeiten beinhalten Studien mit unterschiedlichem Leistungsniveau, beiderlei Geschlechts bzw. auch unterschiedlichem Bodenbelag (Sand- und Hartplatz sowie Rasen). In Kapitel 4 ‚Zusammenfassung der Ergebnisse‘ werden die Ergebnisse meiner Recherche zu den Anforderungen im leistungsorientierten Herrentennis präsentiert und ob es Unterschiede zu den Anforderungen abhängig von Sandplatz oder Hartplatz gibt. Hier wird sich zeigen, ob sich die Anforderungen im leistungsorientierten Herrentennis von den, von Übersichtsarbeiten beschriebenen Anforderungen unterscheiden.

Laktatwerte liegen im Durchschnitt auf niedrigem Niveau, wobei es zu kurzfristigen Steigerungen von über 8 mmol/L kommen kann. (Fernandez et.al., 2006; Fernandez-Fernandez et.al., 2009 & Kilit et.al., 2018) Werte von 1,8 - 2,8 mmol/L (Fernandez-Fernandez et.al., 2009 & Fernandez et.al., 2006) bzw. 4,4 - 4,6 mmol/L (Aufschlaggame) und 3 – 3,2 mmol/L (Returngame) (Kilit et.al., 2018) werden dokumentiert. Unterschiede in den Laktatwerten abhängig von Aufschlag- oder Returngame kann auf das höhere Aktivitätsniveau beim Aufschlag zurückgeführt werden. Dieser Unterschied wird jedoch nicht von allen Autorinnen und Autoren gemessen.

Die durchschnittliche Ballwechseldauer beträgt 5 - 10 Sekunden (Kilit et.al., 2018; Fernandez et.al., 2006 & Fernandez-Fernandez et.al., 2009), wobei von Kilit et.al. (2018) darauf hingewiesen wird, dass die Ballwechseldauer mit langsamerem Bodenbelag zunimmt. Interessant in der Übersichtsarbeit von Kilit et.al. (2018) ist, dass die beiden Studien mit den längsten Ballwechseln (10,2±0,3 bzw. 12,1±10,8 Sekunden) auf einem Hartplatz durchgeführt

wurden, wobei ein Sandplatz grundsätzlich als der langsamste Bodenbelag bekannt ist (Fernandez-Fernandez et.al., 2009). Es scheint jedoch, dass die früheren Unterschiede in der mittleren Ballwechseldauer zwischen langsamen und schnellen Belägen immer geringer wird, so in Fernandez-Fernandez et.al. (2009). Fernandez et.al. (2006) beschreibt auch den Unterschied in der mittleren Ballwechseldauer, abhängig vom Niveau der Spieler bzw. Spielerinnen. Je höher das Niveau, desto härter kann der Ball geschlagen werden, das sich wiederum in einer geringeren mittleren Ballwechseldauer auswirkt.

Herzfrequenzwerte zwischen 140 und 160 Schlägen pro Minute von trainierten Spielern im Altersbereich von 20 – 30 Jahren beschreiben Fernandez-Fernandez et.al. (2009) sowie Kilit et.al. (2018), wobei in gewissen Situationen Werte von 190 bis 200 auftreten können. Die 140 – 160 Schläge/min entsprechen etwa 60 – 80% der maximalen Herzfrequenz.

Korrelierend zu den Laktatwerten, werden auch von manchen Studien höhere Herzfrequenzwerte beim Aufschlaggame als beim Returngame verzeichnet. Die eigene Spieltaktik beeinflusst ebenso die Herzfrequenzwerte, da Defensivspieler und Spielerinnen durch höhere Laufarbeit eine höhere Belastung und somit Herzfrequenzwerte aufweisen. (Kilit et.al. 2018)

Die Messung der individuellen Sauerstoffaufnahme (VO_2) ist ebenso eine Möglichkeit, um Informationen über die Spielintensität während eines Tennismatches zu erhalten. Studien, die sich mit dieser Messung beschäftigt haben, berichten von Werten zwischen $23 - 29 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$, was in etwa 50% der individuellen maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit entspricht. (Fernandez-Fernandez et.al., 2009; Kilit et.al., 2018) Korrelierend zu den Laktat- sowie Herzfrequenzwerten, sind auch die Werte für die Sauerstoffaufnahme abhängig vom Spielstil. So berichtet Kilit et.al. (2018) von Werten zwischen $25 - 36 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$ für Defensivspieler bzw. $22 - 32 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$ für Offensivspieler. Fernandez-Fernandez et.al. (2009) berichtet, dass es relativ gesehen kaum einen Unterschied zwischen den Messungen der Profis und nationale oder regionale Spielerinnen bzw. Spieler gibt.

Diese Diplomarbeit soll aufzeigen, welche Belastungen bzw. Beanspruchungen männliche Tennisspieler auf internationalem bzw. nationalem Niveau in der Wettkampfsituation stemmen müssen.

Mithilfe einer systematischen Literaturanalyse werden zur Thematik relevante wissenschaftliche Artikel gesucht, gefiltert, ausgewertet, miteinander verglichen bzw. zusammengefasst, um die Forschungsfragen zu beantworten. Entscheidend für das Forschungsergebnis ist es, die Qualität der herangezogenen Werke zu untersuchen.

1.1 Einführung in die Thematik

Im Titel der Diplomarbeit werden die Begriffe „Belastung“ bzw. „Beanspruchung“ genannt. Hottenrott & Neumann (2017) beschreiben die Begriffe Belastung bzw. Beanspruchung wie folgt:

„Der Begriff der Belastung ist als die Summe aller auf den Sportler einwirkenden Anforderungen einschließlich der biomechanischen und psychischen Belastungen aufzufassen.“ (Hottenrott & Neumann, 2017, S.56)

„Die Beanspruchung äußert sich in der unterschiedlichen Inanspruchnahme der organismischen Funktionssysteme (Herz-Kreislauf-System, Stoffwechselsystem, etc.) und ist abhängig von emotionalen und motivationalen Leistungsvoraussetzungen.“ (Hottenrott & Neumann, 2017, S.56)

Das Modell zeigt ein Belastungs-Beanspruchungs-Modell zur Individualisierung des Trainings, da gleiche Belastungen individuell unterschiedliche Beanspruchungen auslösen.

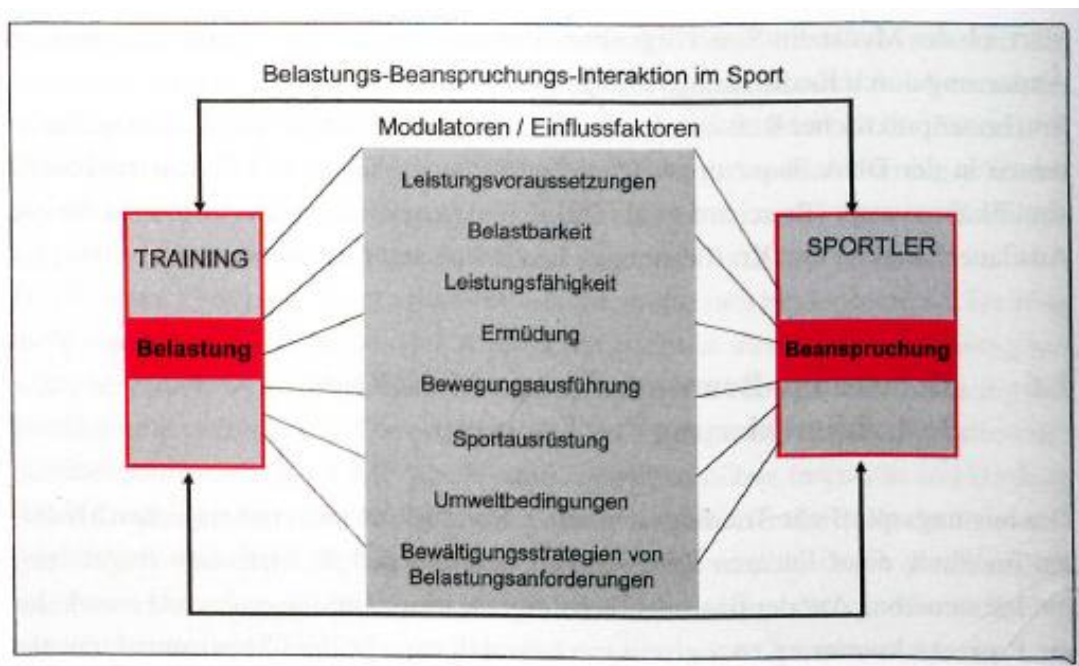


Abbildung 1: Modell der nichtlinearen Belastungs-Beanspruchungs-Interaktion im Sport (Hottenrott & Neumann 2017, S. 56)

Mit einem einfachen Modell im Sinne einer einfachen Reiz–Antwort, ist das leistungssportliche Training aufgrund seiner Komplexität nicht steuerbar, da es auf der Basis der Selbstorganisation zentralnervaler und molekularer Prozesse zu vielseitigen Interaktionen kommt. Der handelnde Sportler reflektiert die Umwelt nicht passiv, sondern selektiert die an ihm zugeführten Informationen an das Zentralnervensystem sehr gezielt. (Hottenrott & Neumann, 2017)

Das Thema der Individualisierung des Trainings ist zwar nicht Inhalt dieser Diplomarbeit, aber letzter Absatz für das Verständnis der Begriffe Belastung sowie Beanspruchung wichtig.

1.2 Ziel und Fragestellung

Ziel dieser Arbeit ist es, alle, bis dato durchgeführten Untersuchungen bezüglich der Belastungs- bzw. Beanspruchungsstruktur im Leistungstennis der Herren miteinzubeziehen und ein repräsentatives Ergebnis präsentieren zu können.

Als Maß für das Funktionsprofil des Spiels werden Ballwechseldauer, effektive Spielzeit, zurückgelegte Distanz und das Verhältnis von Belastung zu Erholung herangezogen.

Als Maß für die Intensität des Spiels werden Herzfrequenzwerte, Laktatwerte, Sauerstoffaufnahme und subjektives Belastungsempfinden herangezogen.

Hauptforschungsfrage:

Wie wirken sich die wettkampfspezifischen Belastungen im leistungsorientierten Herrentennis auf die Beanspruchungen aus?

Nebenforschungsfrage:

Können Unterschiede in der Belastungs- bzw. Beanspruchungsstruktur in Abhängigkeit von Sandplatz oder Hartplatz festgestellt werden?

1.3 Aufbau der Arbeit

Folgendes Kapitel 2 befasst sich mit den theoretischen Grundlagen des Tennissports. Einer allgemeinen Betrachtung auf den Tennissport der letzten Jahrzehnte und mehreren Versuchen diesen Sport zu beschreiben, folgt die Analyse der zeitlichen und räumlichen Dimension. Verschiedene Tabellen und Abbildungen geben Einblick in die tennisspezifische Spielstruktur, mögliche Laufwege bzw. Schlaghäufigkeiten in Abhängigkeit des Untergrundes. Unterkapitel 2.2 beschäftigt sich mit dem Beanspruchungsprofil und der Leistungsstruktur im Tennis, indem leistungsbestimmende bzw. leistungslimitierende Einflussfaktoren betrachtet werden. Einen metabolischen Überblick über die im Tennis vorwiegend notwendigen Stoffwechselvorgänge bietet Kapitel 2.4, bevor noch ein Blick auf die psychologische Komponente geworfen wird.

In Kapitel 3 wird die Methodik und die Datenbankrecherche zur systematischen Literaturanalyse beschrieben und erklärt. Die einbezogenen Studien, die durch Ein- und

Ausschlusskriterien angenommen wurden, werden aufgelistet, beschrieben und tabellarisch aufbereitet.

Die Zusammenfassung der Untersuchung ist Gegenstand von Kapitel 4 und befasst sich mit den Ergebnissen der eingeschlossenen Studien. Hauptforschungsfrage und Nebenforschungsfrage werden beantwortet.

Im folgendem Kapitel 5 Resümee und Ausblick, werden die Ergebnisse der Forschung interpretiert und mögliche Beschränkungen der Untersuchung aufgezeigt. Zusätzlich wird auf Basis der Ergebnisse eine Empfehlung für weiterführende Forschung gegeben.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Tennis – eine allgemeine Sportartanalyse

Das aktuelle Hochleistungstennis der Herren hat mit dem Tennis der 80er und 90er Jahre bezüglich Dynamik, Ballgeschwindigkeiten und Athletik nur mehr wenig miteinander zu tun. Ursachen dafür sind u.a. die moderne Tennistechnik (starke Körperverschwendung während des Schlages), die Schlägertechnologie, die neue Strategie der Spielerpositionierung knapp hinter bzw. an der Grundlinie und somit das Schlagen des Balles im oder vor dem Kulminationspunkt, sowie die bessere Athletik der Spieler trotz stetig steigendem Körpergrößendurchschnitt. Aufschlaggeschwindigkeiten von über 200 km/h gehören ebenso dazu wie Winnergeschwindigkeiten der Grundlinienschläge von ca. 130 km/h, um in der Weltspitze mitspielen zu können. (Schönborn, 2016)

Beim Vergleich von Junioren bzw. Juniorinnen zu den Profis, liegt der größte Unterschied an den körperlichen Anforderungen des Spiels, zusätzlich spielen professionelle Spieler und Spielerinnen genauer und mit höheren Geschwindigkeiten. Dies sind für Nachwuchsspieler die großen Herausforderungen beim Eintritt in den professionellen Sport. (Kovalchik & Reid, 2017)

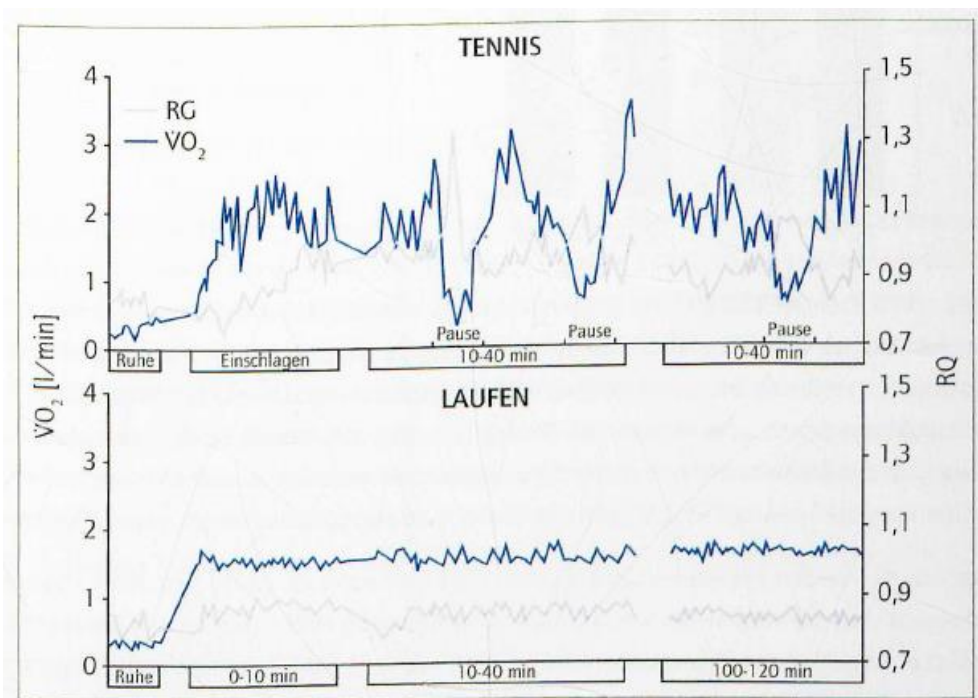


Abbildung 2: Sauerstoffaufnahme (VO_2) und respiratorischer Quotient (RQ) beim Tennis und Laufen (Ferrauti et.al., 2014, S. 19)

Die Grafik zeigt eine Gegenüberstellung der Sauerstoffaufnahme und des respiratorischen Quotienten während eines Tennismatches und beim Laufen mit identischem Energieumsatz.

Die strukturellen und demzufolge physiologischen Unterschiede der beiden Beanspruchungsformen sind deutlich zu erkennen.

Die Belastungsspitzen mit höherer kardiopulmonaler Auslastung und erhöhtem Kohlenhydratstoffwechsel deuten darauf hin, dass ein Ausdauertraining rein mit der Dauermethode, dem Beanspruchungsprofil des Tennissports nicht gerecht wird. Ein häufig vernachlässigter Aspekt der Beanspruchungsstruktur im Tennis ist die Schlagaktivität, die einen großen Anteil der energetischen Beanspruchung einnimmt. Eine Untersuchung mit Turnierspielern der regionalen Klasse zeigte, dass die Ausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei einem intensiven Schlagtraining „aus dem Stand“ bei über 80% lag. (Ferrauti et.al., 2014)

Die gebräuchlichsten Spielflächen fürs Profi- aber auch fürs Freizeittennis sind Sand- und Hartplätze. Die ITF (International Tennis Federation) stuft die Geschwindigkeiten dieser Plätze mit ‚langsam‘, ‚mittel‘ oder ‚mittelschnell‘ ein. Spielgeschwindigkeiten werden hauptsächlich durch den Reibungskoeffizienten (= Reibung zwischen Ball und Spielfläche) bestimmt. Je mehr Reibung, desto langsamer wird der Ball. Langsame Spieloberflächen ermöglichen es den Spielerinnen und Spielern, die z.B. vermeintlich schwächere Rückhand zu umlaufen, um den Ball mit der stärkeren Vorhand zu schlagen. Ein Umlaufen erhöht aber auch die zurückgelegte Distanz, um zu einer zentralen Position zurückzukehren.

Langsame Tennisplätze mit einem hohen Reibungskoeffizienten führen zu einem hohen und relativ sanften Absprung des Balles, wodurch mehr Zeit bleibt um den Ball zu schlagen und daher zu längeren Rallys von der Grundlinie. Auf der anderen Seite ermöglichen schnelle Tennisplätze mehr offensive Spielsituationen.

Aufgrund dieser Tatsachen, wird auch der strategische Plan vor einem Match im Profitennis von der Oberfläche beeinflusst, auf der die Spiele ausgetragen werden. Es ist durchaus möglich, dass Stoffwechselvorgänge und funktionelle Reaktionen (z.B. Spielzeit, effektive Spielzeit, Verhältnis von Belastung zu Erholung, etc.) von der Spielfeldoberfläche beeinflusst werden. Dies soll die in Kapitel 1.2 formulierte Nebenforschungsfrage beantworten. (Murias et.al., 2007)

Tennis als Sportspiel verfügt wie andere Sportspiele (z.B. Fußball, Rugby, Volleyball, etc.) über gemeinsame Kennzeichen, daher möchte ich nun an diesem Punkt ein paar Zeilen über das Sportspiel generell verlieren.

Ein gemeinsames Kennzeichen aller Sportspiele ist der intermittierende, unregelmäßige und unvorhersehbare Wechsel von Laufintensitäten und Sprungvarianten, kombiniert mit schnellkräftigen Aktionen der oberen und unteren Extremitäten. Diese Aktionen, meist unter

hohen kognitiven (Wahrnehmungs- und Präzisionsdruck) Beanspruchungen, sind von Erholungsphasen von ebenfalls unregelmäßiger Dauer unterbrochen. Sportspiele generell zeichnen sich dadurch aus, dass ein wesentlicher Anteil der zurückgelegten Distanz im Sprint absolviert wird, wobei die Distanzen sehr stark von der Spielfeldgröße und der Spielfeldgröße-Spielerzahl-Relation abhängig ist. Gemessen an der Bruttospielzeit wird jedoch ein beachtlicher Anteil als vollständige Pause (Seitenwechsel, Halbzeitpause, Drittel- oder Viertelpause) oder mit geringer bis mittlerer Intensität (z.B. Gehen oder Traben) verbracht. Das Belastungsprofil aller Sportspiele, kann somit als extensive und intensive Kurzzeit-Intervall-Belastung bzw. als variable Dauerbelastung charakterisiert werden (Ferrauti, 2006).

2.2 Beanspruchungsprofil und Leistungsstruktur im Tennis

„Unter dem Begriff des Beanspruchungsprofils (teilweise synonym zu Anforderungsprofil) werden üblicherweise die zählbaren bzw. messbaren motorisch-technischen Aktivitäten sowie die psychologisch und physiologisch quantifizierbaren Reaktionen während Tennistraining und Tennisswettkampf zusammengefasst.“ (Ferrauti et.al., 2014, S. 19)

Pluim & Safran (2004) verweisen darauf, dass es schwierig und komplex ist, die physiologische Beanspruchung beim Tennis zu definieren, aufgrund der Start-Stopp-Bewegungen und aufgrund der hohen technischen und taktischen Anforderungen.

Eine etwas überspitzte Beschreibung formuliert Dangel (2000):

„Das heutige schnelle und aggressive Tennisspiel verlangt den körperlich austrainierten und fitten Athleten. Der Tennisspieler muss

- ✓ ausdauernd wie ein Marathonläufer,
- ✓ schnell wie ein Sprinter,
- ✓ kräftig wie ein Bär und
- ✓ gelenkig wie ein Turner sein.“ (Dangel, 2000, S. 5)

Verschiedene Möglichkeiten Tennis zu definieren bzw. Tennis zu betrachten:

„Tennis is an ... intermittend high intensity exercise, and the energy demands differ either pure sprinting or pure endurance running. The sport requires elements of quickness, endurance, strength, flexibility, reaction time and speed, agility and co-ordination.“ (Pluim & Safran, 2004, S. 17)

„Beim Tenniswettkampf handelt es sich um eine überwiegend azyklische Kurzzeit-Intervallarbeit der gesamten Körpermuskulatur (obere und untere Extremitäten sowie Rumpfmuskulatur) mit überwiegend extensiven und teilweise intensiven und schnellkräftigen Belastungsphasen von variabler und unvorhersehbarer Dauer.“ (Ferrauti, Maier & Weber, 2014, S. 19)

„Tennis is characterised by quick starts and stops, repetitive overhead motions, and the involvement of several muscle groups during the different strokes, which fluctuate randomly from brief periods of maximal or near maximal work to longer periods of moderate and low intensity activity. Tennis match play is characterised by intermittent exercise, alternating short (4–10 second) bouts of high intensity and short (10–20 second) recovery bouts, interrupted by several periods of longer duration (60–90 seconds).“ (Fernandez et.al., 2006, S. 387)

Kaum eine andere Sportart, ist durch eine ähnliche Vielzahl an Einflussfaktoren gekennzeichnet wie der Tennissport. (Ferrauti et. al., 2014; Schönborn, 2016)

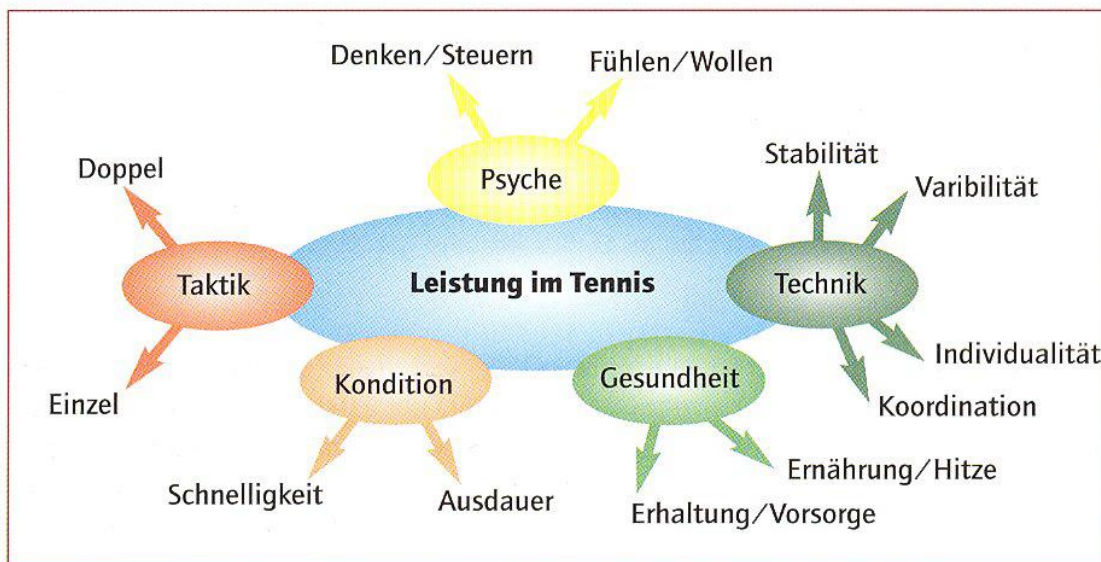


Abbildung 3: Modell der Leistungsfaktoren im Tennis (Ferrauti et al., 2006, S. 12)

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, setzt sich die Leistungsfähigkeit im Tennis aus einem Netzwerk von Einflussfaktoren zusammen.

„Tennis performance is multifactorial, reflected by a sophisticated integration of physiological, biomechanical, psychological, and perceptual elements, all having considerable influence on the outcome of a match.“ (Hornery, Farrow, Mujika, Young & Pluim, 2007, S. 531)

Auch Hoppe et.al. (2015) behauptet, dass der Erfolg im Tennis multifaktoriell bestimmt ist, die Schlagfähigkeiten aber Schlüsselfaktoren sind.

Je nach Bodenbelag, Spielertyp, Witterungsbedingungen und auch Bedeutung des Turniers, treten einzelne Faktoren stärker in den Vordergrund als andere. Um Tennis auf Weltniveau ausüben zu können, und unter dem Aspekt, dass die Leistungsdichte immer mehr zunimmt, darf keiner der Faktoren nur unterdurchschnittlich ausgeprägt sein. (Ferrauti et.al., 2006)

Für den dauerhaft erfolgreichen Spieler bzw. die dauerhaft erfolgreiche Spielerin reicht es nicht, einzelne Leistungskomponenten in überragender Weise auszubilden und dabei andere, ebenfalls bedeutsame Leistungskomponenten zu vernachlässigen. (Ferrauti et.al., 2014)

Von einer sehr anspruchsvollen Sportart, speziell durch die Entwicklung der letzten beiden Jahrzehnte schreibt auch Hoppe, Baumgart & Freiwald (2015). Um mit diesem Fortschritt Schritt halten zu können, ist das Wissen über mechanische Belastungen und physiologische Reaktionen der Spieler/innen während des Spiels notwendig. Zu diesem Zweck wurden in den letzten Jahren tragbare Geräte mit GPS (Global Positioning System) und Trägheitssensoren (u.a. zur Beschleunigungsmessung) häufig eingesetzt, um diese mechanischen Belastungen in Bezug auf Laufaktivitäten zu untersuchen. Tennis als intermittierende Sportart hat aber neben dem Laufen aber auch noch andere mechanische Belastungen, wie z.B. Sprünge (Split-Steps) die mit GPS-Daten nicht quantifiziert werden können. Daher wurden auch sogenannte triaxiale Beschleunigungssensoren, Gyroskope und Magnetometer in GPS-Geräte integriert, um damit die gesamte mechanische Belastung bestimmen zu können. (Hoppe et.al., 2015)

Die in Abbildung 3 skizzierten leistungslimitierenden Faktoren zu strukturieren und zu hierarchisieren, wird aufgrund der Heterogenität und Komplexität der alters- und geschlechtsspezifischen Anforderungen in der Praxis auf wenig Resonanz stoßen, so Ferrauti et. al. (2014).

Auf den in obiger Abbildung erwähnten Punkt der Gesundheit (Ernährung/ Hitze) möchte ich hier noch kurz eingehen, obwohl dieser Aspekt relativ locker eine ganze Diplomarbeit füllen würde.

Hornery et.al. (2007) haben die physiologischen Reaktionen bei Tennisspielern unter dem Einfluss der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, etc. untersucht. Zusätzlich gibt es noch

umfangreiche Untersuchungen die nachweisen, dass Hypohydrationszustände die kognitive sowie motorische Leistungsfähigkeit beeinträchtigen.

Da Tennisspiele oft unter thermisch schwierigen Bedingungen gespielt werden, die das Risiko einer Leistungsver schlechterung und eine Beeinträchtigung der Gesundheit mit sich bringen, sollte zur Vorbereitung und zur Erholung von Matches bzw. zur Vorbereitung und zur Erholung von intensiven Trainingseinheiten mehr getrunken werden. Hyperhydration vor dem Training bzw. vor einem Match wird thermoregulatorische Vorteile zugeschrieben, wie etwa ein früheres Auftreten von Schwitzen und ein geringerer Anstieg der Körperkerntemperatur.

In Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen zu lang andauernden Matches, ergab die Studie von Hornery et.al. (2007), dass sich keine Hypoglykämie während des Matches zeigt. Die Einnahme von kohlenhydrathaltigen Getränken dürfte ausreichen, um die erhöhte Glukoseaufnahme der aktiven Muskulatur auszugleichen.

Über die Ursachen von Sieg und Niederlage, über die notwendigen Trainingsschwerpunkte und über die besonderen Merkmale eines Tennistalents wird auch in Zukunft diskutiert werden. In den aktuellen Diskussionen wird vor allem der besondere Stellenwert der willentlichen, kognitiven und emotionalen psychischen Faktoren betont. Um langfristig erfolgreich zu sein, benötigt es eine stabile psychische Einstellung. Diese allein reicht aber auch nicht aus, wenn es dem Spieler/ der Spielerin nicht gelingt, aufgrund starker technischer und oder konditioneller Schwächen, sich einen Matchball zu erspielen.

Ausnahmespieler wie Roger Federer, Rafael Nadal und Novak Djokovic etablieren sich schon so lange in der absoluten Weltspitze, da sie weitgehend ohne Defizite agieren. Die Kompensation einzelner, unzureichend ausgebildeter Leistungsmerkmale wird aufgrund der zunehmenden Leistungsdichte schwieriger. (Ferrauti et. al., 2014)

Um langfristig erfolgreich zu sein, sind neben all den leistungsbestimmenden Faktoren aber auch noch andere Aspekte wesentlich. Nur wer ohne (Anm.: längere und wiederkehrenden) Verletzungspausen die hohen Trainingsbelastungen aushält, wird langfristig erfolgreich sein können. Aus orthopädischer und internistischer Sicht sind somit alle Bemühungen zur Verletzungsprophylaxe und Gesunderhaltung notwendig. (Ferrauti et. al., 2014)

Anmerkung:

Aktuelles Negativbeispiel ist der Argentinier Juan Martin del Potro. Als Grand-Slam-Sieger (US Open 2009), mehrfacher Turniersieger und ehemals Nr. 3 der ATP-Weltrangliste ist er durch immer wiederkehrenden Handgelenksverletzungen mit einhergehenden Operationen dazu gezwungen, lange Pausen einzulegen. Ihm scheint es offensichtlich verwehrt zu bleiben, sein gesamtes Potential ausschöpfen zu können. Ich bin davon überzeugt, dass del Potro ohne

diese Probleme auch in die Sphären von den großen Dreien (Federer, Nadal und Djokovic) eindringen hätte können.

Unverzichtbare Grundlage für eine langfristige, individuell optimale Leistungsentwicklung ist die Ernährung. Diese sollte ausgewogen und den Anforderungen angemessen sein. Ferrauti et. al (2014) betont, dass dies bereits im Kindes- und Jugendalter durch das Trainingsumfeld und das Elternhaus vermittelt werden soll, um die Nachwuchsspieler/innen zu mündigen Athleten zu erziehen.

Neben der bereits erwähnten psychischen Leistungskomponente, berichtet Ferrauti et. al. (2014), dass verschiedene empirische Befunde auf internationalem Niveau für eine Zunahme der Bedeutung der konditionellen Voraussetzungen für die Tennisleistung sprechen. Vor allem der Schlaggeschwindigkeit als komplexes Produkt aus intermuskulärer Koordination, Schnelligkeit und Kraft wird eine Sonderstellung zugeordnet. Natürlich dürfen die anderen leistungslimitierenden Faktoren wie Laufschnelligkeit (Start- und Beschleunigungsfähigkeit sowie Reaktivkraft und Sprungkraft), die tennisspezifische Ausdauer und die Rumpfkraft in der täglichen Trainingsarbeit nicht vergessen werden.

Generell sollte das Training dem wettkampftypischen Beanspruchungsprofil möglichst nahekommen. Neben den tennisspezifischen Schlägen und der tennisspezifischen Beinarbeit, sollen die notwendigen Energiestoffwechselwege berücksichtigt und trainiert werden.

2.2.1 Zeitliche Dimension des Tennissports

Im Gegensatz zu anderen Sportspielen (z.B. Fußball, Basketball oder Handball) ist der Tennissport zeitlich nicht reglementiert (Anm.: Ausnahme ist die Dauer der Pause beim Seitenwechsel bzw. die Dauer zwischen zwei Ballwechsel), was zu mehrstündigen Spielzeiten führen kann.

Kurze intensive Belastungen (vorrangig 2 bis 9 Sekunden) mit längeren Erholungsphasen (Anm.: aktuell maximal 25 Sekunden) zwischen den Ballwechseln wechseln sich regelmäßig ab (Ferrauti et.al., 2014; Pluim & Safran, 2004; Hoppe, et.al., 2015) wodurch es zu einer intervallartigen Belastung kommt.

Die intervallartige Belastung über eine nicht vorhersagbare Dauer (i.d.R. ~ 1,5 Stunden bis zu 6 Stunden) wird durch Pausen von 90 Sekunden beim Seitenwechsel und eine 2-minütige Satzpause verstärkt. (Hoppe, et.al., 2015, S. 2)

Längere Ballwechsel von 10 Sekunden und mehr sind selten, aber dennoch möglich. Aufgrund des weitgehend zufälligen Resultats von Ballwechseldauer und Intensität der Ballwechsel, schwanken im Matchverlauf auch dementsprechend die Blutlaktatkonzentrationen. (Ferrauti et.al., 2014) Mehr dazu im Kapitel 2.3 Metabolische Aspekte im Tennissport.

Die tatsächlich effektive Spielzeit gibt Schönborn (2016) mit ca. 17,9 % an. Ferrauti et.al. (2014) differenziert bei der mittleren effektiven Spielzeit zwischen Sandplatz mit 16,2% und auf Hartplatz mit 13,8%.

Auf internationalem Niveau kann man beim Spiel auf Hartplätzen die Tendenz beobachten, dass die Beläge langsamer werden, womit es zu einer Angleichung der Spiel- und Pausenzeiten zwischen Sand- und Hartplätzen kommt. Durch die Angleichung von Sandplatz- und Hartplatztennis ist es herausragenden Sandplatzspielern wie z.B. Rafael Nadal möglich, ohne wesentliche Systemänderung auch auf Hartplätzen erfolgreich zu sein. (Ferrauti et.al., 2014)

Individuelle, spieltypenbezogene Unterschiede in der zeitlichen Dimension gibt es. Keine wesentlichen Unterschiede in der zeitlichen Dimension finden sich allerdings zwischen verschiedenen Spielklassen, so Schönborn (2016). Pereira et.al. (2016) beschreibt durch eine Studie von Fernandez-Fernandez, Sanz-Rivas, & Sanchez-Munoz, et. al. (2009) Ballwechseldauer von $6,4 \pm 4,1$ s für erwachsene fortgeschrittene Spieler/innen und $7,6 \pm 5,5$ s für erwachsene freizeitorientierte Spieler/innen. Die von Pereira et.al (2016) untersuchten Spiele wurden im Zuge eines ATP Future Turniers analysiert, jeweils die ersten beide Sätze. Ballwechseldauer im Mittel von 4,6 s im 1. Satz und 4,3 s im 2. Satz weisen auf aggressiveres Spielverhalten hin. Die von Schönborn getroffene Aussage, dass es zwischen verschiedenen Spielklassen keine wesentlichen Unterschiede in der Ballwechseldauer gibt, muss somit kritisch betrachtet werden. Durch Beobachtungen der Spielstrategien der letzten Jahre im professionellen Herrentennis konnte ich feststellen, dass die Spielweise der absoluten Topspieler durchgehend aggressiver wurde, d.h. sie gehen schneller auf den Punkt, was wiederum die Dauer der Ballwechsel verkürzt.

Wie die folgende Grafik zeigt, gibt es aber nicht nur individuelle, spieltypenbezogene Unterschiede in der zeitlichen Dimension, sondern ändert sich die Belastungszeit auch stark von der eigenen Taktik bzw. von der Taktik des Gegners. Treffen zwei Grundlinienspieler aufeinander, wird die Belastungszeit höher sein, als wenn einer der Kontrahenten eine aggressivere Taktik wie z.B. Aufschlag-Volley bevorzugt.

Ferrauti et.al. (2014) zeigt dies durch folgende Grafik.

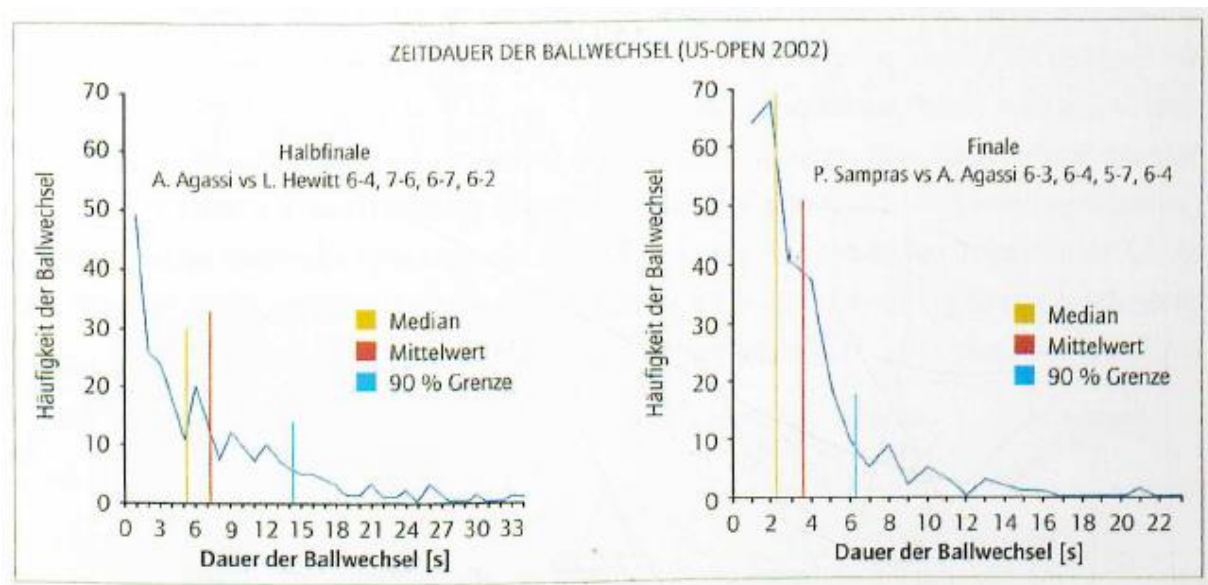


Abbildung 4: Ballwechseldauer bei den US Open in Abhängigkeit von der gegnerischen Spieltaktik (Ferrauti et.al., 2014, S. 21)

Im Halbfinale der US Open 2002 betrug die Ballwechseldauer zwischen Agassi und Hewitt (Anm.: beide tendenziell Grundlinienspieler) im Mittel 7,3s. Im Finale zwischen Agassi und Sampras (Anm.: Sampras spielte tendenziell aggressiver von der Grundlinie bzw. auch öfters Aufschlag-Volley), sank die Ballwechseldauer im Mittel auf 3,6s.

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht für die Spieldauer pro Punkt aus gesammelten Daten von Grand Slam Turnieren aus den Jahren 2008 und 2009.

Tabelle 1: Spieldauer für einen Punkt (erstellt nach Angaben von Schönborn, 2016, S. 135)

Herrentennis	
Durchschnittliche Zeitdauer für einen Punkt auf Gras	2,9 s
Durchschnittliche Zeitdauer für einen Punkt auf Hartplätzen	5,9 s
Durchschnittliche Zeitdauer für einen Punkt auf Sandplätzen	6,8 s
Damentennis	
Durchschnittliche Zeitdauer für einen Punkt auf Gras	5,9 s
Durchschnittliche Zeitdauer für einen Punkt auf Hartplätzen	5,4 s
Durchschnittliche Zeitdauer für einen Punkt auf Sandplätzen	7,8 s

Angelehnt an die obige Tabelle, hat Murias, J. M., Lanatta, D., Arcuri, C. R., & Laiño, F. A. (2007) u.a. die Ballwechseldauer von leistungsorientierten aber jugendlichen Spielern untersucht und zwischen Sandplatz und Hartplatz differenziert. Am Sandplatz wurde im Mittel eine Ballwechseldauer von 8.8 ± 5.3 s und am Hartplatz wurde im Mittel eine Ballwechseldauer von 7.2 ± 4.4 s beobachtet. Im Durchschnitt bei den jugendlichen Spielern somit eine längere Ballwechseldauer als auf Grand Slam Ebene.

Die Ballwechseldauer bei Martin et.al. (2011) wiesen signifikante Unterschiede zwischen Sandplatz und Hartplatz auf. High level players (ITN 1-3) haben gegeneinander jeweils auf Sandplatz und Hartplatz Testmatches bestritten. Dabei wurden mittlere Ballwechseldauer von 8.5 ± 0.2 s vs. 5.9 ± 0.5 s (Sandplatz vs. Hartplatz) gemessen.

Im allgemeinen Teil dieses Kapitels wurden die hohen Ballgeschwindigkeiten beim Aufschlag aber auch bei den Grundlinienschlägen beschrieben. Dadurch ergeben sich Ballflugzeiten von 450–900 ms. Die normale Reaktionszeit inklusive der Bewegung zum Ball und der notwendigen Schlagausführung würde hier nicht ausreichen, um den Ball retour schlagen zu können. Umso wichtiger werden Wahrnehmung und Antizipation. (Schönborn, 2016)

Antizipation ist auch eine wesentliche Fähigkeit, um Schläge unter Zeitdruck möglichst zu verhindern. Bei den French Open 2007 verweist Schönborn (2016) auf einen signifikanten bzw. hoch signifikanten Anstieg der Fehlerquote bei Schlägen unter ansteigendem Zeitdruck, denn je stärker der Körperschwerpunkt unmittelbar vor dem Treffpunkt des Balles von der beabsichtigten Schlagrichtung abweicht, umso schwieriger wird es, den Ball „sauber“ im Treffpunkt zu schlagen und dadurch eine hohe Schlagpräzision zu erreichen. Eine Verbesserung der Antrittsschnelligkeit (inkl. Antizipation) mit einer Präzisierung der schlagnahen Beinarbeit führt zu einer Reduzierung der Schläge unter Zeitdruck.



Abbildung 5: Fehlerquote in Abhängigkeit von Laufweg und Zeitdruck (ZD) (Ferrauti et.al., 2014, S. 22)

In der Grafik von Ferrauti et.al. (2014) wurden jeweils alle Spiele ab dem Viertelfinale bei den US Open 2006 und den French Open 2007 untersucht und es konnte festgestellt werden, dass die Fehlerquote mit steigendem Zeitdruck exponentiell ansteigt. Schläge unter Zeitdruck sollten demnach in der Trainingspraxis Beachtung geschenkt werden, da sie entscheidend über Sieg oder Niederlage sein können.

2.2.2 Räumliche Dimension

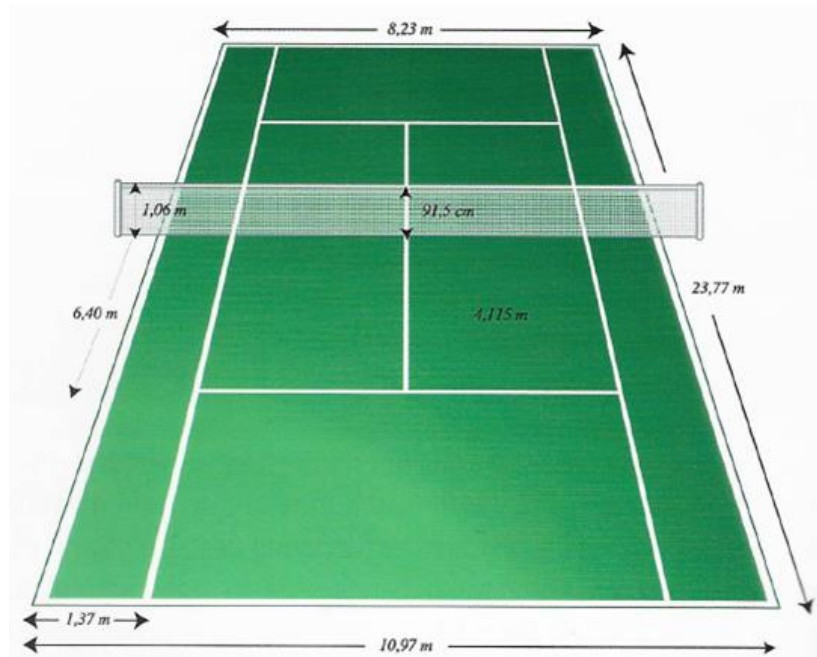


Abbildung 6: Ausmaße eines Tennisplatzes (Schönborn, 2016, S. 137)

Aufgrund der normierten Ausmaße eines Tennisplatzes sind die Laufdistanzen stark eingeschränkt. Zwischen zwei Schlägen werden nach SCHÖNBORN (2016) etwa 3 – 7m zurückgelegt. Für Ferrauti et.al. (2014) bei etwa 80% aller Schläge sogar weniger als 3m. In ca. 20% aller Schlagsituationen muss der Spieler unter mehr oder weniger großem Zeitdruck den Ball schlagen, mit maximalen Laufwegen von 9-12m.

Bei einer durchschnittlichen Schlagfolge von circa 3 Schlägen pro Punkt, kann eine Laufdistanz im Durchschnitt von etwa 14 – 15 m angenommen werden. (Schönborn, 2016) Bei der Analyse von Pereira et.al. (2016), legten die Spieler pro Ballwechsel im 1. Satz eine Distanz von 5.8 ± 7.2 m (Mittel $\pm$ Standardabweichung) und im 2. Satz eine Distanz von 5.3 ± 6.6 m zurück. Unabhängig von der Höhe der zurückgelegten Distanz, beschreibt Hoppe et.al. (2015) einen Unterschied zwischen Gewinner und Verlierer eines Ballwechsels. So legt der Verlierer eines Ballwechsels etwa 10% mehr Distanz zurück als der Gewinner des Ballwechsels.

Hochgerechnet auf ein Match legt der Spieler eine Strecke von ungefähr 1300 – 2500 m zurück, abhängig von Anzahl der Spiele im Match. Auf Grand Slam Ebene im Herrentennis bei einem Fünfsatzmatch dementsprechend mehr. (Schönborn, 2016)

In einer Untersuchung von Hoppe et.al. (2015), legten 20 erwachsene Tennisspieler in einem Testmatch (Best of 3) im Mittel 3244 m zurück. Die zehn Gewinner absolvierten 3354 ± 931 m (Mittel $\pm$ Standardabweichung), die zehn Verlierer 3135 ± 891 m. Martinez-Gallego et.al. (2013) schreibt von einer zurück gelegten Distanz des Gewinners eines professionellen Tennismatches von 3705 m im Vergleich zu 3045 m des Verlierers.

Im Mittel bewegten sich die Gewinner bei Hoppe et.al. (2015) auch längere Zeit (in Sekunden) in den höheren Geschwindigkeitsbereichen (1-2 m/s: 1391 vs. 1224, 2-3 m/s: 92 vs. 79, 3-4 m/s: 20 vs. 18 und ≥ 4 m/s: 10 vs. 7) als die Verlierer. Nur im ganz langsamen Geschwindigkeitsbereich von 0-1 m/s, waren die Gewinner mit 3521 vs. 3707 Sekunden weniger lang in einem Geschwindigkeitsbereich als die Verlierer. Die Gewinner waren also, wenn sie sich bewegt haben, im Durchschnitt schneller unterwegs als die Verlierer und legten in Summe auch eine größere Laufdistanz zurück. Unterschiede zwischen Gewinnern und Verlierern gab es auch in Bezug auf die Bewegungsrichtung. Die Gewinner führten eher Beschleunigungen in die Vorhandecke aus, wohingegen man bei den Verlierern mehr Beschleunigungen in die Rückhandecke aufzeichnen konnte.

Schönborn (2016) verweist bezüglich den Sprintdistanzen auf eine Untersuchung bei den Australian Open 2007, bei der sieben Herrenmatches analysiert wurden. Im Mittel wurden 121 Kurzsprints zur Seite und „nur“ 28 Kurzsprints nach vorne beobachtet. Auch Ferrauti et.al. (2014) betont, dass eindeutig der Lauf zur Seite (speziell zur Vorhandseite) an der Grundlinie mit 81,1% dominiert, während ein Sprint nach vorne mit 13% eher selten notwendig ist. Eine ähnliche Tendenz beschreibt Pereira et.al. (2016) mit im Mittel 92,5 (1. Satz) bzw. 59,5 (2. Satz) Bewegungen zur Seite und 25 (1. Satz) bzw. 15 (2. Satz) Bewegungen nach vorne.

Für das tennisspezifische Schnelligkeitstraining bedeutet dies, dass mehr Aufmerksamkeit auf die Kurzsprints zur Seite in Kombination mit präziser Beinarbeit gelegt werden sollte. Das methodische Mittel der Wahl sind Schlagfolgen unter Zeitdruck, jedoch unter strenger Kontrolle der Antrittsschnelligkeit und der anschließenden Schlagausführung. (Schönborn, 2016)

Pereira et.al. (2016) analysierte vier Matches von acht männlichen Tennisspielern (Niveau: ATP Future) und beschreibt eine zurückgelegte Gesamtdistanz von 3160 ± 880 m. Die Studie wies auch noch die Sätze einzeln aus mit 1702 ± 448 m im 1. Satz und 1457 ± 678 m im 2. Satz.

2.2.3 Schlaghäufigkeiten

Die Schlaghäufigkeiten bei einem Ballwechsel variieren sehr stark vom Belag auf dem gespielt wird. Auf Rasen ist das Absprungsverhalten des Balls flach und schnell und ist somit der schnellste Belag, gefolgt vom Hartplatz und schließlich dem Sandplatz, auf dem das Absprungsverhalten des Balls am höchsten ist und somit der Langsamste der drei Beläge ist.

Dies spiegelt sich in der von Schönborn (2016) publizierten Grafik wider:

Tabelle 2: Durchschnittliche Schlaghäufigkeiten innerhalb eines Punktes (erstellt nach Angaben von Schönborn, 2016)

Durchschnittliche Schlaghäufigkeiten innerhalb eines Punktes	
Belag	Anzahl der Schläge
Gras	2,1
Hartplatz	5,1
Sandplatz	6,8

Anzumerken ist, dass es speziell auf Hartplätzen eine große Bandbreite bezüglich dem Absprungsverhalten des Balls gibt. Manche Hartplätze sind „schnell“, d.h. der Ball wird durch den Bodenkontakt wenig gebremst und springt flach weg. Manche Hartplätze sind eher „langsam“, d.h. der Ball wird durch den Bodenkontakt stärker gebremst und springt höher weg. In einem kürzlich ausgestrahlten Video hat Dominik Thiem die relativ langsamen Verhältnisse beim Masters 1000 Turnier in Indian Wells (Hartplatzturnier) angesprochen. „Langsame“ Hartplätze ähneln bezüglich dem Spielverhalten schon sehr einem Sandplatz und kommen dadurch den Grundlinienspielern entgegen. Ein Spieler mit einem sehr schnellen Aufschlag bzw. mit der taktischen Grundausrichtung die Ballwechsel kurz zu halten, bevorzugen dementsprechend „schnelle“ Hartplätze.

Wie sich die Art des Untergrundes auf das Spiel auswirken kann, zeigt auch diese Auflistung:

Tabelle 3: Prozentuale Auflistung der Schlaghäufigkeit/ Ballwechseldauer in Abhängigkeit vom Untergrund (Schönborn, 2016, S. 136)

Ballhäufigkeit und Zeit		Hartplätze	Grasplätze	Sandplätze
1-4 x unter 5 s	Männer	56-65 %	80-86 %	42-56 %
	Frauen	50-62 %	60-75 %	30-32 %
5-8 x unter 10 s	Männer	22-24 %	11-15 %	30-32 %
	Frauen	20-22 %	18-20 %	30-32 %
9 x und mehr über 10 s	Männer	8-10 %	0-1 %	17-22 %
	Frauen	15-20 %	5-10 %	32-35 %

Im folgenden Absatz konzentriert sich die Auflistung auf die Beschreibung der Männer (jeweils obere Zeile in der obigen Tabelle).

- Der Grasplatz zeigt eklatante Unterschiede in der Ballwechseldauer, wodurch bestätigt wird, dass Rasen der „schnellste“ Belag ist. 80-86% der auf Rasen gespielten Punkte werden innerhalb der ersten 4 Schläge entschieden. Nur bei 1% aller Punkte werden 9 oder mehr Schläge benötigt.
- Am Hartplatz sinken die kurzen Ballwechsel bis maximal 4 Schläge auf 56-65%. Immerhin fast jeder 10. Punkt (8-10%) wird bei einem Ballwechsel entschieden, der 9 oder mehr Schläge andauert.
- Auf Sandplatz zeigen sich die drei Kategorien (1-4 Schläge, 5-8 Schläge und 9 oder mehr Schläge) schon recht ausgeglichen. 42-56% der Punkte können immer noch als kurze Ballwechsel bezeichnet werden und werden innerhalb der ersten 4 Schläge entschieden. Fast jeder 3. Punkt (30-32% aller Punkte) dauert zwischen 5 und 8 Schläge und immerhin fast jeder 5. Punkt (17-22%) kann als Sandplatzrally bezeichnet werden und dauert 9 oder mehr Schläge an.

An dieser Stelle möchte ich anmerken, dass Tennis der einzige Rückschlagsport ist, der auf unterschiedlichen Bodenbelägen gespielt wird. Andere Rückschlagsportarten (Tischtennis, Badminton, Volleyball, etc.) werden immer auf dem gleichen Bodenbelag gespielt.

Aufgrund der unterschiedlichen Bodenbeläge und der daraus resultierenden unterschiedlichen Ballwechseldauer und auch Spieltaktik, haben sich in der Tenniselite Spezialisten entwickelt. So z.B. der US-Amerikaner John Isner. Mit einer Körpergröße von 2m08cm und einem dementsprechend dominanten Aufschlag, feierte seine größten Erfolge auf „schnellen“

Belägen. Von seinen 15 Einzeltiteln auf der ATP World Tour, konnte er bisher 4 auf Rasen, 10 auf Hartplatz und „nur“ einen auf Sand gewinnen.⁵ Der ehemalige spanische Tennisprofi David Ferrer mit einer Körpergröße von 1m75cm und einem dadurch nicht so dominanten Aufschlag, war als Sandplatzspezialist bekannt. So feierte er 13 von seinen insgesamt 27 Turniersiegen auf Sand, 12 auf Hartplätzen und lediglich 2 auf Rasen.⁶

Im Jahr 2019 veranstaltet die ATP (Association of Tennis Professionals, die Vereinigung der professionellen männlichen Tennisspieler) in Summe 62 Turniere. 35 finden davon auf einem Hartplatz, 20 auf einem Sandplatz und 7 auf einem Rasenplatz statt.⁷

Schönborn (2016) gibt an, dass bei den French Open (Anm.: Sandplatzturnier) von 2009 durchschnittlich über 50% aller Ballwechsel spätestens nach 4 Schlägen beendet waren (Herren wie Damen). Bei den Herren entfielen bei den French Open 2009 sogar 62,8% aller Punktgewinne auf die ersten 4 Schläge.

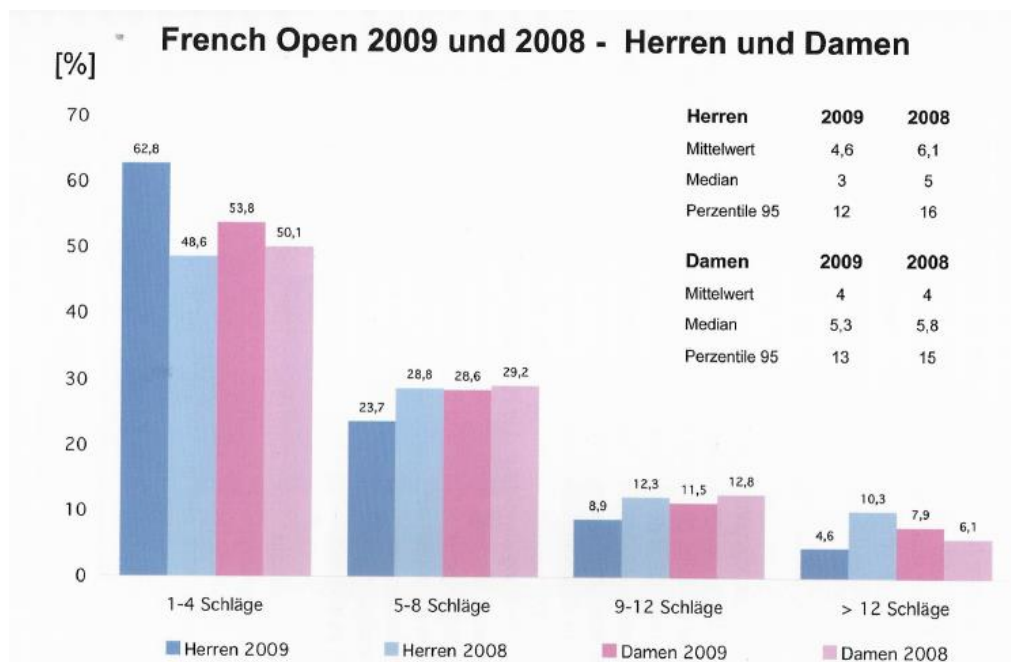


Abbildung 7: Schlaghäufigkeit bis zum Punktgewinn auf Sand (Schönborn, 2016, S. 138)

Für die Trainingspraxis bedeutet dies, dass ein sehr guter Aufschlag sowie ein ausgezeichneter Return - auch in Kombination mit dem folgenden Schlag - höchste Priorität hat, um auf internationalem Niveau erfolgreich Tennis spielen zu können.

⁵Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/John_Isner – Zugriff am 30.10.2019

⁶Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/David_Ferrer – Zugriff am 30.10.2019

⁷ Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/ATP_Tour – Zugriff am 30.10.2019

2.3 Metabolische Aspekte im Tennis

Wie in Kapitel 2.2.1 Zeitliche Dimension des Tennissports ersichtlich und beschrieben, kommt es im Tennissport im Durchschnitt zu relativ kurzen Belastungszeiten von drei Sekunden (Rasentennis) bis ca. neun Sekunden (Sandplatztennis) und somit zur vorwiegend anaeroben-alaktaziden Energiebereitstellung.

Im Folgenden werden kurz die wichtigsten physiologischen Grundlagen beschrieben, um einen Einblick, in die für das Tennis, wichtigen energieliefernden Stoffwechselvorgänge zu geben.

Für unterschiedliche Arbeitsintensitäten und Arbeitsumfänge, verfügt der Körper über unterschiedliche Möglichkeiten, die Muskeln mit Energie zu versorgen. Ziel von jeglichem Stoffwechselvorgang ist es, Adenosintriphosphat (ATP) zu erzeugen. (Ivancevic et. al., 2011; Pluim & Safran, 2004; Schönborn, 2016)

„Die Muskelkontraktion wird direkt mit der chemischen Energie des Adenosintriphosphats (ATP) gespeist.“ (Silbernagel & Despopoulos, 2003, S. 72) Ohne ATP im Muskel kommt es zu keiner Muskelkontraktion. ATP ist mit dem Benzin in den Autos zu vergleichen. Ohne Benzin fährt kein Auto, ohne ATP arbeitet kein Muskel. (Schönborn, 2016)

Wie soeben beschrieben hat der Körper verschiedene Möglichkeiten das notwendige ATP zu produzieren.

Die Arbeitsweise kann man in drei verschiedene Stufen einordnen

1. anaerob-alaktazides System
2. anaerob-laktazides System
3. aerobes System

Pluim & Safran (2004) beschreiben die unterschiedlichen Stoffwechselvorgänge beim Tennis: „All three energy systems are always in play, but the sports typical intensity and duration of movement will determine which energy system will provide the greatest amount of energy to the activity.“ (Pluim & Safran, 2004, S. 18)

Grafisch dargestellt nach Silbernagel & Despopoulos (2003)

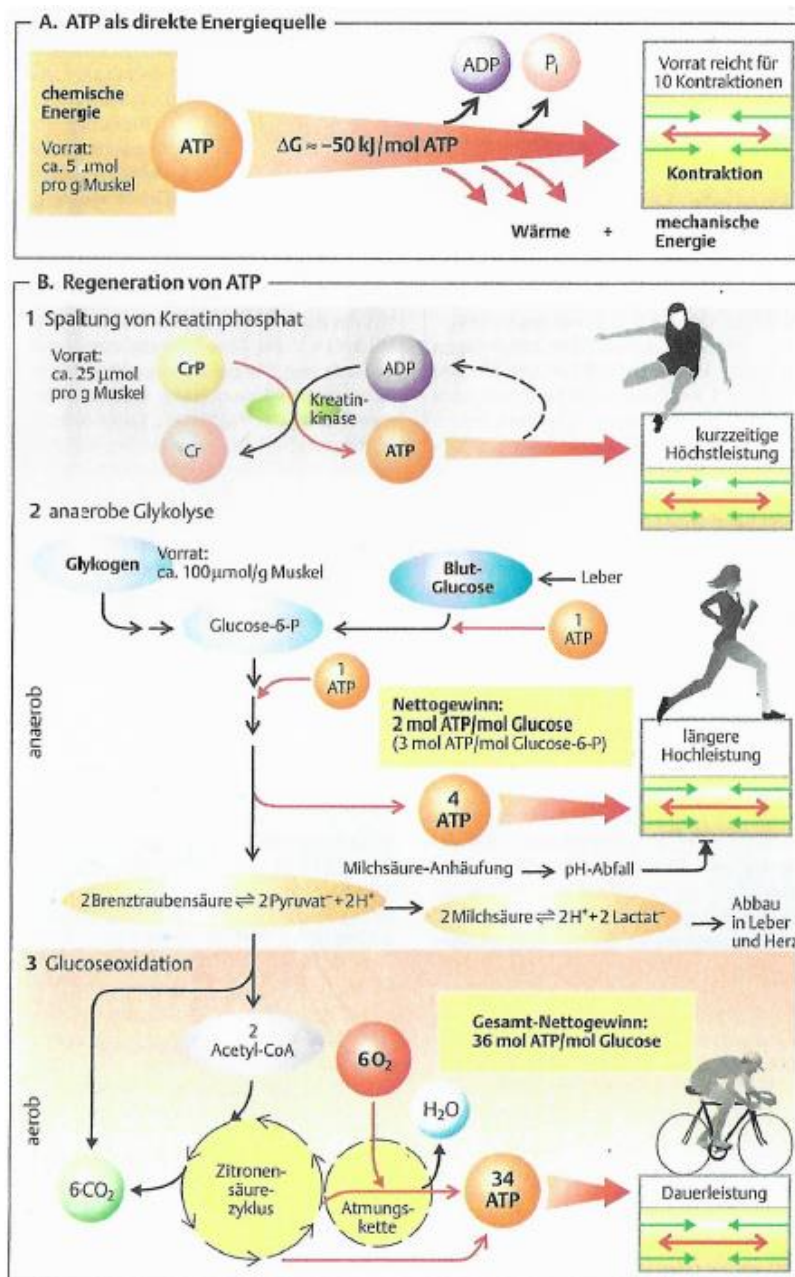


Abbildung 8: Energiequellen (Silbernagel & Despopoulos, 2003, S. 73)

zu 1. anaerob-alkalazides System

Zuerst einmal haben wir, wenn auch nur wenig, ATP in unseren Muskelzellen gespeichert. Das in den Muskelzellen gespeicherte ATP reicht aber nur für wenige Kontraktionen unter einer Dauer von etwa zwei Sekunden. Ist der Speicher leer, wird ATP aus Kreatinphosphat (KP) hergestellt. Adenosintriphosphat und Kreatinphosphat werden als „schnelle“ Phosphate bezeichnet, da sie sich schnell in Energie umwandeln lassen. Aber auch KP ist nur sehr

begrenzt in den Speichern vorhanden, nämlich für ca. 12 – 20 maximal intensive Kontraktionen bzw. sechs bis acht Sekunden. (Schönborn, 2016)

Silbernagel & Despopoulos (2003) geben an, dass der Kreatinphosphat-Vorrat von ca. 25 μmol pro Gramm Muskel, kurzzeitige Höchstleistungen von 10 bis 20 Sekunden erlaubt, bevor diese Reserve erschöpft ist.

Bei einer, wie meist im Tennis, submaximalen Belastung, reichen die KP-Speicher für eine Dauer bis etwa 20 Sekunden. Die Resynthese (Erneuerung) dauert ca. 20 – 40 Sekunden, abhängig vom konditionellen Zustand des Sportlers bzw. der Sportlerin. Bei der Verstoffwechselung der „schnellen“ Phosphaten entsteht kaum Laktat (Milchsäure) und man spricht daher von einer anaeroben alaktaziden Arbeit. Hohe Blutlaktatkonzentrationen können die Intensität der Muskelarbeit und die Qualität feinmotorischer Arbeit stark reduzieren. (Schönborn, 2016)

zu 2. anaerob-laktazides System

Kann man durch einen sehr langen Ballwechsel seine Lauf- und Schlagarbeit am Tennisplatz nicht einfach stoppen, kommt es zur Resynthese des ATP über die sogenannte Glycolyse. Nachteilig ist hier jedoch die Produktion von Laktat mit den obig genannten Folgen. (Anm.: Das im Muskel gespeicherte Glykogen wird über Glucose-6-Phosphat zur Milchsäure abgebaut. (Silbernagel & Despopoulos 2003, S72) Dieser Stoffwechselvorgang kann, wenn die Intensität weiterhin hochgehalten wird, durch die stetig steigende Laktatanhäufung für etwa 40 Sekunden aufrecht gehalten werden. In diesem Fall spricht man von einer anaeroben laktaziden Arbeit. (Schönborn, 2016)

zu 3. aerobes System

Ist es aufgrund der Spielsituation noch immer nicht möglich eine Pause einzulegen, muss die Intensität stark reduziert werden und die dritte Stufe springt an, nämlich die aerobe Arbeit (Oxidation). Die in der Muskulatur und in der Leber gespeicherten Glykogenreserven werden aerob (mit Sauerstoff) u.a. zu ATP verstoffwechselt. Für eine Dauer von ca. 90 Minuten ist dies möglich. Mit fortschreitender Spieldauer stellt sich die Energielieferung zunehmend auf die Verbrennung der freien Fettsäuren um, und kann nach 60-90 Minuten bis zu 40% erreichen. Fette stehen im Körper in einer wesentlich größeren Menge als die Kohlenhydrate zur Verfügung, liefern jedoch die Energie langsamer, was eine niedrigere Arbeitsintensität zur Folge hat. Die dafür aber über eine sehr lange Zeit (bis zu Stunden), wie z.B. beim Marathon, Triathlon, etc. Neben Kohlenhydraten und Fetten stehen auch noch Eiweißbausteine

(Aminosäuren) für die Energiebereitstellung zur Verfügung, speziell bei sehr langen Wettkämpfen oder bei zeitlich dicht aneinander folgenden Wettkämpfen. (Schönborn, 2016)

Dass die Energiebereitstellung beim Tennis sowohl aerob als auch anaerob erfolgt, wurde auch in der Literatur der 70er und 80er Jahre beschrieben, obwohl es hier zu großen Meinungsverschiedenheiten kam. Der Anteil der von Wissenschaftlern formulierten aeroben Energiebereitstellung reichte von 30% bis hin zu 88%. Die Diskussion über die Diskrepanz dieser Unterschiede wurde durch Forschungsergebnisse genährt, die irgendwo zwischen diesen beiden Werten lagen. (Christmass et.al., 1998) Da bekannt ist, dass sich die Aktivitätsprofile der Spieler/innen von Jugendlichen und Erwachsenen unterscheiden, muss dies auch in der Diskussion über die unterschiedliche Energiebereitstellung berücksichtigt werden, so Hoppe et.al. (2015).

Vergleicht man den Anteil der Energiebereitstellung mit anderen Sportarten (z.B. Jogging) bei gleichem kalorischem Gesamtumsatz, so ist der Anteil der Kohlenhydrate an der Energiebereitstellung im Tennis deutlich höher. Kohlenhydrate liefern zu 70-80% die im Tennissport notwendige Energie.

Bei männlichen Turnierspielern (ca. 80 kg Körpergewicht) beträgt der Kalorienumsatz (brutto) im Wettkampf durchschnittlich ca. 600-800 kcal/Stunde. (Ferrauti et.al., 2014)

Tennis kann mit Hilfe von Stoffwechselvorgängen so beschrieben werden, dass es während der Ballwechsel überwiegend eine anaerobe-alaktazide Sportart ist mit der Energiebereitstellung vorwiegend über die energiereichen Phosphate ATP und KP. In den Pausen rückt die aerobe Arbeitsweise mit dem aeroben Abbau von Kohlenhydraten und teilweise aeroben Abbau von Fetten in den Vordergrund (Schönborn, 2016; Ferrauti et.al., 2014).

Untersuchungsergebnisse zum Hormon- und Substratverhalten unter Trainings- und realen Turnierbedingungen zeigen eine signifikante Erhöhung der Blutlaktat- und Blutglukosekonzentrationen sowie der Katecholaminkonzentration im Urin unter Turnierbedingungen). Im Wettkampfstress bzw. bei erhöhter psychischer Beanspruchung ist somit mit einer gesteigerten katecholamininduzierten Kohlenhydratmobilisation und Kohlenhydratverstoffwechselung zu rechnen. Dies gilt für den Tennissport wie auch für andere Sportspiele unter Turnierbedingungen. (Ferrauti, 2006)

In der von Ferrauti (2006) durchgeführten Untersuchung, wurde auch mit Hilfe einer 10-Punkte-Skala die subjektive Leistungsbereitschaft erhoben. Durch eine, unter

Turnierbedingungen nachweislich erhöhte Leistungsbereitschaft, kann von einer weiteren Steigerung von Bewegungsumfang und Bewegungsintensität ausgegangen werden, was wiederum einen Anstieg des Energiebedarfs zur Folge hat. Die Qualität der körperlichen Beanspruchung sollte somit im sportspielspezifischen Training dem wettkampftypischen Beanspruchungsprofil möglichst nahekommen. (Ferrauti et.al., 2014)

Um das Substratverhalten unter realen Turnierbedingungen bzw. unter Trainingsbedingungen zu testen, absolvierten die gleichen Gegner an einem zweiten Versuchstag im Anschluss an ein Mannschaftsturnier (Verbandsliga/Oberliga) ein Trainingseinzel gegen den gleichen Gegner. Gesamt wurden 70 Messungen bei 10 Spielern durchgeführt. (Ferrauti et.al., 2014)

Die mittlere Blutlaktatkonzentration blieb im Trainingseinzel mit Werten zwischen 1,8-2,8 mmol/l unter den Werten unter Turnierbedingungen mit 2,5-3,5 mmol/l. In Phasen der Belastungsspitzen lagen die Blutlaktatkonzentrationen im Bereich von 6-8 mmol/l. „Die Spielpausen sind demnach in der Regel lang genug, um Kreatin sowie Adenosinmonophosphat (AMP) über Atmungskette und oxidative Phosphorylierung zu den energiereichen Phosphaten Kreatinphosphat (KP) und Adenosintriphosphat (ATP) zu regenerieren.“ (Ferrauti et.al., 2014, S. 23)

Wie von Ferrauti (2006) mit Hilfe einer 10-Punkte-Skala schon vermuteten höheren subjektiven Leistungsbereitschaft unter Turnierbedingungen, konnte dies nun nachgewiesen werden. Unter Turnierbedingungen konnten höhere laktazide Beanspruchungen gemessen werden (20% der Blutlaktatkonzentrationen über 4 mmol/l). Unter Trainingsbedingungen waren hingegen nur 11% der Messungen über einer Konzentration von 4 mmol/l.

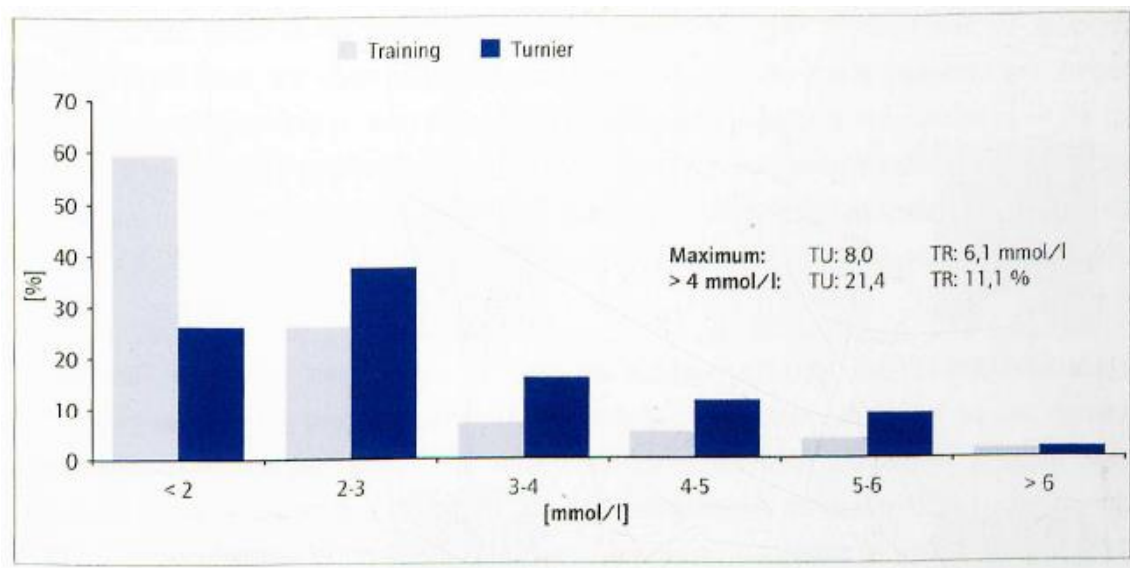


Abbildung 9: Prozentuale Häufigkeit von Blutlaktatkonzentrationen in definierten Bereichen (Ferrauti et.al., 2014, S. 23)

„Die höhere laktazide Beanspruchung im Turniereinzel ... kann auf die höhere Leistungsmotivation (und dadurch Spielintensität) und auf die stärkere adrenerge Stimulation (und dadurch ggf. höhere Muskelanspannung, geringere Bewegungsökonomie sowie katecholaminbedingte Aktivierung von Glykogenolyse und Glykolyse) zurückgeführt werden.“ (Ferrauti et.al., 2014, S. 23)

2.4 Psychologische Aspekte im Tennissport

Die psychische Beanspruchung ist im Tennissport gegenüber anderen Aktivitäten wie Jogging oder Golf deutlich höher, dies haben Untersuchungsergebnisse zur Katecholaminausscheidung im Urin ergeben. (Ferrauti et.al., 2014)

Gründe dafür sind u.a.

- die Alleinverantwortlichkeit des Spielers bzw. der Spielerin (im Gegensatz zum Teamsport)
- die hohen motorischen Präzisionsanforderungen
- Besonderheit der Zählweise (kein Unentschieden)
- kein Spiel auf Zeit und dadurch die hohen physischen Anforderungen, bei gleichzeitig hohen Präzisionsanforderungen
- intervallförmige Belastungsstruktur bei gleichzeitig hohen Belastungsspitzen

In einer Untersuchung von Ferrauti (1999) von 26 männlichen Leistungsspieler des Deutschen Tennisbundes, wurde mittels Fragebogen der Nervositätsgrad ermittelt und deren Auswirkung festgestellt

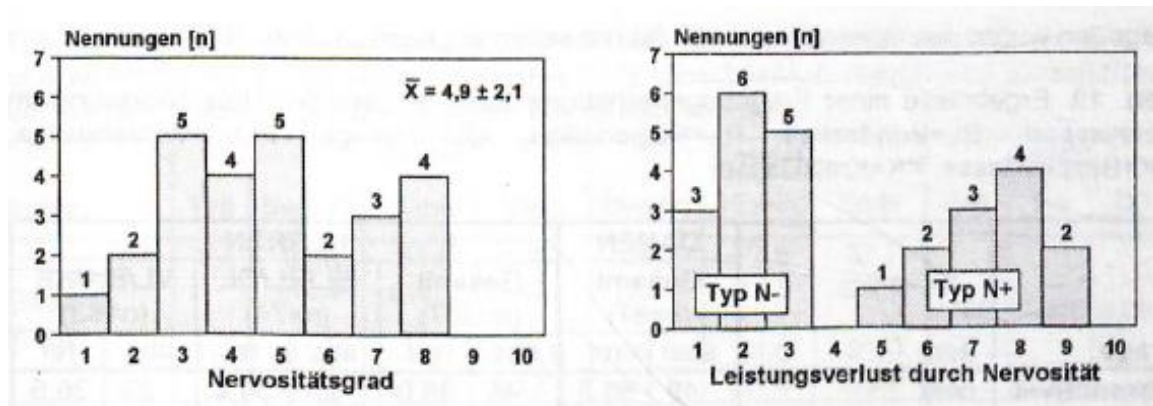


Abbildung 10: Histogramme zu den Fragen nach Nervositätsgrad und nervositätsbedingtem Leistungsverlust im Turniereinzel (1=sehr gering, 10=sehr hoch) (Ferrauti, 1999, S. 81)

Die Auswertung der Fragebögen zeigt einen mittleren Nervositätsgrad während des Einzelmatches. Eine zweigipfelige Häufigkeitsverteilung ergab sich bei der Frage nach dem Grad des nervositätsbedingten Leistungsverlustes.

Typ N+: Spieler mit einem nervositätsbedingtem Leistungsverlust

Typ N-: Spieler ohne einem nervositätsbedingtem Leistungsverlust

Bei Spielern mit einem nervositätsbedingtem Leistungsverlust (Typ N+), konnten tendenziell höhere Adrenalinkonzentrationen und signifikant niedrigere Noradrenalin/Adrenalin-Quotienten nachgewiesen werden als bei jenen Spielern ohne nervositätsbedingtem Leistungsverlust (Typ N-), denn „...eine inadäquat hohe Adrenalinausschüttung bzw. ein niedriger Noradrenalin/Adrenalin-Quotient führt zu überhöhter Nervosität und wirkt sich negativ auf die Wettkampfleistung aus.“ (Ferrauti, 1999, S. 75)

Die Adrenalinausscheidung im Wettkampf ist um das 3,5fache höher, „...sodass eine leistungsbeeinträchtigende Diskrepanz der adrenergen Stimulation gegenüber der Trainingssituation entstehen kann. Im Einzelfall leiden Tennisspieler im Turnier deshalb unter erheblichen Leistungseinschränkungen.“ (Ferrauti et.al., 2014, S. 25)

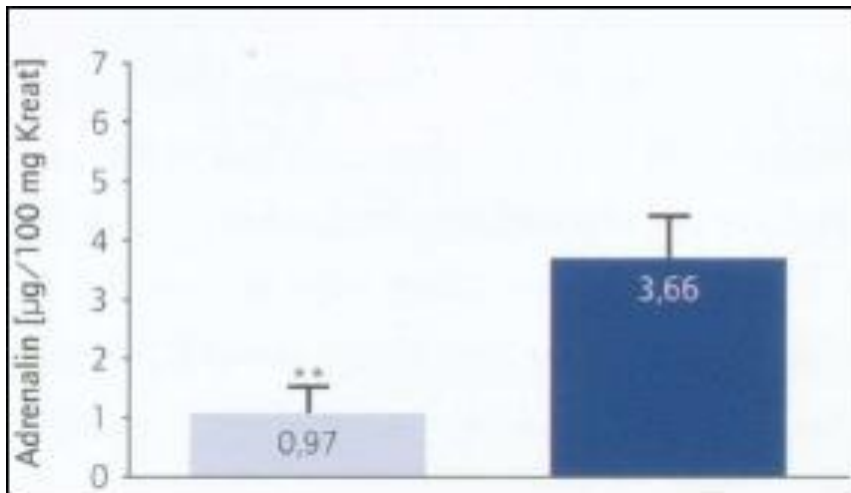


Abbildung 11: Metabolische Diskrepanz zwischen Trainingseinzel (links) und Turniereinzel (rechts) (Ferrauti et.al., 2014, S. 25)

Adrenalin und Noradrenalin, auch als Stresshormone bekannt, sind körpereigene Hormone und sollen in Gefahrensituationen zu Höchstleistungen anspornen.⁸ Bei Gefahr oder Stress wird im zentralen Nervensystem Noradrenalin produziert, das wiederum den Sympathikus aktiviert – der Teil im Gehirn der für Stress verantwortlich ist. Der Hypothalamus sendet daraufhin ein Signal an die Nebenniere. Diese produziert dort das Adrenalin und bereitet den Körper für die drohende Gefahr bestmöglich vor.⁹

Die physiologischen Wirkungen von Adrenalin sind u.a.⁸

- erhöhte Sauerstoffversorgung des gesamten Körpers
- die Bronchien weiten sich
- Herzfrequenz und Blutzuckerspiegel steigen an
- Erhöhung der Auswurfleistung des Herzens
- geschärfte Sinne

Andererseits werden nicht überlebenswichtige Funktionen wie z.B. die natürliche Darmbewegung heruntergefahren.⁸

⁸ Quelle: <https://www.wissenschaft.de/gesundheit-medizin/adrenalin-das-action-hormon/> - Zugriff am 03.11.2019

⁹ Quelle: <https://www.brain-effect.com/magazin/adrenalin-noradrenalin-wirkung-neurotransmitter> – Zugriff am 03.11.2019

Ferrauti (1999) konnte in einer Untersuchung nachweisen, dass die Konzentrationen von Adrenalin im Urin sich hochsignifikant zwischen Turnier- und Trainingstagen unterschieden.

Tabelle 4: Konzentration von Adrenalin im Urin während eines Turniers (TU) und eines Trainingswettkampfes (TR) (Ferrauti, 1999, S. 79)

(n=20)	Typ	Morgens	vor Einzel	nach Einzel	nach Doppel
Adrenalin [µg/100mg Kreat]	TU	0,32 ±0,40	1,33 ±0,65	3,66 ±2,51	2,26 ±1,50
	TR	0,21 ±0,15	0,61 ±0,39	0,97 ±0,59	---
Sig			*	**	---

Gut zu erkennen ist in der oberen Zeile der Anstieg der AdrenalinKonzentration während des Turniertages (TU), welcher sowohl zwischen dem Morgen ($0,32 \pm 0,4$) und dem Wettkampfbeginn ($1,33 \pm 0,65$), als auch vor und nach dem Wettkampf ($3,66 \pm 2,51$) hochsignifikant ausfällt. Im Trainingswettkampf (TR) ergab sich nur zwischen dem Adrenalinwert am Morgen ($0,21 \pm 0,15$) und dem Adrenalinwert nach dem Spiel ($0,97 \pm 0,59$) ein statistisch signifikanter Anstieg. Die relativ niedrigen Adrenalinwerte vor dem Trainingswettkampf ($0,61 \pm 0,39$) deuten darauf hin, dass die psychische Anspannung vor einem Trainingsmatch nicht besonders groß ist. Um für eine reale und wichtige Wettkampfsituation auch psychisch vorbereitet zu sein, sind Vorbereitungswettkämpfe unabdingbar.

Tabelle 5: Konzentration von Noradrenalin im Urin während eines Turniers (TU) und eines Trainingswettkampfes (TR) (Ferrauti, 1999, S. 79)

(n=20)	Typ	Morgens	vor Einzel	nach Einzel	nach Doppel
Noradrenalin [µg/100mg Kreat]	TU	1,42 ±0,61	4,04 ±2,39	9,81 ±4,47	5,74 ±1,89
	TR	1,82 ±0,95	2,91 ±1,16	7,23 ±3,31	---

Die Noradrenalinwerte im Urin wiesen zwischen den Turniertagen (TU) und den Trainingstagen (TR) keine statistisch nachweisbaren Unterschiede auf. Hochsignifikante Unterschiede gibt es allerdings zwischen den Messzeitpunkten am Morgen/ vor dem Einzel bzw. nach dem Einzel.

Wie sich die Psyche auf die Hämodynamik auswirkt, beschreibt Ferrauti et.al. (2014) wie folgt. Die psychischen und konzentrativen Belastungen lassen die mittlere Herzfrequenz im Gesamtdurchschnitt auf vergleichsweise hohe Werte (ca. 160 Schläge/min) steigen. Teilweise - in einzelnen Spielphasen - sind Herzfrequenzwerte von 180-200 Schläge/min möglich. Blutdruckspitzenwerte von 250 mmHg sind ebenfalls auf die hohe psychische Beanspruchung (Aktivierung des sympathischen Nervensystems) zurückzuführen.

2.5 Tennisspezifisches Koordinations- und Konditionstraining

Die sportliche Leistungsfähigkeit wird von einer Vielzahl an spezifischen Faktoren bestimmt und ist durch ihre multifaktorielle Zusammensetzung nur komplex zu trainieren. Das Erreichen der individuellen Höchstleistung ist nur durch die harmonische Entwicklung aller leistungsbestimmenden Faktoren möglich. (Weineck, 2007)

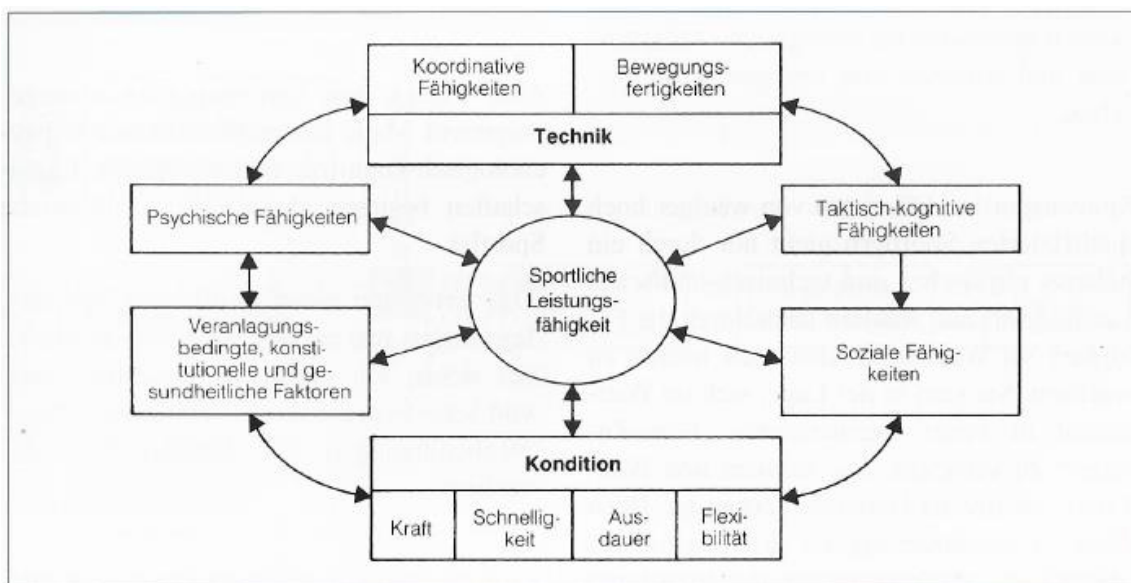


Abbildung 12: Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit (Weineck, 2007, S. 25)

Obige Abbildung zeigt das komplexe Gefüge der sportlichen Leistungsfähigkeit, welche durch eine Vielzahl an spezifischen Faktoren bestimmt ist. Die Abarbeitung jedes einzelnen Faktors würde den Rahmen des Kapitels sprengen. Somit konzentriere ich mich auf jene Faktoren, die die tennisspezifische Leistungsfähigkeit zu einem wesentlichen Teil mitbestimmen, nämlich die Koordination (wichtiger Faktor in der Technikausbildung) und die Kondition mit den Teilbereichen Kraft/ Schnelligkeit/ Ausdauer und Beweglichkeit.

2.5.1 Koordination

„Allgemein wird unter Koordination das Zusammenwirken von Zentralnervensystem und der Skelettmuskulatur innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufs verstanden.“ (Schönborn, 2006, S. 147)

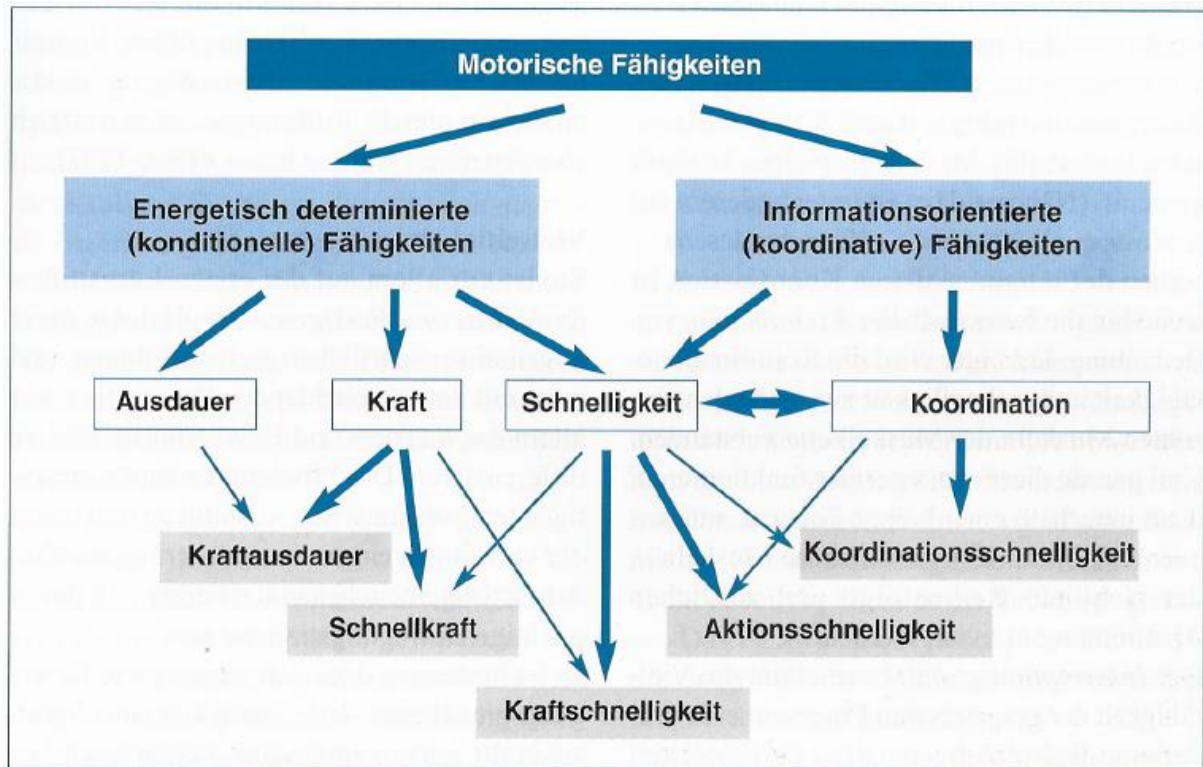


Abbildung 13: Übersicht der motorischen Fähigkeiten und deren Beeinflussung (Schönborn, 2006, S. 147)

Schönborn (2007) beschreibt die Koordination sogar als den wichtigsten und leistungslimitierendsten Faktor.

„Die Qualität der koordinativen Fähigkeiten und Fertigkeiten beeinflusst sowohl direkt als auch indirekt die optimale Entwicklung praktisch aller anderen Komponenten des Tennissports.“ (Schönborn, 2006, S. 147)

Aus der Übersicht der motorischen Fähigkeiten in obiger Abbildung geht hervor, wie stark der Einfluss der koordinativen (informationsorientierten) Fähigkeiten auf andere wichtige Faktoren im Tennis ist. Die Pfeilstärke kennzeichnet die Beeinflussung einzelner Teilfaktoren durch Hauptfaktoren. Lauf- und Schlagschnelligkeit, Kraftschnelligkeit, Aktionsschnelligkeit sowie Koordinationsschnelligkeit sind im modernen Tennis wesentliche leistungslimitierende Faktoren, die vom Niveau der Koordination direkt und sehr stark beeinflusst werden.

Neben den Komponenten der koordinativen Fähigkeiten wie Gleichgewichtsfähigkeit, Orientierungsfähigkeit, Differenzierungsfähigkeit, Rhythmisierungsfähigkeit,

Reaktionsfähigkeit, Umstellungsfähigkeit und Kopplungsfähigkeit, möchte ich nun auch noch zwei Arten der Koordination beschreiben, die für die sportliche Leistungsfähigkeit bedeutend aber nicht so bekannt sind, nämlich die intramuskuläre Koordination und die intermuskuläre Koordination.

Unter der intramuskulären Koordination versteht man die Koordinationsfähigkeit und Koordinationsschnelligkeit aller Muskelzellen eines Muskels. (Schönborn, 2006) Das heißt, ein Muskel, der eine hohe intramuskuläre Koordination besitzt, kann viele seiner Fasern gleichzeitig kontrahieren. Der Muskel entfaltet eine höhere Kraft, ohne dabei dicker werden zu müssen – eine wichtige Eigenschaft in Sportarten, wo eine höhere Kraft nicht mit höherem Körpergewicht einhergehen soll.

Unter der intermuskulären Koordination versteht man die Koordinationsfähigkeit und Koordinationsschnelligkeit zwischen einzelnen Muskeln einer Muskelkette. Da bei komplexen Bewegungen innerhalb einer halben Sekunde bis zu 130 verschiedene Muskeln in der richtigen Reihenfolge und zeitlichen Abstimmung aktiviert werden, muss die intermuskuläre Koordination perfekt funktionieren. (Schönborn, 2006)

Bedeutung der koordinativen Fähigkeiten

Gute koordinative Fähigkeiten sind die Grundlage für eine gute sensomotorische Lernfähigkeit. Je besser die koordinativen Fähigkeiten ausgebildet sind, desto schneller können neue Bewegungen erlernt werden. (Weineck, 2007)

Weineck (2007) betont, dass koordinierte Bewegungen mit einem geringeren Aufwand an Muskelkraft und somit energiesparend vollzogen werden.

In einer zeitlich nicht limitierten Sportart wie Tennis sicher wichtig, mit seinen Kräften und Energiereserven Haus zu halten, um nach einer Spielzeit von mehreren Stunden noch immer konzentriert, schnell und präzise spielen zu können.

In einer Grafik von Schönborn (2006) wird die Bedeutung der Koordination auf die Bewegungspräzision und auf die Bewegungsökonomie verdeutlicht.

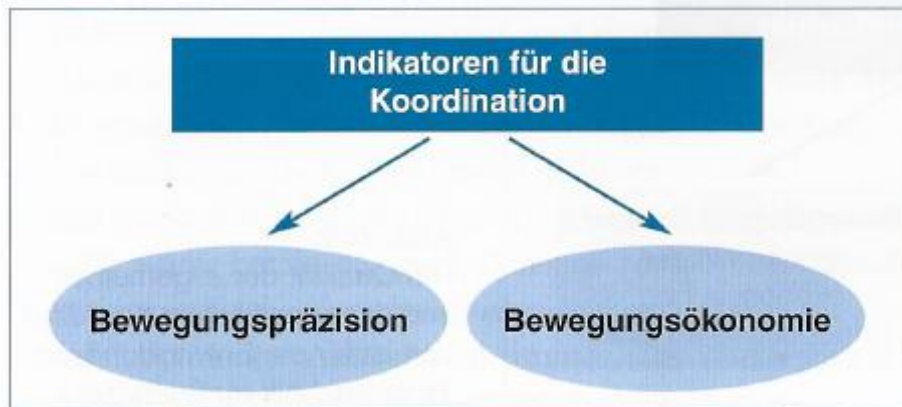


Abbildung 14: Indikatoren für die Koordination (Schönborn, 2006, S. 157)

Die Bewegungspräzision als das wesentliche Element für die gesamte Schlagaussführung im Bereich der Schlagpräzision. Präzise Schlagbewegungen verursachen eine geringe Streuung der Bälle. Die besten Spieler und Spielerinnen der Welt sind im koordinativen Bereich sehr gut und können daher die Bälle präzise platzieren.

Beobachtet man die Spitzenspieler und Spitzenspielerinnen, so könnte man den Eindruck gewinnen, dass Tennis eine einfache Sportart ist, es sieht ja alles so mühelos aus. Die Bewegungsökonomie dieser Menschen macht dies möglich. (Weineck, 2007)

Mit einem hohen Niveau an koordinativen Fähigkeiten, können nicht nur neue Bewegungen schneller erlernt werden, sondern auch bereits bestehende sporttechnische Fertigkeiten (Anm.: z.B. die Ausholbewegung bei der Vorhand) schnell umgelernt werden. (Weineck, 2007)

Die koordinativen Fähigkeiten lassen sich grundsätzlich am Besten im Kindesalter trainieren, da in diesem Alter eine sehr schnelle Reifung des Zentralnervensystems zu beobachten ist. Zusätzlich zur schnellen Reifung des Zentralnervensystems, kommt es in diesem Alter zu einer Funktionssteigerung des akustischen und optischen Analysators bei gleichzeitiger Verbesserung der Informationsverarbeitung. Komplizierte Bewegungsabläufe lassen sich dadurch leichter erlernen. Für das spätere Erreichen der individuell maximalen Leistungsfähigkeit, ist die rechtzeitige Schulung der koordinativen Fähigkeiten somit entscheidend. (Weineck, 2007)

2.5.2 Kraft

„Kraft im biologischen Sinne ist die Fähigkeit des Nerv-Muskel-Systems, durch Muskeltätigkeit nennenswerte Widerstände ($> 30\%$ des individuellen Kraftmaximums) zu überwinden (konzentrische Kontraktion), ihnen nachgebend entgegenzuwirken (exzentrische Kontraktion)

bzw. sie zu halten (isometrische Kontraktion)“. (Ferrauti et.al., 2014, S. 197; Schönborn, 2006, S. 170)

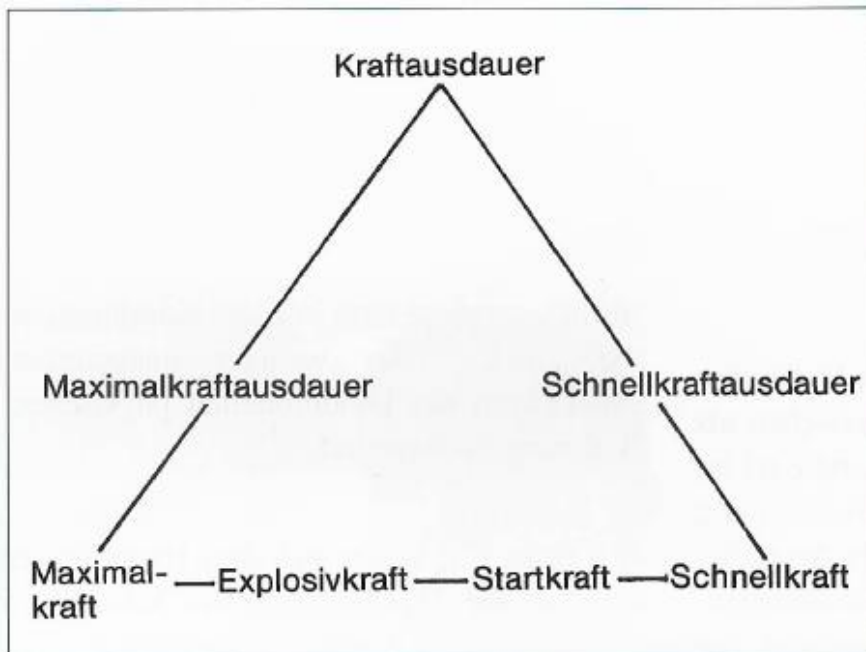


Abbildung 15: Wechselbeziehungen der drei Hauptformen der Kraft (Weineck, 2007, S. 372)

Abbildung 15 zeigt die Hauptformen der Kraft: die Maximalkraft, die Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie die Reaktivkraft, die eng mit der Maximal- und Schnellkraft verbunden ist. Diese Kraftformen treten aber in den verschiedenen Sportarten immer in einer mehr oder weniger nuancierten Mischform auf. (Weineck, 2007)

Definiert sind die drei Hauptformen der Kraft nach Ferrauti et.al. (2014, S. 197) wie folgt:

- „Maximalkraft: maximal willentlich erzeugte isometrische oder dynamische Kraft
- Schnellkraft: maximal schneller Kraftanstieg zu Beginn (Startkraft) und im Verlauf einer Bewegung (Explosivkraft),
- Kraftausdauer: Ermüdungswiderstandsfähigkeit gegenüber wiederholten Krafteinsätzen von über 30% der Maximalkraft.“

Generell ist der Kraftbereich für den Tennissport nicht der absolute leistungslimitierende Faktor. In Sportarten wie Gewichtheben oder dem Ringen schon eher. Kraft ist aber im Tennis als unterstützender Faktor für leistungslimitierende Bereiche wie z.B. die Schnelligkeit von entscheidender Bedeutung. (Schönborn, 2006)

Beim tennisspezifischen Krafttraining ist darauf zu achten, dass sich die Hypertrophie der Muskulatur nicht zu sehr in eine Zunahme der Muskeldicke entwickelt, denn ... „Der

Tennisspieler braucht zwar starke und kräftige, aber eher lange und vor allem elastische Muskulatur. (Schönborn, 2006, S. 170)

Wie schon erwähnt, treten die Hauptformen der Kraft nie in ‚Reinform‘ auf. Zusätzlich ergeben sich Unterstufen der Hauptformen, die je nach Sportart von unterschiedlicher Bedeutung sind. Schönborn (2006) hat diese Unterstufen, je nach Bedeutung für das Tennis, durch unterschiedliche Farbtöne adaptiert.

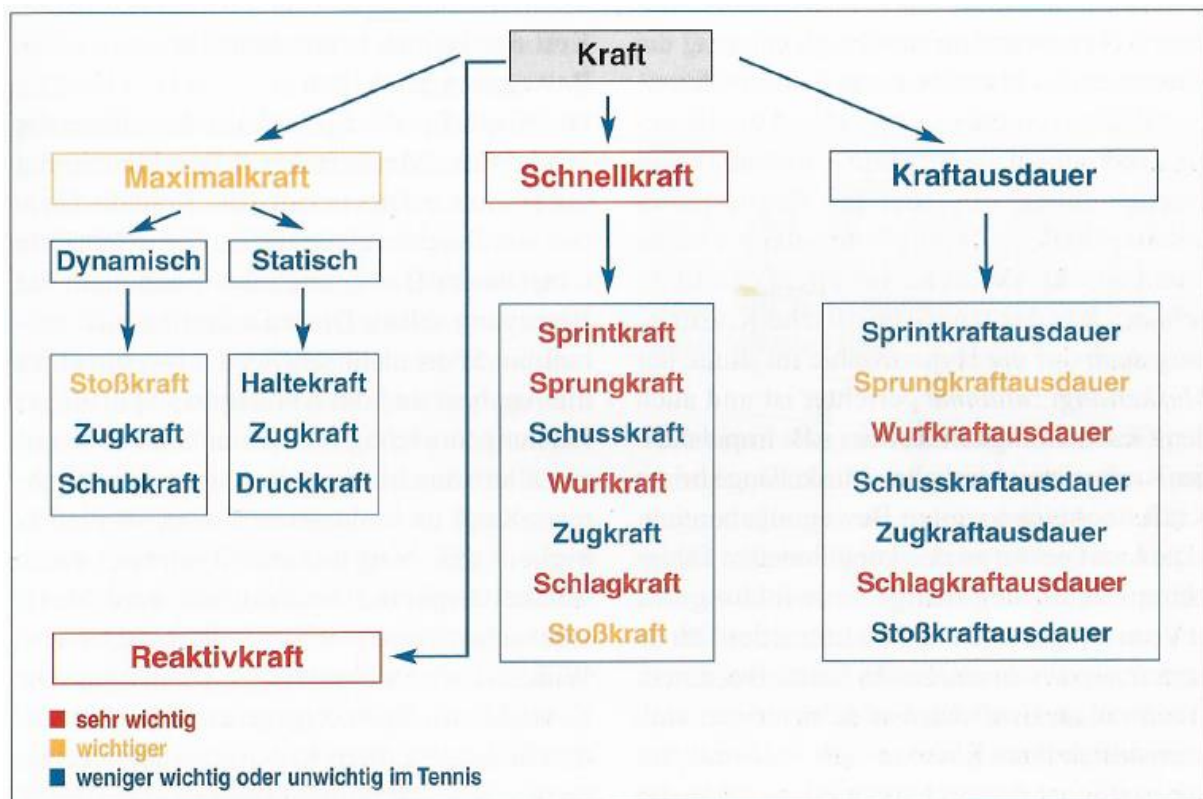


Abbildung 16: Die Kraftformen und ihre Bedeutung für den Tennissport (Schönborn, 2007, S. 169)

Da Reaktivkraft und Schnellkraft als ‚sehr wichtig‘ für den Tennissport empfunden werden, möchte ich im Folgenden auf diese beiden Kraftformen etwas näher eingehen.

Ferrauti et.al. (2014) beschreibt, dass die **Reaktivkraft** - als eine besondere Ausprägung der Kraft - beim sogenannten Dehnungsverkürzungszyklus (DVZ) eine entscheidende Rolle spielt. Hierbei verlängert sich zunächst der Muskel in der exzentrischen Phase und verkürzt sich unmittelbar danach in der konzentrischen Phase, all dies in einem sehr kurzen Zeitabschnitt. Um diesen, im Tennis so wichtigen Dehnungsverkürzungszyklus realisieren zu können, ist eine hohe Reaktivkraft notwendig.

Folgende tennisspezifische Beispiele zeigen, dass bei fast allen dynamischen Muskelkontraktionen der Dehnungsverkürzungszyklus eine wichtige Rolle spielt.

„Beinmuskulatur:

- Landung beim Splitstep (exzentrisch) und Beginn der Beschleunigung zum Ball (konzentrisch)
- Abstoppen des Seitwärtslauf mit dem Stemmbein (exzentrisch) und unmittelbar folgender Abdruck mit dem gleichen Bein in die Gegenrichtung (konzentrisch)

Arm- und Rumpfmuskulatur:

- Übergang von der Ausholbewegung (exzentrisch) zur Schlagbewegung (konzentrisch)
- Extension (exzentrisch) der Handgelenkmuskulatur und anschließende Flexion (konzentrisch) beim Handgelenkseinsatz bei der Vorhand.“ (Ferrauti et.al., 2014, S. 198)

Wie aus Abbildung 15 zu erkennen ist, basiert die Reaktivkraft auf der Maximalkraft und der Schnellkraft mit ihren Komponenten Startkraft und Explosivkraft. Aber erst mit einer optimal abgestimmten Koordination (intra- sowie intermuskuläre Koordination; siehe Kapitel 2.5.1 Koordination) ist eine hohe Reaktivkraft zu realisieren. (Ferrauti et.al., 2014)

Dies wird deutlich, wenn man bedenkt, ... „dass ein Kraftsportler ohne Tenniserfahrung gewöhnlich nicht annähernd die Aufschlaggeschwindigkeit erreicht, die ein kraftuntrainierter Turniertennisspieler realisiert. Nur durch den optimal stufenförmig aufeinander abgestimmten Krafteinsatz (Staircase-Effekt) mehrerer, an der komplexen Gesamtbewegung beteiligten Teilbewegungen einzelner Körpersegmente (kinematische Kette) [...] kann die zur Verfügung stehende Kraft bestmöglich in eine schnelle Schlagbewegung oder Laufbewegung umgesetzt werden.“ (Ferrauti et.al., 2014, S. 198)

Dadurch sollte ein tennisspezifisches Krafttraining ein funktionelles Krafttraining sein, bedeutet, dass es einen koordinativen Transfer zur Zielbewegung gibt. Durch ein sogenanntes Komplextraining soll dies sichergestellt sein. Als Beispiel: Die Serienpause einer Intervallmethode (z.B. acht Serien von acht VH-Winnerschlägen in Folge) wird für ein spezifisches Krafttraining (z.B. Medizinballwürfe) zur muskulären Voraktivierung und somit zur Steigerung der Schlagschnelligkeit genutzt. (Ferrauti et.al., 2014)

„Die **Schnellkraft** beinhaltet die Fähigkeit des Nerv-Muskelsystems, den Körper, Teile des Körpers (z.B. Arme, Beine) oder Gegenstände (z.B. Bälle, Kugeln, Speere, Disken, etc.) mit maximaler Geschwindigkeit zu bewegen.“ (Weineck, 2007, S. 374)

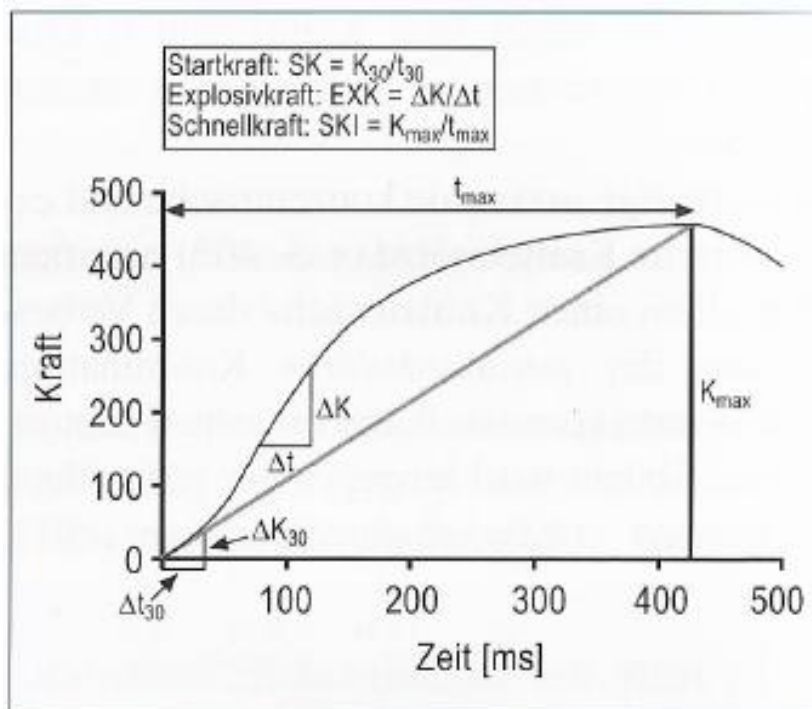


Abbildung 17: Die Kraft-Zeit-Kurve (Weineck, 2007, S. 374)

Aus obiger Abbildung, in der eine Kraft-Zeit-Kurve dargestellt ist, können Startkraft, Explosivkraft und Schnellkraft abgelesen werden. Die Kraftkurve in den ersten 30 ms (K_{30}/t_{30}) zeigt den Kraftanstieg bis zu Beginn der Kraftentfaltung und wird als Startkraft bezeichnet. Die Explosivkraft wird an der steilsten Stelle der Kraft-Zeit-Kurve ($\Delta K/\Delta t$) gemessen und jener Kraftanstieg bis zum Erreichen des Kraftmaximums (K_{max}/t_{max}) charakterisiert die Schnellkraft. (Weineck, 2007)

Tennisspezifisches Krafttraining

Ein Maximalkrafttraining bis in die Kraftspitzen wirkt sich in Form einer Muskeldickenzunahme aus. Ein kurzer dicker Muskel ist aber schwieriger mit Blut und somit mit Sauerstoff zu versorgen und produziert daher früher und längere Zeit Laktat.

Zusätzlich steigt mit dickeren Muskeln das Körpergewicht, sinkt unter Umständen die Elastizität des Muskels, seine Feinkoordination und die Bewegungsamplitude.

All diese Folgeerscheinungen eines dicken Muskels sind für Tennisspieler und Tennisspielerinnen unvorteilhaft, im Hochleistungssport sogar kontraproduktiv. Ein tennisspezifisches Krafttraining muss daher auf eine Hypertrophie im Sinne einer

Muskellängenzunahme gerichtet sein und auch den impulsartigen Kraftaufbau beinhalten. (Schönborn, 2006)

Ferrauti et.al. (2014) gibt einen Überblick über klassische Trainingsmethoden im Tennis:

Kraftausdauertraining:

- niedrige Reizintensität im Bereich von 30-50% des 1 RM (Anm.: 1 Repetition Maximum)
- hohe Wiederholungszahl
- eher langsame Bewegungsausführung

Kontraktilitäts- oder Schnellkrafttraining:

- mittlere Reizintensität im Bereich von 60-70% des 1 RM
- ca. 10 Wiederholungen
- maximale Kontraktionsgeschwindigkeit

Hypertrophietraining

- hohe Reizintensität von ca. 80% des 1 RM
- ca. 7 Wiederholungen
- mittlere Kontraktionsgeschwindigkeit

Maximalkraft bzw. Intramuskuläres Koordinationstraining

- maximale Reizintensität (100% des 1 RM)
- geringe Wiederholungszahl
- maximal mögliche Kontraktionsgeschwindigkeit

Die Durchführung sämtlicher klassischer Krafttrainingsmethoden ist entweder mit Krafttrainingsmaschinen oder mit Freihanteln (Lang- und/oder Kurzhanteln) möglich. Beide Möglichkeiten bieten Vor- und Nachteile.

In Krafttrainingsmaschinen wird eine orthopädisch unerwünschte Bewegung nahezu verhindert, was für krafttrainingsungeübte Tennisspieler bzw. Tennisspielerinnen von Vorteil ist. Durch die mechanisch geführte, meist ein- oder mehrgelenkige Bewegung, kommt es aber für den Tennissport meist zur nicht funktionellen Beanspruchung der einzelnen Muskelgruppen.

Für den krafttrainingsgeübten Tennisspieler bzw. für die krafttrainingsgeübte Tennisspielerin ist das Freihanteltraining (z.B. Kniebeugen, Kreuzheben, Umsetzen und Stoßen) die erste Wahl, da hier neben dem koordinativen Aspekt auch noch zusätzliche Hilfsmuskeln zur Stabilisierung aktiviert werden müssen. Eine korrekte Bewegungsausführung ist Voraussetzung, um Verletzungen zu verhindern. (Ferrauti et.al., 2014)

2.5.3 Schnelligkeit

Schnelligkeit wird in der Literatur als eine komplexe Fähigkeit gesehen, kombiniert mit anderen leistungslimitierenden Eigenschaften wie der Koordination und der Kraftkomponente. (Ferrauti et.al., 2014; Schönborn, 2006; Weineck, 2007)

Schönborn (2006) schließt in die komplexe und spezifische Schnelligkeit die tennisspezifische Technik mit ein. Nur ein hervorragendes Technikniveau mit hohen koordinativen Fähigkeiten, kann die am Tennisplatz notwendige Schnelligkeit realisierbar machen.

Abbildung 20 zeigt die einzelnen Komponenten, die für die komplexe Schnelligkeit im Tennis Voraussetzung sind.

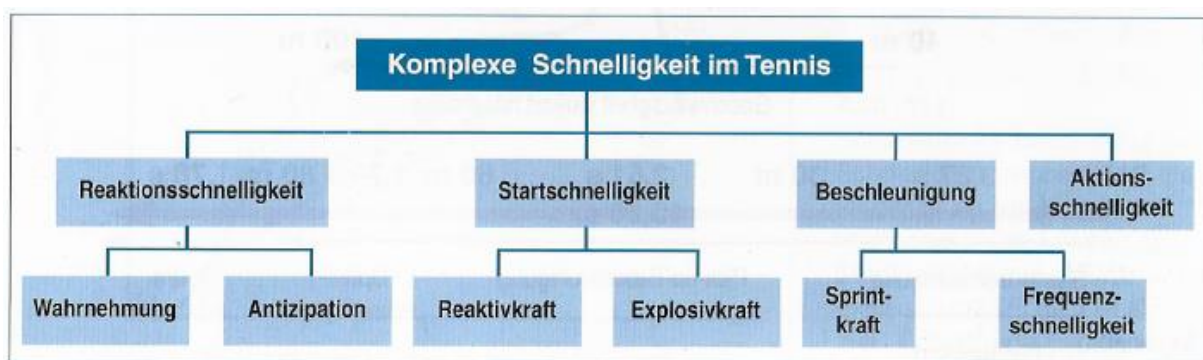


Abbildung 18: Spezifische Schnelligkeitsbereiche im Tennis (Schönborn, 2006, S. 159)

„Reaktionsschnelligkeit ist die Fähigkeit, auf einen Reiz in kürzester Zeit zu reagieren.“ (Weineck, 2007, S. 610)

Reaktionsschnelligkeit und Antizipationsfähigkeit sind sehr stark von der Informationsaufnahme und der Informationsverarbeitung abhängig. Generell in Sportspielen sind viele Reaktionen mit vorhergehenden Antizipationen verknüpft. (Ferrauti et.al., 2014)

Wie schon in Kapitel 2.2.1 Zeitliche Dimension beschrieben, kommt es durch die zunehmende Schlaghärte und Schlagpräzision im leistungsorientierten Wettkampftennis zu einer höheren Bedeutung der Laufschnelligkeit und dementsprechend der Startschnelligkeit, für welche Reaktivkraft und Explosivkraft entscheidend sind. (Schönborn, 2006)

Für die Fähigkeit eines hohen Beschleunigungsvermögens sind Sprintkraft und Frequenzschnelligkeit von Bedeutung. (Schönborn, 2006)

„Aktionsschnelligkeit ist die Fähigkeit, azyklische, d.h. einmalige Bewegungen mit höchster Geschwindigkeit gegen geringe Widerstände auszuführen.“ (Weineck, 2007, S. 610) Ferrauti et.al. (2014) führt die Komponente der Aktionsschnelligkeit unter ‚Schlagschnelligkeit‘ und betont die wesentliche Steigerung der Schlagschnelligkeit im Hochleistungstennis in den

letzten Jahren. In Spieler- bzw. Spielerinnenkreisen wird hier auch vom „schnellen Arm“ gesprochen.

Tennisspieler und Tennisspielerinnen haben maximal eine Distanz von etwa 14 Meter zu laufen, d.h. sie befinden sich ausschließlich in der Beschleunigungsphase, für die die Start- und Explosivkraft leistungslimitierend ist (siehe Abbildung 20: Kraft-Zeit-Kurve).

Im Schnelligkeitstraining ist somit darauf zu achten, Bereiche zu trainieren, die auf die Beschleunigungsphase Einfluss nehmen.

Diese sind

- Startkraft,
- Explosivkraft,
- Sprintkraft,
- Reaktivkraft und
- Kraftschnelligkeitsausdauer

(Schönborn, 2006)

2.5.4 Ausdauer

Ähnlich wie die Kraft, ist auch die Ausdauer für den Tennissport kein absoluter leistungslimitierender Faktor, aber ohne entsprechender Ausdauer ist an ein erfolgreiches Leistungstennis nicht zu denken. (Schönborn, 2006)

„Einige Gründe dafür sind:

- Eine gute aerobe Ausdauer ist die Voraussetzung, um ein langes Training oder Match von etwa 5h ohne wesentlichem Leistungsabfall und damit der Qualität durchzuhalten.
- Eine gute aerobe Ausdauer ist der Garant für eine schnelle Regenerationsfähigkeit: während längerer Ballwechsel, während eines Matches, während eines Turniers, während einer Turnierserie, während der einzelnen Trainingseinheiten, während der Trainingstage oder innerhalb einer längerfristigen Periodisierung.“ (Schönborn, 2006, S. 176)

Weineck (2007) fügt der obigen Auflistung noch hinzu:

- Minimierung von Verletzungen, da „das vom Reflexsystem organisierte Elastizitätsverhalten von Sehnen und Muskeln nicht beeinträchtigt ist, was einen hocheffektiven Verletzungsschutz darstellt.“ (Weineck, 2007, S. 233)
- Höhere Stressresistenz und höhere psychische Stabilität.
- Verringerung technischer Fehler, da die Spieler und Spielerinnen sich länger konzentrieren können und schnell in ihren Entscheidungen und Handlungen sind.

- Verringerung ermüdungsbedingter taktischer Fehler.
- Stabilere Gesundheit, da die immunologische Abwehrlage verbessert wird. Gut ausdauertrainierte Athleten bzw. gut ausdauertrainierte Athletinnen erkranken weniger oft an banalen Infektionskrankheiten. Leistungseinbußen durch Trainings- und Wettkampfausfälle werden somit bestmöglich vermieden.

Auch aus metabolischer Sicht ist eine gute aerobe Ausdauer von Bedeutung. Wie in Kapitel 2.3 ‚Metabolische Aspekte im Tennissport‘ beschrieben, gibt es unterschiedliche Formen der Energiebereitstellung, abhängig von der Intensität der Arbeit. Bei einem sehr gut ausdauertrainierten Athleten bzw. bei einer sehr gut ausdauertrainierten Athletin, werden auch noch bei höherer Arbeitsintensität freie Fettsäuren freigesetzt. Die Glykogenvorräte werden dadurch geschont, die vor allem bei schnellen Bewegungen benötigt werden. (Schönborn, 2006)

Ferrauti et.al. (2014) schreibt von der ‚tennisspezifischen Ausdauer‘ und definiert sie als „Ermüdungswiderstandsfähigkeit gegenüber intensiven Lauf- und Schlagbeanspruchungen im Tennis sowie die rasche Regenerationsfähigkeit unmittelbar danach.“ (Ferrauti et.al., 2014, S. 285)

Im Ausdauertraining wird zwischen verschiedenen Ausdauertrainingsmethoden unterschieden. Diese sind das Regenerationstraining (REKOM), das Grundlagenausdauertraining 1 (GA1), das Grundlagenausdauertraining 2 (GA2) und das wettkampfspezifische Ausdauertraining (WSA).

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Ausdauertrainingsmethoden mit den erwünschten physiologischen Anpassungen und der notwendigen Intensität bzw. Dauer.

Tabelle 6: Ausdauertrainingsmethoden (Ferrauti et.al., 2014, S. 288)

REKOM-TRAINING (Regenerations- training)	GA-1-TRAINING	GA-2-TRAINING	WSA-TRAINING
▪ Unterstützung der Wiederherstellung ▪ Erhöhung der Mobilitätsfähigkeit für nachfolgende intensive Belastungen	▪ Stabilisierung und Entwicklung der Grundlagenausdauer ▪ Erhöhung der aeroben Leistungsfähigkeit	▪ Entwicklung der aeroben/anaeroben Leistungsfähigkeit	▪ Entwicklung der wettkampfspezifischen Ausdauer ▪ Laktattoleranz
Methode	Methode	Methode	Methode
▪ Dauermethode	▪ Extensive Dauermethode ▪ Wechselhafte Dauermethode (Fahrtspiel)	▪ Intensive Dauermethode ▪ Extensive Intervallmethode ▪ Wechselhafte Dauermethode	▪ Intensive Intervallmethode ▪ Wettkampfmethode ▪ Wiederholungsmethode
Intensität	Intensität	Intensität	Intensität
Sehr niedrig HF: 60-70 % Laktat: < 2 mmol/l	Niedrig bis mittel HF: 70-80 % Laktat: < 2,5 mmol/l	Mittel bis hoch HF: 80-90 % Laktat: 3-6 mmol/l	Hoch bis sehr hoch HF: > 90 % Laktat: > 6 mmol/l
Dauer	Dauer	Dauer	Dauer
< 45 min	> 45 min	20-60 min	10-45 min

Für den Tennissport haben sich folgende Methoden für die einzelnen Bereiche etabliert (Ferrauti et.al., 2014):

REKOM-Training:

- klassisches Grundlagenausdauertraining nach der Dauermethode

GA1-Training:

- klassisches Grundlagenausdauertraining nach der Dauermethode
- wechselhafte Dauermethode nach der Fahrtspielmethode

GA2-Training:

- wechselhafte Dauermethode nach der Fahrtspielmethode

- intervallförmige Trainingsmethoden mit mehr oder weniger hoher Intensität (z.B. High-Intensity-Ausdauertraining oder Intervallsprinttraining) außerhalb des Tennisplatzes

WSA-Training:

- intervallförmige Trainingsmethoden mit mehr oder weniger hoher Intensität (z.B. High-Intensity-Ausdauertraining oder Intervallsprinttraining) außerhalb des Tennisplatzes
- Drilltraining auf dem Tennisplatz

3 Methodik

In Kapitel 1 Einleitung wurde beschrieben, dass es sich bei dieser Arbeit um eine Systematische Literaturanalyse handelt.

3.1 Systematische Literaturanalyse

Dabei werden systematische und explizite Suchmethoden verwendet, um für eine klar formulierte Forschungsfrage (und möglicher Nebenforschungsfrage/n) relevante Forschungen zu finden. Diese Literatur wird kritisch bewertet, Daten daraus gesammelt und im Anschluss analysiert. (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman & Group, 2009, S. 1)

Vor einer Systematischen Literaturanalyse ist zu prüfen, ob bereits Arbeiten zur konkreten Forschungsfrage vorliegen, damit es wissenschaftlich gerechtfertigt ist, sich mit dem Thema näher auseinander zu setzen. Der Beurteilungsprozess der Qualität der Studien muss unvoreingenommen, reproduzierbar und transparent sein sowie die Ergebnisse von allen einbezogenen Studien aufgezeigt werden. Auch mögliche widersprüchliche Ergebnisse werden klar dargestellt. (Khan et.al., 2001)

Boland et.al. (2014, S. 10 f.) beschreiben neun Arbeitsschritte, die für eine Systematische Literaturanalyse wichtig sind.

1. Definition der Forschungsfrage und mögliche/r Nebenforschungsfrage/n.
2. Literatursuche mit Hilfe von verschiedenen Datenbanken.
3. Screening von Titel und Zusammenfassung der gefundenen Beiträge. Für das Thema nichtrelevante Literatur wird verworfen.
4. Relevante Literatur als Volltext organisieren.
5. Volltexte nach den Einschluss- und Ausschlusskriterien auswählen.
6. Qualitätsbewertung der Beiträge.
7. Genaue Datenerhebung der eingeschlossenen Beiträge.
8. Analyse und Synthese der untersuchten Daten als Meta-Analyse.
9. Schreib- und Bearbeitungsprozess: Aufarbeitung des benötigten Hintergrundwissens; Darstellung der Methoden und Ergebnisse; Diskussion der Resultate und formulieren einer Schlussfolgerung.

3.2 Datenbankrecherche

Zur Literatursuche wurden die beiden Referenzdatenbanken ‚PubMed‘ und ‚Web of Science‘ verwendet. Der festgelegte Suchzeitraum belief sich bei ‚PubMed‘ von 1966 bis 2019 und bei ‚Web of Science‘ von 1899 bis 2019. Entsprechend der Forschungsfrage bzw. auch der Nebenforschungsfrage galt es, Beiträge und Studien zu finden, die sich mit der Belastungsstruktur im leistungsorientierten Herrentennis/ mit Matchanalysen/ mit physiologischen Parametern abhängig vom Bodenbelag und ähnlichem auseinandersetzen.

Dazu wurden die beiden Referenzdatenbanken mit folgenden Suchbegriffen durchsucht:

- ✓ match profile tennis
- ✓ tennis load
- ✓ tennis match analysis
- ✓ tennis match intensity
- ✓ tennis match activity
- ✓ tennis physiology

In der Referenzdatenbank ‚PubMed‘ wurden bei obigen Suchbegriffen in Summe 366 Einträge angezeigt. ‚Web of Science‘ wies 1308 identifizierte Datensätze auf. Somit belief sich die Summe an Beiträgen, Studien, Artikel, etc. auf 1674. In mehreren Phasen wurden nun Filterungsmaßnahmen durchgeführt um nicht relevante Literatur entfernen zu können. In einem ersten Schritt konnten 574 Duplikate entfernt werden, womit 1100 Beiträge zum Screening des Titels übrigblieben. Durch diesen Screeningprozess wurden 978 Beiträge entfernt. Bei den 122 verbliebenen Beiträgen wurden die Zusammenfassungen studiert und bei, für die Diplomarbeit irrelevantem Inhalt, dieser Beitrag ($n = 97$) verworfen. 25 Publikationen gingen durch den Prozess der Volltextanalyse, wobei neun Studien nach bestimmten Kriterien ausgewählt wurden, um die Daten der Studien genau zu betrachten bzw. zu vergleichen.

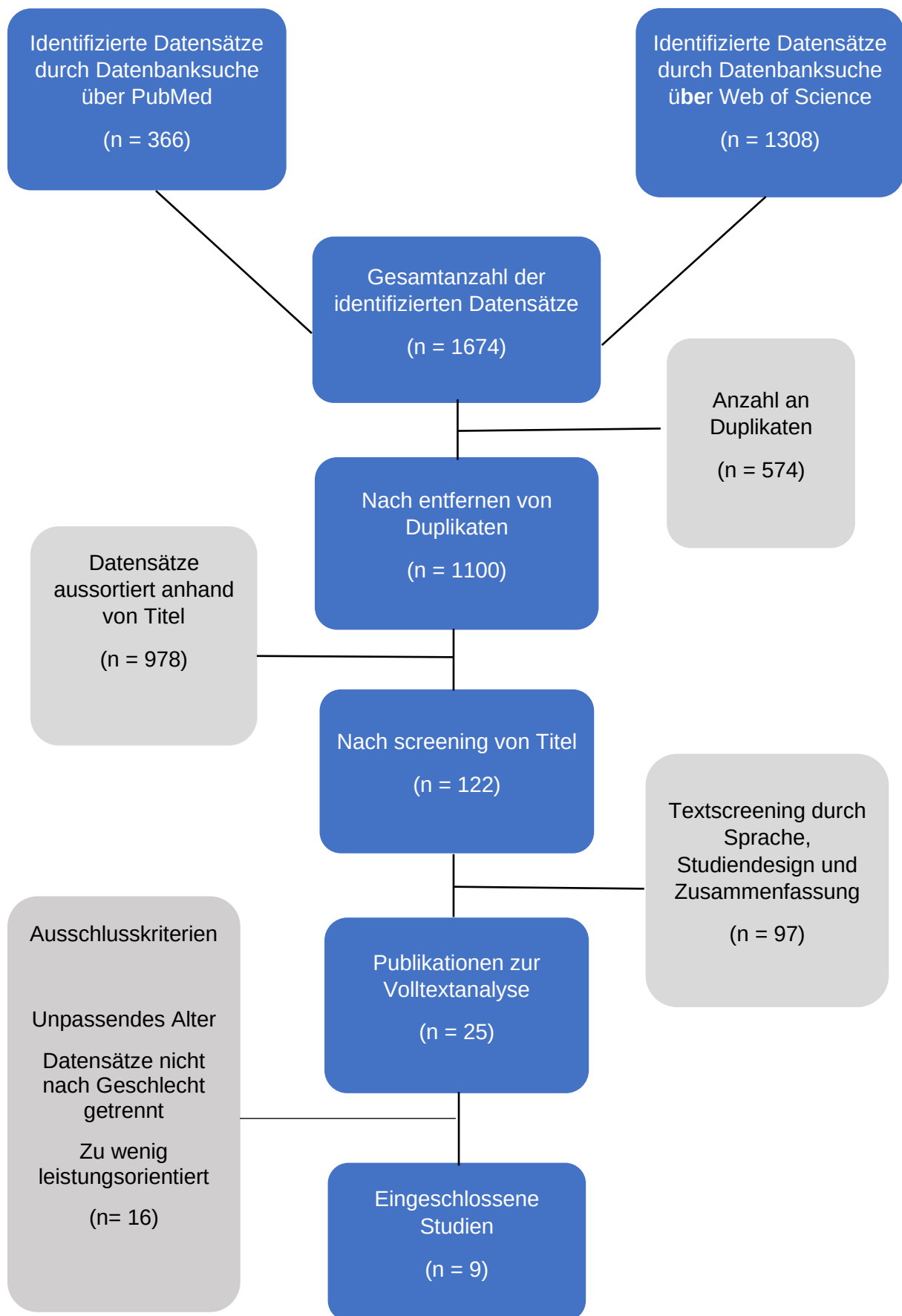


Abbildung 19: Flussdiagramm der aus- und eingeschlossenen Studien

3.3 Ein- und Ausschlusskriterien für die Wahl der Studien

Sämtliche Artikel, Beiträge und Studien, die die beiden Referenzdatenbanken identifiziert haben, wurden nach bestimmten Kriterien und Screeningprozesse gefiltert. In einem ersten Schritt wurden sämtliche Beiträge anhand ihres Titels gefiltert. Da diese Arbeit eine Übersichtsarbeit für das leistungsorientierte Herrentennis ist, wurden Beiträge, deren Titel Begriffe wie z.B. ‚young tennis players‘, ‚female tennis‘, ‚wheelchair tennis‘, ‚table tennis‘, ‚padel tennis‘, ‚double tennis‘, ‚recreational tennis‘ oder ähnliches enthielten verworfen und auch nicht weiter beachtet. Der nächste Filterungsprozess war das Studieren von den Abstracts der 122 übriggebliebenen Beiträgen. Erst dabei konnte teilweise festgestellt werden, dass die Spielerinnen und Spieler nicht in die, für die Studie korrekte Altersgruppe eingestuft werden können. Als Beispiel: Die Studie mit dem Titel ‚Differences between running activity in tennistraining and matchplay‘ konnte erst nach dem Lesen des Abstracts verworfen werden. Die Spieler, die an dieser Studie teilnahmen, waren in einem Altersbereich von $13,8 \pm 1,2$ Jahren. Das hier Jugendliche untersucht worden sind hat der Titel nicht verraten. Der letzte Filterungsprozess war die abschließende Volltextanalyse. Für die vorliegende systematische Literaturanalyse wurden alle Studien verwendet, die den Einschlusskriterien entsprachen.

3.3.1 Studiendesign

Für die Beantwortung der Forschungsfragen wurden randomisierte Primärstudien verwendet. Unabhängig von den Interventionen im jeweiligen Studienprozess, musste das Ziel jeder einzelnen Studie sein, physiologische und spielspezifische Parameter im leistungsorientierten Herrentennis in einer Wettkampfsituation zu untersuchen. Studien unter Trainingsbedingungen wurden verworfen.

Ein weiteres Kriterium, damit die Studie in die Ergebnisanalyse miteinbezogen wurde, ist eine Abfassung in deutscher oder englischer Sprache. Während des gesamten Filterungsprozesses musste nur eine Studie aufgrund eines französischen Volltextes verworfen werden.

Folgende Punkte mussten erfüllt werden:

- ✓ englisch- oder deutschsprachige Studien
- ✓ Primärstudien
- ✓ Studien mit verfügbarem Volltext
- ✓ Erfüllung der Einschlusskriterien

3.3.2 Einschlusskriterien

Enthalten Studien einen der folgenden Parameter, werden sie in die Ergebnisanalyse eingeschlossen. Erscheinungsjahr der Studie ist irrelevant.

3.3.2.1 Allgemeine Einschlusskriterien:

- Matchsituation (Trainingsmatch oder Turniermatch)
- Ausgeruhter Zustand zu Matchbeginn
- Matchdauer ca. 60 – 120 Minuten (Simulation von ‚Best of 3‘)
- Leistungsorientierter männlicher Tennisspieler (Nationale Spitze bzw. Internationales Niveau)
- Spieler ist zum Zeitpunkt der Studie gesund
- Mindestalter 16 Jahre
- Messen von mindestens einem ‚Speziellen Einschlusskriterium‘

3.3.2.2 Spezielle Einschlusskriterien:

- Herzfrequenzmessung
- Laktatmessung
- Messung bzw. Berechnung der Sauerstoffaufnahme
- Abschätzen des subjektiven Belastungsempfinden
- Dauer der Ballwechsel
- Gelaufene Distanz
- Verhältnis Belastung/Erholung

Im Folgenden werden die ‚Speziellen Einschlusskriterien‘ beschrieben und es wird erklärt, wie die einzelnen Parameter konkret bei den Studien gemessen bzw. errechnet wurden.

3.3.2.2.1 Herzfrequenzmessung

Die Herzfrequenz in Schläge pro Minute wurde bei jeder Studie direkt in der Matchsituation gemessen. Die Möglichkeit der dauerhaften Messung ohne Unterbrechung ist ein wesentlicher Vorteil. Im folgendem werden die Studien chronologisch nach ihrem Erscheinungsjahr gelistet und beschrieben, wie die Herzfrequenz gemessen wurde. Die Bezeichnungen wurden direkt aus den jeweiligen Studien entnommen.

Christmass et.al. (1998): Ein Sender (Siemens TC 36/T, Erlangen, Deutschland) wurde an den Probanden angebracht, um die Herzfrequenz mittels Funktelemetrie zu überwachen.

Smekal et.al. (2001): Die Herzfrequenz wurde mittels eines Brustgurt-Telemetriesystem (Polar NV, Finnland) bestimmt.

Hornery et.al. (2007): Mit Hilfe eines Brustgurts von Polar Team System (Polar Electro Oy, Finnland) konnte die Herzfrequenz gemessen werden.

Murias et.al. (2007): Die Herzfrequenz wurde mit einem Polar Vantage NV-Herzfrequenzmesser (Polar Electro Oy) aufgezeichnet.

Gomes et.al (2011): Die Herzfrequenz wurde während des Spiels mit einem Brustgurt (Polar Team System©, Polar, Kempele, Finnland) überwacht und aufgezeichnet.

Kilit et.al. (2016): Alle Spieler waren mit einem Polar-Brustgurt-Telemetriemonitor ausgestattet, um ihre Herzfrequenz aufzuzeichnen.

Hoppe et.al. (2016): Die Herzfrequenzen wurden mittels Nahbereichstelemetrie (Suunto, t6, Vantaa, Finnland) aufgezeichnet.

3.3.2.2.2 Laktatmessung

Hier gab es unterschiedliche Methoden, die Blutlaktatkonzentration in Millimol pro Liter Blut (mmol/l) zu messen. Im folgendem werden die Studien chronologisch nach ihrem Erscheinungsjahr gelistet und beschrieben, wie die Blutlaktatkonzentration gemessen wurde. Die Bezeichnungen wurden direkt aus den jeweiligen Studien entnommen.

Christmass et.al. (1998): Kapillarblutproben wurden mit einem Fingereinstich (Unilet, Owen Mumford, Woodstock, UK) von der Nicht-Schlaghand bei jedem Seitenwechsel entnommen.

Smekal et.al. (2001): Nach jedem Game gab es eine Pause von 30 Sekunden für die Blutentnahme und die anschließende LA-Analyse. Blutproben vom hyperämischen Ohrläppchen wurden 5 ± 10 Sekunden nach Beendigung jedes Spiels entnommen.

Murias et.al. (2007): Während der Spiele wurde LA für jeden Spieler alle 10 Minuten gemessen. In dem Fall, dass ein Punkt gespielt wurde, wurde der Abschluss dieses Punktes abgewartet, um die Blutproben zu entnehmen. Die Blutproben wurden aus dem Ohrläppchen entnommen und unter Verwendung der elektroenzymatischen Methode mit einem YSI 1500 Sport-Laktat-Analysegerät (Yellow Spring Instruments, Yellow Springs, OH) abgelesen.

Mendez-Villanueva et.al. (2010): Die Blutlaktatkonzentration wurde aus 25 µl kapillarisierten Blutproben aus dem Ohrläppchen am Ende des ersten, dritten und jedes nachfolgenden ungeraden Spiels eines jeden Satzes bestimmt und mit einer elektroenzymatischen Methode (Analox Micro Stat GM7; Analox Instruments Ltd., London) analysiert.

Gomes et.al. (2011): Die Blutproben wurden nach jedem Satz durch Kapillarblut aus dem Ohrläppchen entnommen und durch Accucheck©-Monitore (Roche©, Deutschland) bestimmt.

Hoppe et.al. (2016): Die Laktatkonzentrationen wurden nach jeweils 30 Minuten Spielzeit aus 20 µl Kapillarblutproben aus dem Ohrläppchen bestimmt und unter Verwendung eines elektroenzymatischen Analysegeräts (EKF-Diagnostics, Biosen C_line Sport, London) analysiert.

3.3.2.2.3 Messung bzw. Berechnung der Sauerstoffaufnahme

Die Messung der individuellen Sauerstoffaufnahme (VO_2) ist eine Möglichkeit, um Informationen über die Spielintensität während eines Tennismatches zu erhalten. Gültige Messungen von Durchschnitts- und Spitzenintensitäten während eines Tennismatches können so ermittelt werden. Eine kontinuierliche Messung der individuellen Sauerstoffaufnahme ist aber nur mit einem tragbaren Gasanalysegerät möglich, aufgrund der offensichtlichen Einschränkungen unter Turnierbedingungen aber unrealistisch. Test- bzw. Simulationsmatches bieten hierfür jedoch eine gute Möglichkeit. (Fernandez-Fernandez et.al., 2009)

Drei Studien bedienten sich für die Messung der Sauerstoffaufnahme in Milliliter Sauerstoff pro Minute und pro Kilogramm Körpergewicht ($\text{mlO}_2 \times \text{min}^{-1} \times \text{kgKG}^{-1}$) mit einem portablen Gasanalysegerät, welches beim Spiel getragen werden kann.



Abbildung 20: Beispiel für ein portables Gasanalysegerät (Quelle: <https://www.cosmed.com/de/produkte/spiroergometrie/k4>; Zugriff am 01.12.2019)

Smekal et.al. (2001): Beide Spieler waren mit einem tragbaren System zur Gasanalyse (Cortex Metamax) ausgestattet. Die Atemgasaustauschmessungen wurden in Abständen von 10 Sekunden berechnet.

Murias et.al. (2007): Die Sauerstoffaufnahme wurde während des Spiels ungefähr 30 Minuten lang unter Verwendung des tragbaren Atemgasaustauschsystems Cosmed K4b gemessen. Zwischen der 15. und 45. Minute des Spiels trug Spieler 1 das Gerät 30 Minuten lang. Das Gerät wurde ausgetauscht und Spieler 2 trug es zwischen der 50. und 80. Minute des Spiels weitere 30 Minuten. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass nur ein tragbares Atemgasaustauschsystem zur Verfügung stand, das nur an zwei Tagen der Auswertung auf

dem Spielfeld verwendet werden konnte und dass die Sauerstoffaufnahme aller Spieler auf beiden Oberflächen gemessen werden sollte, wurde entschieden, dass jeder Spieler das Gerät für 30 Minuten auf jeder Oberfläche tragen sollte. Diese Entscheidung basierte auf Ferrauti et.al. (2001), die bei einer 2-stündigen Messung von VO_2 für jeden Zeitraum von 30 Minuten, keine signifikanten Unterschiede feststellten.

Kilit et.al. (2016): Zwei tragbare Geräte (K4b2, Cosmed, Rom, Italien) wurden verwendet, um die Sauerstoffaufnahme bei den Spielern während der Matches zu messen.

3.3.2.2.4 Abschätzen des subjektiven Belastungsempfinden

Das subjektive Belastungsempfinden, in Englisch ‚Received Perception of Exertion‘ (RPE), wurde in drei der vier Studien, die diesen Parameter untersuchte, mit Hilfe der BORG-Skala (RPE 6 – 20) ermittelt.

RPE-Skala	subjektives Belastungsempfinden
6	überhaupt keine Anstrengung
7	extrem leicht
8	
9	sehr leicht
10	
11	leicht
12	
13	etwas schwer
14	
15	schwer
16	
17	sehr schwer
18	
19	extrem schwer
20	grösstmögliche Anstrengung

Abbildung 21: BORG-Skala (Quelle: <https://www.fitnesstribune.com/wie-genau-ist-eine-intensitaetssteuerung-ueber-rpe-skalen/>; Zugriff am 01.12.2019)

Bei Gomes et.al. (2011) wurde die Intensität unter Verwendung der modifizierten BORG-Skala (CR-10-Skala) am Ende eines jeden Satzes gemessen.

Modifizierte Borg-Skala	
0	Ruhe
1	Sehr leicht
2	Leicht
3	Mäßig
4	Etwas anstrengend
5	Anstrengend
6	
7	Sehr anstrengend
8	
9	Sehr, sehr anstrengend
10	Wie mein härtester Wettkampf

Abbildung 22: Modifizierte BORG-Skala (Quelle: <https://sportsandmedicine.com/de/2017/02/belastungsempfinden-messen-die-borg-skala-oder-rpe-skala/>; Zugriff am 02.02.2020)

3.3.2.2.5 Dauer der Ballwechsel

Die Dauer der Ballwechsel, in Englisch „Duration of Rally (DR)“ wurden unterschiedlich gemessen, aber jeweils in Sekunden pro Rally ausgegeben. Als Rally wird im Tennis üblicherweise ein Ballwechsel bezeichnet, d.h. wie oft der Ball über das Netz geschlagen wird, bis ein Spieler oder eine Spielerin den Punkt gewinnt. Im folgendem werden die Studien chronologisch nach ihrem Erscheinungsjahr gelistet und beschrieben, wie die Dauer der Ballwechsel gemessen wurde. Die Bezeichnungen wurden direkt aus den jeweiligen Studien entnommen.

Christmass et.al. (1998): Die Dauer der Ballwechsel wurden aus einer Videoaufzeichnung bestimmt. Nähere Angaben zum technischen Equipment konnten aus dem Volltext nicht entnommen werden.

Smekal et.al. (2001): Es wurde ein eigenes Spielprotokoll entwickelt, um u.a. die Dauer jeder Rallye zu überwachen und aufzuzeichnen. Das Protokoll enthielt auch Informationen über die Punkte, die der aufschlagende und annehmende Spieler gewonnen oder verloren hatte. Aus diesen Daten wurde für jedes Spiel die Dauer der Rallye berechnet.

Hornery et.al. (2007): Die Matches wurden mit einer digitalen Videokamera (Sony DCR-VX2000E PAL, Japan) gefilmt und mithilfe einer Software (TenTimer V1.1, AIS, Canberra) u.a. die Dauer der Rallies berechnet.

Murias et.al. (2007): Jedes Spiel wurde auf Video aufgezeichnet, um u.a. die Spielzeit und die Dauer der Ballwechsel zu bestimmen.

Mendez-Villanueva et.al. (2010): Die Spiele wurden mittels Videoaufzeichnungen von zwei Kameras (Sony Handycam, DCR-HC24E, Japan) festgehalten. Ein von Smekal et.al. (2001) entwickeltes modifiziertes Spielprotokoll wurde verwendet, um die Dauer jeder Rallye zu bestimmen.

Gomes et.al. (2011): Eine einfache Matchnotationsanalyse wurde von Linienrichtern manuell mit Stift und Papier durchgeführt, indem die Anzahl der Schläge gezählt wurde, die jeder Spieler während jeder Rallye spielte.

Hoppe et.al. (2016): Das Tennismatch wurde von zwei Kameras (Sony, DCR-SR190, Tokio, Japan) gefilmt, um aus dem Video die Dauer der Rallies bestimmen zu können.

Kilit et.al. (2016): Das von Smekal et al. (2001) entwickelte Matchprotokoll, wurde auch hier zur Aufzeichnung der Dauer jeder Rallye verwendet.

3.3.2.2.6 Gelaufene Distanz

Murias et.al. (2007): Um die zurückgelegte Strecke zu berechnen, wurde ein 21-Zoll-Flachbildfernseher mit einem Raster mit verschiedenen großen Quadraten verwendet. Es wurde ein Proportionalitätsmodell berechnet, bei dem für jede Seite der Quadrate ein Abstand in Metern entsprechend der Größe des Spielfelds angegeben wurde. Alle Berechnungen wurden vom gleichen Bewerter durchgeführt, um Fehler zwischen Bewertern zu vermeiden und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu verbessern.

Pereira et.al. (2016): Zwei Digitalkameras mit einer Erfassungsfrequenz von 30 Hz zeichneten die Spiele auf und DV-Video-Software lieferte die Position der Spieler während des gesamten Spiels. Die Dauer der Rallye wurde durch die Anzahl der Bilder zwischen dem Start (ein gültiger Aufschlag) und dem Ende der Rallye bestimmt, wobei die Erfassungsfrequenz der Kamera berücksichtigt wurde.

3.3.3 Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien sind Fakten, die das Screening der Titel, der Abstracts und des Volltextes erleichtern sollen, um jene Studien herauszufiltern, die die notwendigen und richtigen Informationen enthalten.

Ist eines der folgenden Ausschlusskriterien zutreffend, werden die Artikel unverzüglich verworfen:

- nicht englisch- oder deutschsprachig
- Freizeitspieler
- Kein zumindest hohes nationales Niveau
- Tennisspielerinnen
- Studien zu Jugendlichen oder Senioren
- keine Primärstudien (Reviews, Kommentare, ...)
- Interviews
- Studien zu anderen Rückschlagsportarten wie z.B. Tischtennis
- Rollstuhltennis
- Doppelmatch
- Studien zu Tennisverletzungen

3.4 Eingeschlossene Studien

Nach der Volltextanalyse und somit dem letzten Screeningprozess, verblieben neun Studien für die vorliegende Arbeit. Die Publikationsjahre erstrecken sich von 1998 bis 2016, wobei fünf der neun Studien ein Publikationsjahr von 2010 oder jünger aufweist. Die für die Arbeit analysierte Literatur kann somit durchaus als aktuell angesehen werden. In der folgenden Tabelle wurden die eingeschlossenen Studien chronologisch nach dem Publikationsjahr aufgelistet.

In Summe wurden in den neun Studien 76 Spieler untersucht. Da das leistungsorientierte Herrentennis im Mittelpunkt stand, mussten die Spieler mindestens hohes nationales Niveau besitzen. Die Trainingshäufigkeiten der Spieler waren leider nur bei drei der neun Studien angegeben. Diese lagen bei 5 Einheiten pro Woche bzw. 20 bis 30 Stunden pro Woche. Bei Spielern auf semiprofessionellem bzw. professionellem Niveau kann aber davon ausgegangen werden, dass öfter als 2- oder 3-mal pro Woche trainiert wird.

Tabelle 7: Übersicht der eingeschlossenen Studien (k.A. = keine Angabe)

Autoren	Christmass et.al.	Smekal et.al.	Homery et.al.	Murias et.al.	Mendez-Villanueva et.al.	Gomes et.al.	Hoppe et.al.	Kilit et.al.	Pereira et.al.
Publikationsjahr	1998	2001	2007	2007	2010	2011	2016	2016	2016
Matchbedingungen	Testmatch	Testmatch	Turniermatch	Testmatch	Turniermatch	Testmatch	Testmatch	Testmatch	Turniermatch
Sandplatzmatch		x	x	x	x		x		x
Hartplatzmatch	x		x	x		x		x	
Anzahl der Studienteilnehmer	8	20	14	4	8	2	2	10	8
Niveau der Spieler	Staatsebene	Staatsebene 10 Top100/ 10 Top200	ATP Nr. 125 bis 882	Argentinian Professional National Circuit	ATP bis Nr. 500	ATP Nr 78 und 120	Elite in GER German-Ranking 1 (von 1-23)	International ITN 1-2 (ATP 800-1600)	ATP Future
Spieldauer der Matches	1,5h	50 min	Best of 3	1,5h	Best of 3	197 min bzw. 4 Sätze	2h	1h	Best of 3
Alter der Spieler (in Jahre)	24 ± 2	26 ± 3,7	21,4 ± 2,6	16,9 ± 0,7	27 ± 4,4	20 bzw. 26	29 bzw 26	22,2 ± 2,8	k.A.
Trainingsjahre der Spieler	k.A.	k.A.	5 Jahre Turniererfahrung	mind. 6 Jahre	16 ± 2	k.A.	20 Jahre	6-8 Jahre	k.A.
Trainingshäufigkeit	k.A.	k.A.	32 h /Woche	k.A.	k.A.	k.A.	5x / Woche	20-30h / Woche	K.A.
Messparameter									
Herzfrequenzmessung	x	x	x	x		x	x	x	
Laktatmessung	x	x		x	x	x	x		
VO2		x		x				x	
Subjektive Anstrengung					x	x	x	x	
Dauer der Rallies	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gelaufene Distanz				x					x
Verhältnis Belastung/Erholung	x	x		x			x	x	

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Folgende Erläuterungen zu den Belastungen bzw. Beanspruchungen im leistungsorientierten Herrentennis, basieren auf neun Studien, die in Summe 76 männliche Tennisspieler untersuchten. Die Tabelle gibt einen Überblick über die Verteilung der Studienteilnehmer nach Studie.

Tabelle 8: Anzahl der Studienteilnehmer aller eingeschlossenen Studien

Eingeschlossene Studien	Anzahl der Studienteilnehmer
Christmass et.al. (1998)	8
Smekal et.al. (2001)	20
Homery et.al. (2007)	14
Murias et.al. (2007)	4
Mendez-Villanueva et.al. (2010)	8
Gomes et.al. (2011)	2
Hoppe et.al. (2016)	2
Kilit et.al. (2016)	10
Pereira et.al. (2016)	8
Gesamt	76

4.1 Herzfrequenzwerte

Tabelle 9: Herzfrequenzwerte der eingeschlossenen Studien (Schläge pro Minute $\pm$ Standardabweichung bzw. Herzfrequenzbereich; bpm = beats per minute)

Sandplatz		
Studie	Testmatch	Turniermatch
Smekal et.al (2001)	151 $\pm$ 19	
Murias et.al. (2007)	143 $\pm$ 22	
Hornery et.al. (2007)		146 $\pm$ 19 (130–167 bpm)
Hartplatz		
Studie	Testmatch	Turniermatch
Hornery et.al. (2007)		152 $\pm$ 15 (137–173 bpm)
Murias et.al. (2007)	135 $\pm$ 21	
Kilit et.al. (2016)	142,7 $\pm$ 9,5	

Die Tabelle zeigt nicht alle, in den eingeschlossenen Studien, gemessenen Herzfrequenzwerte, sondern zeigt nur jene Studien, die einen Mittelwert der Studienteilnehmer ausgewiesen haben. Bei Hornery et.al. (2007) wurde zusätzlich zum Mittelwert noch der Herzfrequenzbereich angegeben.

Generell gab es bei der Herzfrequenzmessung mehrere Varianten der Darstellung, die eine Übersicht in einer gemeinsamen Tabelle nicht möglich machte.

So wurden z.B. bei Hoppe et.al. (2016), die Mittelwerte in 30-minütigen Zeitintervallen über eine Dauer von zwei Stunden gemessen. Spieler 1 bewegte sich in diesem Testmatch auf Sand zwischen 83 – 86,8 % und Spieler 2 zwischen 83,4 – 85,7% seiner auf einem Laufband vorab getesteten maximalen Herzfrequenz. Beide Spieler hatten als Reaktion auf das Testmatch einen ähnlich hohen physiologisch-perzeptuellen Stress. Die Mittelwerte der beiden Spieler waren etwas höher als im Review von Fernandez-Fernandez et.al (2009) mit 70 bis 80% angegeben, trotzdem kann man sie aus meiner Sicht immer noch als moderat einstufen. Die Maximalwerte in ‚Schläge pro Minute‘ wurden bei Hoppe et.al. (2016) leider nicht ausgewiesen. Ich denke, dass durch die maximal erreichten Herzfrequenzwerte bzw. durch Angabe des gesamten Herzfrequenzbereichs, der intermittierende Charakter des Tennisspiels mit teils sehr intensiven Phasen noch besser dargestellt werden kann.

Bei Smekal et.al. (2001) wurde auch der Einfluss des taktischen Verhaltens (Defensiv- oder Offensivspieler) untersucht. Der Durchschnittswert von 270 gespielten Games lag bei 151 ± 19 Schlägen pro Minute, wobei beim Vergleich von Spielen zweier Defensivspieler mit Spielen mit mindestens einem Offensivspieler, die mittlere Herzfrequenz signifikant höher war.

Hornery et.al. (2007) testete 14 Spieler unter realen Turnierbedingungen. Jene Spieler auf Hartplatz zeigten einen Herzfrequenzmittelwert von 152 ± 15 (SD) Schlägen pro Minute bei einem Bereich von 137 – 173 Schlägen pro Minute, jene auf Sandplatz hatten einen Mittelwert von 146 ± 19 (SD) Schlägen pro Minute bei einem Bereich von 130 – 167 Schlägen pro Minute und somit eine geringere Beanspruchung als die Hartplatzspieler. Dies ist insofern interessant, da die Rallies im Durchschnitt auf Sandplatz länger dauerten als jene auf Hartplatz (siehe Kapitel 4.5: Dauer der Ballwechsel)

Die Ergebnisse von Hornery et.al. (2007) stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen von Murias et.al. (2007), der für Sandplatzspieler mit einem Wert von 143 ± 22 (SD) höhere Herzfrequenzmittelwerte untersuchte als jene von den Hartplatzspielern mit 135 ± 21 (SD). Die mittlere Herzfrequenz war auf Sandplätzen signifikant höher als auf Hartplätzen ($p < 0,05$). Die maximal erreichten Herzfrequenzwerte entsprachen 93% (Hartplatz) bzw. 94% (Sandplatz) der maximalen Herzfrequenz, die zuvor bei einem 20m-Pendellauf erreicht wurden. Diese Werte bestätigen nicht nur die teils hohe Intensität beim Tennis, sondern auch, dass die kardiovaskulären Belastungen eine physiologische Herausforderung für die Dauer eines Matches darstellen. Die Pausen zwischen den Punkten bzw. zwischen den Games geben jedoch auch die Möglichkeit, sich von der hohen Intensität zu erholen, wodurch die zuvor festgestellte hohe kardiovaskuläre Belastung relativiert werden kann.

Bei Gomes et.al. (2011) wurden die Herzfrequenzdaten in Herzfrequenzbereiche eingeteilt, um die Dauer anzuzeigen, in denen niedrige ($<70\% HR_{max}$), mittlere ($70-85\% HR_{max}$) und hohe Intensität ($> 85\% HR_{max}$) auftrat. Gespielt wurde ein Testmatch auf einem Hartplatz über 4

Sätze, um auch die physiologischen Reaktionen bei einem länger andauernden Spiel zu untersuchen.

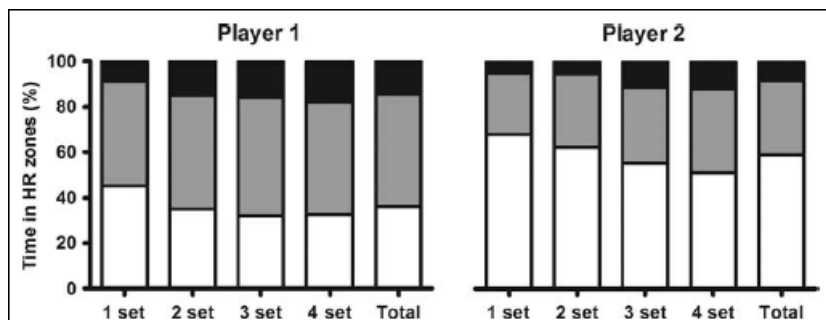


Abbildung 23: Herzfrequenzbereiche bei Gomes et.al. 2011 (weißer Bereich: niedrige Intensität (<70% HR_{max}), grauer Bereich: mittlere Intensität (70–85% HR_{max}), schwarzer Bereich: hohe Intensität (> 85% HR_{max}))

Die Herzfrequenzreaktionen während des Spiels waren ähnlich denen früherer Tennisstudien (Fernandez et. al., 2006; Hornery, Farrow, Mujika & Young, 2007; Smekal et. al., 2001), die eine moderate aerobe Belastung im Leistungstennis zeigten. Ein weiteres Ergebnis der vorliegenden Studie ist der Anstieg des Zeitanteils, den beide Spieler mit fortschreitender Dauer des Matches in den gemäßigten und höheren Herzfrequenzbereichen verbracht haben.

Tabelle 10: Herzfrequenzbereiche bei Gomes et.al. (2011)

Herzfrequenz in Schläge pro Minute	Satz 1	Satz 2	Satz 3	Satz 4
Spieler 1 (mittlere Herzfrequenz (Bereich von - bis))	137 (86 - 176)	144 (90 - 171)	152 (93 - 177)	154 (86 - 179)
Spieler 2 (mittlere Herzfrequenz (Bereich von - bis))	128 (70 - 169)	138 (85 - 160)	143 (87 - 166)	146 (81 - 173)

Mittlere Herzfrequenz und das subjektive Belastungsempfinden (siehe Kapitel 4.4) nahmen im Verlauf des Spiels zu und zeigten zunehmenden perzeptuellen und physiologischen Stress. In der Studie wurde leider nicht veröffentlicht, welchen prozentualen Anteil die höchsten Herzfrequenzwerte (179 bpm bei Spieler 1 bzw. 173 bpm bei Spieler 2) von der maximalen Herzfrequenz einnehmen.

Die Mittlere Herzfrequenz bei Kilit et.al. (2016) von 142,7 Schlägen $\pm$ 9,5 (SD) bedeutete im Durchschnitt eine Beanspruchung von 73,1% der maximalen Herzfrequenz und somit eine im Durchschnitt moderate Belastung. Die absoluten Herzfrequenzwerte wurden in der Studie leider nicht veröffentlicht. Ein weiterer Zweck dieser Studie war es, die Auswirkungen von Aufschlag und Rückschlag auf die physiologischen Reaktionen bei professionellen Tennisspielern während eines einstündigen simulierten Tennismatches zu untersuchen. Signifikante Unterschiede wurden zwischen den Aufschlagspielen (74,9% $\pm$ 1,7) und den Rückschlagspielen (71,1% $\pm$ 1,8) in Bezug auf %HR_{max} festgestellt. Auch die

Sauerstoffaufnahme und das subjektive Belastungsempfinden waren bei den Aufschlagsspielen höher.

Zusammenfassend bewegen sich die Mittelwerte im leistungsorientierten Herrentennis im Bereich von ca. 140 – 150 Schlägen pro Minute, die um die 70 – 85% der maximalen Herzfrequenz bedeuten und somit moderat sind. Die in einem Match erreichten Höchstwerte erreichen bis zu über 90% der maximalen Herzfrequenz. In diesen, jedoch meist kurzen Phasen kann durchaus von einer hohen bis sehr hohen Intensität gesprochen werden. Die Mittelwerte in Abhängigkeit der Spielfläche unterscheiden sich kaum. Die kardiovaskulären Belastungen können hier durchaus als gleich angenommen werden.

Die Mittelwerte der Turnierspiele sind im Vergleich zu den Testmatches nicht signifikant höher, aber sie bewegen sich, trotz meist kürzerer Ballwechseldauer (siehe Kapitel 4.5: Dauer der Ballwechseleingeschlossenen Studien) zumindest im oberen Bereich der untersuchten Herzfrequenzbereiche. Der höhere psychische Druck und die womöglich höhere Intensität in einer Turniersituation dürfte dies bewirken.

4.2 Laktatwerte

Tabelle 11: Laktatwerte der eingeschlossenen Studien (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung bzw. Absolutwerte in $\text{mmol} \times \text{L}^{-1}$, k.A. = keine Angabe)

Studie	Sandplatz		Maximalwerte
	Testmatch	Turniermatch	($\text{mmol} \times \text{L}^{-1}$)
Smekal et.al (2001)	$2,07 \pm 0,88$		5,2
Murias et.al. (2007)	1.65 ± 0.60		3,8
Hoppe et.al. (2016)	Spieler 1: $1,9 - 2,7$ ($\text{mmol} \times \text{L}^{-1}$)		2,7
	Spieler 2: $2,6 - 4,7$ ($\text{mmol} \times \text{L}^{-1}$)		4,7
Mendez-Villanueva et.al. (2010)		Service: $4,4 \pm 2,4$ Return: $3,0 \pm 1,3$	k.A. k.A.
Studie	Hartplatz		Maximalwerte
	Testmatch	Turniermatch	($\text{mmol} \times \text{L}^{-1}$)
Christmass et.al (1998)	$3,5 - 7,2^*$ ($\text{mmol} \times \text{L}^{-1}$)		7,2*
Murias et.al. (2007)	1.16 ± 0.34		3,4
Gomes et.al. (2011)	Spieler 1 ($\text{mmol} \times \text{L}^{-1}$)		4,1
	nach 1.Satz: 2,8 nach 2.Satz: 3,2 nach 3.Satz: 4,1 nach 4.Satz: 2,6		
	Spieler 2 ($\text{mmol} \times \text{L}^{-1}$)		5,0
	nach 1.Satz: 3,2 nach 2.Satz: 3,7 nach 3.Satz: 5,0 nach 4.Satz: 2,2		

*geschätzt anhand eines Balkendiagramms

Die Blutlaktatkonzentrationswerte sind naturgemäß schwieriger zu messen als z.B. die Herzfrequenzwerte, da die Messungen nur zu bestimmten Zeitpunkten erfolgen können und auch einen Bruch des Spielrhythmus darstellen. Wie aus obiger Tabelle ersichtlich, wurden die Blutlaktatkonzentrationen auch nur in einer der sechs Studien mit Laktatanalyse, in einer realen Turniersituation gemessen.

In der Studie von Mendez-Villanueva et.al. (2010) konnten einige Spieler gefunden werden, die es in einer realen Turniersituation zuließen, sich Blut aus dem Ohrläppchen entnehmen zu lassen. Alle Blutproben wurden während der Seitenwechselferien entnommen, die am Ende des ersten, dritten und jedes nachfolgenden ungeraden Games eines jeden Satzes stattfanden. Die Anzahl der Blutproben war je nach Dauer des Matches (2 oder 3 Sätze) unterschiedlich. In einigen Fällen wurden jedoch die Studienverfasser an der Blutabnahme gehindert, da die Spieler durch verlorene Spiele verärgert waren und in der Pause keine Unterbrechung wollten.

Die Aufschlagsspieler verzeichneten einen Mittelwert von $4,4 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1} \pm 2,4 \text{ (SD)}$, jener Wert der Rückschlagspieler war mit $3,0 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1} \pm 1,3 \text{ (SD)}$ signifikant niedriger.

Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen von Kilit et.al (2016) bezüglich den Herzfrequenzen in Abhängigkeit von Aufschlag oder Rückschlag. Aufschläger hatten mit $74,9\% \pm 1,7$ signifikant höhere Werte als die Rückschläger mit $71,1\% \pm 1,8$ in Bezug auf die prozentual maximale Herzfrequenz festgestellt. Die maximal erreichten Blutlaktatkonzentrationen wurden nicht ausgewiesen.

Die Spieler in der Studie von Smekal et.al. (2001) absolvierten ein Simulationsmatch, in denen ihnen jedoch nach jedem Game Blut zur Laktatanalyse abgenommen wurde. Somit ergeben sich hier viele Messwerte, die ein möglichst realistisches Abbild der Beanspruchungen ergeben werden. Der Mittelwert der Spieler lag bei $2,07 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1} \pm 0,88 \text{ (SD)}$. Das Ergebnis deckt sich mit den Aussagen von Mendez-Villanueva et.al. (2010), dass Tennisspieler durchschnittliche Blutlaktatwerte von $1,5 - 3,0 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$ haben.

Die Rate des glykolytischen Energieumsatzes während eines Spiels kann somit als moderat angesehen werden. Diese Aussage passt auch zu den Werten der Studie von Hoppe et.al. (2016) mit Werten zwischen $1,9 - 4,7 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$.

Bei langen und intensiven Rallies können die Laktatkonzentrationen im Blutkreislauf jedoch auf bis zu $8 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$ ansteigen. Bei Smekal et.al. (2001) konnte ein Maximalwert von $5,2 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$ gemessen werden.

Die Zeitpunkte der Laktatmessungen waren generell sehr unterschiedlich. So wurde den Spielern in der Studie von Gomes et.al. (2011) nur nach jedem abgeschlossenen Satz Blut zur Laktatanalyse abgenommen. Aber auch hier zeigen sich (siehe Tabelle 11) eher moderate Laktatkonzentrationen, speziell nach den ersten beiden Sätzen.

Die Abnahme der Blutlaktatkonzentration im vierten Satz fiel mit kürzeren Rallyes, aber mit höheren Herzfrequenzen und RPE-Werten zusammen, was auf eine Zunahme der Erschöpfung während der letzten Sätze eines längeren Tennisspiels hindeutet. Es ist nicht klar, ob dies auf taktische Änderungen während des Spiels zurückzuführen war, so Gomes et.al. (2011).

Relativ hohe Laktatkonzentrationen wurden in der Studie von Christmass et.al. (1998) gemessen. Worauf dies zurückzuführen ist, ist mir auch aus der Volltextanalyse nicht genau ersichtlich. Ein Erklärungsversuch sind die relativ langen Rallys mit einer Dauer von im Mittel $10,2 \text{ s} \pm 0,3 \text{ (SD)}$. Spieler auf Staatsliganiveau spielten ein 90-minütiges Testmatch auf Hartplatz unter nahezu optimalen äußeren Bedingungen bei Windstille und 20 ± 1 Grad Celsius Lufttemperatur. Die mittlere Laktatkonzentration lag schon beim ersten Seitenwechsel bei ca. $3,5 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$, stieg signifikant an und erreichte beim sechsten Seitenwechsel einen Peak von $5,86 \pm 1,33 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$. Die ca.-Werte wurden aus dem Balkendiagramm abgelesen, da auch

im Volltext keine exakten Zahlenwerte zu finden waren. Ausnahme war der Wert beim sechsten Seitenwechsel mit $5,86 \pm 1,33 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$.

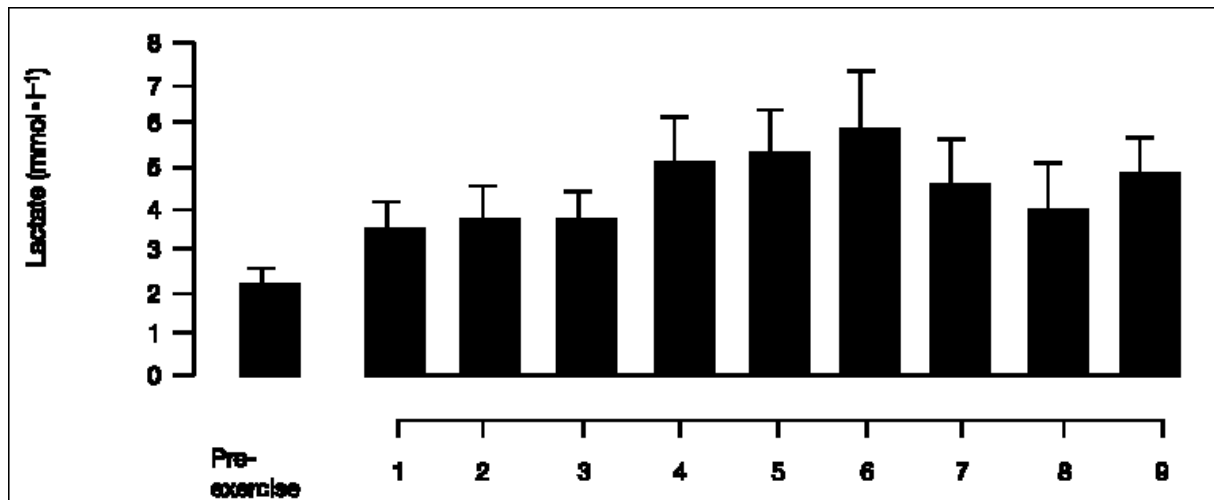


Abbildung 24: Laktatwerte bei Christmass et.al. (1998)

Konträr zu Christmass et.al. (1998), wurden von Murias et.al. (2007) bei einem Testmatch auf Sand mit $1.65 \pm 0.60 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$ und auf Hartplatz mit $1.16 \pm 0.34 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$ sehr geringe mittlere Blutlaktatkonzentrationen gemessen, obwohl die mittlere Rallyedauer von $8.8 \text{ s} \pm 5.3$ (SD) auf Sand bzw. $7.2 \text{ s} \pm 4.4$ (SD) auf Hartplatz den Erwartungen entsprachen und nicht besonders kurz war. Ebenso wurden die Spieler gebeten, mit einer wettkampfspezifischen Intensität über eine Dauer von 90 Minuten zu spielen. Der Mittelwert war auf Sandplätzen signifikant höher als auf Hartplätzen ($p < 0,05$). Korrelierend zu den Mittelwerten, war auch der gemessene Spitzenwert auf Sand mit $3,8 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$ höher als auf Hartplatz mit $3,4 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$. Ob dies die tatsächlich höchsten Blutlaktatkonzentrationen waren möchte ich anzweifeln, denn die Messung erfolgte alle zehn Minuten, unabhängig vom Verlauf des Matches. In dem Fall, dass gerade ein Punkt gespielt wurde, wurde der Abschluss dieses Punktes abgewartet, um die Blutproben zu entnehmen.

Zusammenfassend kann über alle Studien hinweg bezüglich der Laktatkonzentration kein großer Unterschied abhängig von der Spielfeldoberfläche erkannt werden. Auf Sandplatz wie auch auf Hartplatz belaufen sich die Mittelwerte zwischen 2 und $5 \text{ mmol} \times \text{L}^{-1}$. Auch bei den Maximalwerten sind keine signifikanten Unterschiede zwischen Sand- und Hartplatz zu erkennen.

Der größere Unterschied dürfte in der Spielweise der Spieler zu finden sein, ob ausgesprochener Grundlinienspieler bzw. Defensivspieler oder offensivere Spielanlage.

4.3 Sauerstoffaufnahme

Tabelle 12: Sauerstoffaufnahme der eingeschlossenen Studien (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung, k.A. = keine Angabe)

Studie	Sandplatz		
	Testmatch	Turniermatch	% der VO ₂ max
Smekal et.al (2001)	29,1 $\pm$ 5,6		51,1 $\pm$ 10,9
Murias et.al. (2007)	26,33 $\pm$ 3,25		47,6 $\pm$ 6,5
Studie	Hartplatz		
	Testmatch	Turniermatch	% der VO ₂ max
Murias et.al. (2007)	27,48 $\pm$ 2,46		49,5 $\pm$ 4,8
Kilit et.al. (2016)	26,6 $\pm$ 2,7		k.A.

Die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme in der Studie von Smekal et.al. (2001) lag beim simulierten Tennismatch über 50 Minuten bei 29,1 $\pm$ 5,6 ml $\times$ kg⁻¹ $\times$ min⁻¹. Dieser Durchschnittswert betrug 51,1% $\pm$ 10,9 (SD) der maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit, gemessen bei einem vorab absolvierten maximalen Laufbandtest.

Für ein einzelnes Game lag die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme im Bereich von 10,4 bis 47,8 ml $\times$ kg⁻¹ $\times$ min⁻¹. Der obere Wert von 47,8 ml $\times$ kg⁻¹ $\times$ min⁻¹ beträgt im Durchschnitt eine Beanspruchung von 76,7 % der maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit. Obwohl der aerobe Anteil im Tennissport dominant ist, kann es je nach Spielsituation, wie gerade beschrieben, zu einer hohen Beanspruchung der maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit kommen.

Ebenso wurde untersucht, wie sich die Spieltaktik auf die Beanspruchung bei Tennisspielern auswirkt. Die Studienteilnehmer wurden von drei Experten, die mit dem Stil aller Teilnehmer vertraut waren, als Offensivspieler bzw. als Defensivspieler eingestuft. Beim Vergleich von Spielen zweier Defensivspieler mit Spielen mit mindestens einem Offensivspieler waren alle physiologischen Parameter signifikant höher. Folgende Tabelle gibt einen Überblick.

Tabelle 13: Einfluss der Spieltaktik auf physiologische Parameter (nach Smekal et.al., 2001, S 1001)

Physiologischer Parameter	Defensivspieler	Offensivspieler	Signifikanz
Sauerstoffaufnahme (ml $\times$ kg ⁻¹ $\times$ min ⁻¹)	30.8 $\pm$ 5.7	27.5 $\pm$ 5.1	P < 0,001
Herzfrequenz (Schläge pro Minute)	158 $\pm$ 16	145 $\pm$ 19	P < 0,001
Laktat (mmol $\times$ L ⁻¹)	2.5 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.7	P < 0,001

Murias et.al. (2007) stellte die Hypothese auf, dass die Sauerstoffaufnahme auf Sandplätzen höher ist als auf Hartplätzen. Diese Hypothese wurde allerdings nicht bestätigt. Auf Sandplätzen lag das Mittel bei 26,33 ml $\times$ kg⁻¹ $\times$ min⁻¹ $\pm$ 3,25 (SD) (entspricht 47,6% $\pm$ 6,5 von VO₂max). Auf Hartplätzen lag das Mittel bei 27,48 ml $\times$ kg⁻¹ $\times$ min⁻¹ $\pm$ 2,46 (SD) (entspricht 49,5%

$\pm 4,8$ von $VO_{2\max}$). Womit die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme am Hartplatz sogar höher war als am Sandplatz.

Die Sauerstoffaufnahme beim Match wurde mit einem tragbaren Gasanalysesystem ermittelt, jedoch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass nur ein tragbares Gasaustauschsystem zur Verfügung stand, dass nur an zwei Tagen der Auswertung auf dem Spielfeld verwendet werden konnte und dass die VO_2 aller Spieler auf Sand- und auch auf Hartplatz gemessen werden sollte, wurde entschieden, dass jeder Spieler das Gerät für 30 Minuten auf jeder Oberfläche tragen sollte. Diese Entscheidung basierte auf Ferrauti et. al. (2001), die bei einer 2-stündigen Messung von VO_2 unter realen Übereinstimmungsbedingungen für jeden Zeitraum von 30 Minuten, in den die Bewertungen aufgeteilt wurden, keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen Variablen feststellten.

Die Mittelwerte geben jedoch nicht das gesamte Muster des Energiebedarfs beim Tennis wieder. Daher sollten Phasen mit hoher und niedriger physischer Anforderung berücksichtigt werden. Interessanterweise zeigte in dieser Studie der Spitzenprozentsatz von $VO_{2\max}$ einen großen Effekt (2,22), was bestätigt, dass die für diese Variable gefundenen Unterschiede zwischen den Spieloberflächen groß waren (mittlere Maximalwerte von $93,4 \% \pm 5,4$ (SD) der $VO_{2\max}$ am Hartplatz gegenüber mittleren Maximalwerten von $75,3\% \pm 10,2$ (SD) der $VO_{2\max}$ am Sandplatz), was auf Phasen höherer Intensität schließen lässt. Diese Phasen mit erhöhter Intensität können laut Murias et.al. (2007) auf die höhere Geschwindigkeit des Balls nach dem Absprung zurückgeführt werden.

So wie bei den beiden Studien zuvor, wurden auch bei Kilit et.al. (2016), die Spieler mit einem tragbaren Gasanalysesystem ausgestattet, um die VO_2 zu analysieren. Bei einem Testmatch auf Hartplatz wurden Mittelwerte von $26,6 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1} \pm 2,7$ (SD) gemessen und entsprechen den Werten von Murias et.al. (2007) sowie Smekal et.al. (2001).

Die Studien zeigen somit eine moderate Belastung von rund 50% der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit, zumindest im Durchschnitt. Aufgrund des intermittierenden Charakters des Sports, sind aber neben den Durchschnittswerten auch die Maximalwerte von Interesse, um die ganze Bandbreite der Beanspruchung beim Tennissport analysieren zu können. Kilit et.al. (2016) und Smekal et.al. (2001) beschrieben durchschnittliche Maximalwerte von ca. 75% der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit bei einem Testmatch auf Sand. Am Hartplatz waren es bei Murias et.al. (2007) schon immerhin rund 93% der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit. Dies zeigt, dass man während eines Matches, zumindest bei einzelnen Punkten schon sehr nahe an seine Leistungsgrenze kommt.

4.4 Subjektives Belastungsempfinden

Tabelle 14: RPE-Werte der eingeschlossenen Studien

Sandplatz		
Studie	Testmatch	Turniermatch
Mendez-Villanueva et.al. (2010)		Aufschlag: $13,5 \pm 1,9$ Return: $12,2 \pm 2,0$
Hoppe et.al. (2016)	Spieler 1: 15 -16 Spieler 2: 16-18	
Hartplatz		
Studie	Testmatch	Turniermatch
Kilit et.al. (2016)	Aufschlag: $13,5 \pm 1,8$ Return: $12,0 \pm 2,1$	

Bei Hoppe et.al. (2016) waren die Werte für die subjektive Anstrengung mit 15–16 bei Spieler 1 und 16-18 bei Spieler 2, höher als im Review von Fernandez-Fernandez et.al (2009) mit Werten zwischen 11-14. Spieler 2 hat neben den höheren RPE-Werten auch höhere Herzfrequenz- und Laktatwerte als Spieler 1, was generell auf einen niedrigeren Fitnesslevel hinweist.

Kilit et.al. (2016) haben die Bewertung des subjektiven Belastungsempfinden unmittelbar nach Ende eines jeden Games ebenfalls mit Hilfe der Borg-Skala (RPE 6–20) angewendet. Signifikante Unterschiede wurden zwischen den Aufschlagspielen ($13,5 \pm 1,8$) und den Returnspielen ($12,0 \pm 2,1$) festgestellt.

Dieses Ergebnis stützt frühere Studien, welche Aufschlagspiele durch die intensive Aufschlagbewegung und im professionellen Tennis den psychischen Druck sein Aufschlagspiel durchzubringen als subjektiv anstrengender deklarierten.

Die Bewertung des subjektiven Belastungsempfindens ergab auch bei Mendez-Villanueva et.al. (2010) signifikant höhere durchschnittliche RPE-Werte nach Aufschlagspielen ($13,5 \pm 1,9$) als nach Rückschlagspielen ($12,2 \pm 2,0$). Diese höhere physiologisch wahrnehmbare Belastung, die bei Aufschlagspielern aufgezeichnet wird, ist auf die anspruchsvollere Rolle der Aufschlagspieler bei der Bestimmung des Spiels zurückzuführen. Zweck dieser Studie war auch die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Blutlaktatkonzentrationen und dem subjektiven Belastungsempfinden. Korrelationen wurden während der Spiele gefunden, d.h. je höher die RPE-Bewertung, desto höher auch das Blutlaktat.

Eine etwas andere Bewertung des subjektiven Belastungsempfindens wurde bei Gomes et.al. (2011) angewendet. Die Intensität wurde unter Verwendung der CR-10-Skala am Ende eines jeden Satzes bei einem Testmatch auf Hartplatz gemessen.

Tabelle 15: RPE-Bewertungen mit Hilfe der CR-10-Skala bei Gomes et.al. (2011)

RPE (CR-10)	Satz 1	Satz 2	Satz 3	Satz 4
Spieler 1	3	4	5	8
Spieler 2	4	5	5	8

Subjektives Belastungsempfinden, aber auch mittlere Herzfrequenz und Dauer der hohen Herzfrequenzbereiche nahmen im Verlauf des Spiels zu und zeigten zunehmenden perzeptuellen und physiologischen Stress.

Den Zeitpunkt der Bewertung - nur am Ende eines jeden Satzes - halte ich hier für unglücklich gewählt. Da es sich ohnehin um ein Testmatch handelte, wären mehrmalige Bewertungen leicht möglich gewesen. Man sieht aber sehr ähnliche, moderate Bewertungen von 3 - 5 von 10 in den ersten drei Sätzen. Das Studiendesign von Gomes et.al. (2011) war darauf ausgerichtet, perzeptuelle und physiologische Marker bei längeren Matches zu untersuchen, daher gibt es in der obigen Tabelle auch noch die Bewertung für den vierten Satz. Hier möchte ich aber nicht näher darauf eingehen, da die Matches aller anderen Studien maximal drei Sätze dauerten und somit keine Vergleichswerte zur Verfügung stehen. Generell ist aus Tabelle 11 zu lesen, dass das subjektive Belastungsempfinden mit Dauer des Matches ansteigt.

Bei den Studien von Hoppe et.al. (2016), Kilit et.al. (2016) sowie bei Mendez-Villanueva et.al. (2010) gibt es leider keinen zeitlichen Verlauf der RPE-Bewertung, sondern lediglich Durchschnittswerte mit Teils Differenzierung zwischen Aufschlag und Return. Eine, durch die Wettkampfsituation und somit vermeintlich höhere psychische Drucksituation, höhere Bewertung des subjektiven Belastungsempfinden ist aus (Tabelle 10: RPE-Werte der eingeschlossenen Studien) nicht zu entnehmen. Auch ist zwischen Sand- und Hartplatz kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Das etwas höhere Ergebnis von Hoppe et.al. (2016) mit 15-16 bzw. 16-18 betrachte ich hier mit Vorsicht, da es sich nur um ein einziges Match von zwei Spielern gehandelt hat.

Zwischen den Spieloberflächen konnten keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung des subjektiven Belastungsempfinden beobachtet werden. Auf Sand- sowie auf Hartplatz sind die Bewertungen moderat bis mäßig. Signifikante Unterschiede gibt es allerdings in der jeweiligen Aufgabe. Aufschlagsspiele werden signifikant intensiver bewertet als Rückschlagspiele.

4.5 Dauer der Ballwechsel

Tabelle 16: Mittlere Ballwechseldauer der eingeschlossenen Studien (Sekunden $\pm$ Standardabweichung)

Studie	Sandplatz	
	Testmatch	Turniermatch
Smekal et.al (2001)	6,4 $\pm$ 4,1	
Murias et.al. (2007)	8,8 $\pm$ 5,3	
Hoppe et.al. (2016)	14,1 $\pm$ 11,7	
Hornery et.al. (2007)		7,5 $\pm$ 3
Mendez-Villanueva et.al. (2010)		7,5 $\pm$ 7,3
Pereira et.al. (2016)		4,6 $\pm$ 4,5 (1. Satz) 4,3 $\pm$ 4,0 (2. Satz)
Studie	Hartplatz	
	Testmatch	Turniermatch
Christmass et.al (1998)	10,2 $\pm$ 0,3	
Murias et.al. (2007)	7,2 $\pm$ 4,4	
Kilit et.al. (2016)	6,7 $\pm$ 4,7	
Hornery et.al. (2007)		6,7 $\pm$ 2,2

Die mittlere Ballwechseldauer aller eingeschlossenen Studien und unabhängig von der Spieloberfläche lag zwischen 4,3 und 14,1 Sekunden, wobei das Ergebnis von Hoppe et.al. (2016) mit 14,1 $\pm$ 11,7 Sekunden ein deutlicher Ausreißer nach oben hin ist. Lässt man dieses Ergebnis einmal außen vor, so ergeben sich im leistungsorientierten Herrentennis Mittelwerte zwischen 4,3 und 10,2 Sekunden.

Dies entspricht in etwa den Werten jener Übersichtsarbeit von Kilit et.al. (2018) mit 5,8 – 12,1 Sekunden, die Werte von beiden Geschlechtern und auch unterschiedliche Leistungsniveaus zusammenfassten.

Die Rallies in den Matches mit Testmatchcharakter mit im Mittel 8,9 Sekunden, waren doch wesentlich länger als jene Rallies bei den Turnierspielen mit im Mittel 6,5 Sekunden. Ein Erklärungsversuch ist eine aggressivere Spielweise in einem Turniermatch, die mit kürzeren Ballwechseln einhergehen.

Diese Tendenz, dass die mittlere Ballwechseldauer unter Turnierbedingungen kürzer ist als in einem Testmatch, ist auch bei den Hartplatzspielen zu beobachten. Zwar untersuchte nur die Studie von Hornery et.al. (2007) Spiele unter Turnierbedingungen auf Hartplatz, der Wert von 6,7 $\pm$ 2,2 entspricht jedoch dem untersten Wert der drei Studien unter Testmatchbedingungen (6,7 $\pm$ 4,7 / 7,2 $\pm$ 4,4 und 10,2 $\pm$ 0,3).

Kürzere mittlere Ballwechseldauer unter Turnierbedingungen lassen auf niedrigere Laktatwerte vermuten. Bei der Analyse der Blutlaktatkonzentrationen konnte diese Vermutung jedoch nicht bestätigt werden. Nähere Informationen dazu siehe Kapitel 4.2: Laktatwerte.

Bei der Studie von Hornery et.al. (2007) handelte es sich um offizielle Turniermatches, wobei ein Sandplatzturnier und zwei Hartplatzturniere analysiert wurden. Zwischen den Spieloberflächen gibt es, wenn auch nur einen leichten Unterschied in der physiologischen Belastung. Die Ballwechsel auf Sandplatz ($7,5 \pm 3$ Sekunden) dauerten im Durchschnitt länger als jene auf Hartplatz ($6,7 \pm 2,2$ Sekunden), obwohl die Matches im Mittel mit 79 Minuten auf Sand doch wesentlich kürzer dauerten als jene auf Hartplatz mit 119 Minuten. Die durchschnittliche Ballwechseldauer ist zwar unabhängig von der Matchdauer, in der Studie wurde aber auch weiter analysiert, dass mit Fortdauer der Matches die Ballwechsel länger wurden. Die Vermutung der Autoren ist, dass die Schlaghärte aufgrund der Ermüdung zurück geht und sich somit die Rallies verlängern.

Hoppe et.al. (2016) untersuchte ein zweistündiges Testmatch, dass auf Sand gespielt wurde. Mit einer durchschnittlichen Rallyedauer von $14,1 \pm 11,7$ Sekunden, dauerten die Ballwechsel doch wesentlich länger als im Review von Fernandez-Fernandez et.al (2009) beschrieben mit Werten zwischen 5 - 10 Sekunden. Als mögliche Begründung ist das taktische Verhalten der beiden Spieler zu nennen, die ausgesprochene Grundlinienspieler waren und sich dadurch überdurchschnittlich lange Ballwechsel ergaben.

Die ersten beiden Sätze eines jeden Matches (ATP Future-Ebene) wurden bei Pereira et.al. (2016) analysiert, wobei es zwischen erstem und zweitem Satz es keinen statistisch signifikanten Unterschied gab. Die Ballwechseldauer war in dieser Studie mit im Mittel $4,6$ Sekunden $\pm 4,5$ (SD) im ersten Satz bzw. mit im Mittel $4,3$ Sekunden $\pm 4,0$ (SD) für den zweiten Satz am kürzesten aller eingeschlossenen Studien.

Dementsprechend war auch die zurückgelegte Distanz pro Punkte in dieser Studie mit $5,8$ Meter ± 7.2 (SD) im 1. Satz bzw. 5.3 Meter ± 6.6 (SD) im 2. Satz. geringer als z.B. bei Murias et.al. (2007) mit 11.6 ± 1.5 m.

Diese Ergebnisse verdeutlichen die unterschiedlichen Matchprofile zwischen den verschiedenen Leistungsebenen, die in den Trainingseinheiten berücksichtigt werden sollten. Rallies können aufgrund einer aggressiveren Spielweise der Spieler bei Future-Turnieren kürzer sein.

Bezüglich möglicher Unterschiede in der Ballwechseldauer von Sandplatz und Hartplatz, konnten Hornery et.al. (2007) zwischen Sandplatz vs. Hartplatz mit $7,5 \pm 3$ vs. $6,7 \pm 2,2$ und Murias et.al. (2007) mit 8.8 ± 5.3 vs. 7.2 ± 4.4 einen Unterschied ausmachen. Beim Vergleich der restlichen Studien zwischen Sandplatz und Hartplatz (siehe Tab.12) ist keine eindeutige Tendenz in Richtung des Sandplatzes erkennbar.

Diese Werte spiegeln auch die internationale Tendenz wider, dass sich die Matchnotationswerte in den letzten ca. 20 Jahren zwischen Sandplatz und Hartplatz annähern

bzw. ausgleichen. Gab es in den 80er und 90er-Jahren im Profitennis noch die echten Sandplatzspezialisten, so feiern aktuell sehr gute Sandplatzspieler auch große Erfolge auf Hartplätzen. Ein Grund ist sicher auch, dass die Oberflächen der Hartplätze langsamer werden und sich somit das Spiel vom Hartplatz am typischen Sandplatztennis angleicht.

Zusammenfassend zur Ballwechseldauer im leistungsorientierten Herrentennis, kann festgehalten werden, dass die Ballwechsel im Mittel zwischen vier und zehn Sekunden dauern. Natürlich gibt es sehr viele Punkte, z.B. durch Asse, Aufschlagwinner, frühe unerzwungene oder auch erzwungene Fehler, die wesentlich kürzer dauern und im Laufe eines Matches wird es aber auch einige Punkte geben, die wesentlich länger als die angegebenen zehn Sekunden dauern. Beim Vergleich der Ballwechseldauer zwischen Sand- und Hartplatz konnten manche Studien eine Tendenz zu längeren Ballwechseln in Richtung des Sandplatzes analysieren, wobei diese aber nicht signifikant ist.

Unter Turnierbedingungen dürfte die mittlere Ballwechseldauer jedoch kürzer sein als in einem Testmatch, unabhängig von Sandplatz oder Hartplatz. Eine mögliche Begründung aus meiner Sicht ist, dass in einem Testmatch, vielleicht auch unbewusst, mit einer etwas geringeren Intensität gespielt wird. Dies hätte zur Folge, dass dadurch erstens weniger Wingerschläge möglich sind und zweitens aufgrund der langsameren Geschwindigkeit der geschlagenen Bälle, der Gegner mehr Bälle noch erreicht und wieder zurückschlagen kann.

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Dauer der Rallies ist natürlich auch die Spielanlage und die Taktik der Spieler selbst. Sehr gute Aufschläger können in ihren eigenen Aufschlagspielen die Ballwechsel meist sehr kurzhalten, da sie viele Asse oder Aufschlagwinner produzieren. Spielen kleinere Spieler wie z.B. der argentinische Tennisprofi Diego Schwartzman mit einer Körpergröße von 1,7m oder Spieler wie der französische Tennisprofi Gilles Simon, der viel mit dem Tempo des Gegners und taktisch klug spielt, gegeneinander, so werden dadurch die Rallies voraussichtlich im Durchschnitt länger dauern.

Neben dem gerade Beschriebenen, gibt es weitere Einflussfaktoren auf die Länge der Rallies, wie z.B. die Wetterbedingungen, die Art der Bälle oder auch die Höhenlage. Jeder einzelne dieser Faktoren könnte wahrscheinlich eine Diplomarbeit füllen.

4.6 Gelaufene Distanz

Tabelle 17: Zurückgelegte Distanzen der eingeschlossenen Studien (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung)

Sandplatz			
Studie	Testmatch	Turniermatch	Distanz pro Punkt (m)
Murias et.al. (2007)	1447 $\pm$ 143		11,6 $\pm$ 1,5
Pereira et.al. (2016)		3160 $\pm$ 880	5,8 $\pm$ 7,2
Hartplatz			
Studie	Testmatch	Turniermatch	Distanz pro Punkt (m)
Murias et.al. (2007)	1199 $\pm$ 168		9,3 $\pm$ 1,8

Die, bei einem Tennismatch zurückgelegte Distanz, ist ein wesentlicher Belastungsfaktor, der stark von der Dauer des Matches abhängig ist.

Die Testmatches bei Murias et.al. (2007) wurden auf eine Gesamtdauer von 90 Minuten begrenzt, was der durchschnittlichen Dauer eines Tennismatches bei Best-of-3 entspricht. Die Spieler wurden dabei gebeten, möglichst wettkampforientiert zu spielen. Mit einer Distanz von 1447 m $\pm$ 143 (SD) auf Sandplatz, war die durchschnittliche Distanz pro Match um 21% höher als auf Hartplatz mit 1199 m $\pm$ 168 (SD).

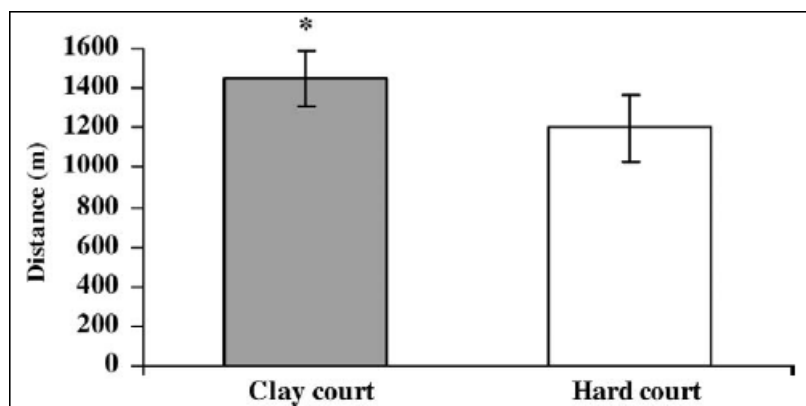


Abbildung 25: Laufdistanzen in Abhängigkeit von der Spielfläche (Murias et.al., 2007, S. 114)

Auch die durchschnittliche Distanz pro Punkt war am Sandplatz mit 11,6 m $\pm$ 1,5 (SD) um 25% höher als auf Hartplatz mit 9,3 m $\pm$ 1,8 (SD).

Bei Pereira et.al. (2016) waren es offizielle Sandplatzturniermatches, wobei jedoch nur die ersten beiden Sätze für die Statistik analysiert wurden. Über die Dauer der einzelnen Sätze gibt es leider keine Aufzeichnungen, denn bei ausgeglichenem Spielniveau und ähnlichem taktischen Verhalten (z.B. Beide sind Defensivspieler) es durchaus vorkommen kann, dass schon ein einziger Satz ca. 70 Minuten dauert. Die Vergleichbarkeit der zurückgelegten Distanz ist in so einem Fall schwieriger.

Zusätzlich zur zurückgelegten Distanz, wurde bei Pereira et.al. (2016) auch noch die Anzahl der Seit- bzw. Vorwärtsbewegungen untersucht.

Die Spieler führten im Mittel insgesamt 92,5 (im 1. Satz) und 59,5 (im 2. Satz) Bewegungen zur Seite durch. Vorwärtsverschiebungen gab es im Mittel 25 im 1. Satz und 15 im 2. Satz.

Seitliche Bewegungen von weniger als 0,5 m wurden ignoriert, damit Bewegungen wie sie z.B. beim Splitstep auftreten können, die Berechnungen nicht verfälschen.

Vorwärtsbewegungen von weniger als 1m wurden ebenfalls ignoriert, damit z.B. Schlagbewegungen die Berechnungen nicht verfälschen.

Obwohl durchschnittliche Ballwechseldauer und auch durchschnittliche Distanz pro Punkt bei Pereira et.al. (2016) geringer war als bei Vergleichsstudien, so war die Gesamtdistanz mit 3160 ± 880 m ähnlich der in der Literatur angegebenen Distanz (Kilit et.al., 2018).

Diese Unterschiede könnten zu der Interpretation führen, dass die von Pereira et.al. (2016) analysierten Matches eine größere Anzahl von Rallies hatten. Diese Aussage ist jedoch mit dem Hintergrund zu betrachten, dass in der Studie von Pereira et.al. (2016) offizielle Turniermatches ohne vorgegebene Dauer analysiert wurden, wohingegen bei Murias et.al. (2007) die Gesamtdauer auf 90 Minuten begrenzt wurde.

Die Studie zeigt auch, dass die Spieler zwar im Vergleich zu Seitwärtsbewegungen seltener Vorwärtsbewegungen ausführen müssen, diese aber dann eine Größere Distanz aufweisen. Daher ist ein spezifisches Training für die Vorwärts- und Seitwärtsbewegungen unverzichtbar. An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass Pereira et.al. (2016) Grundlinienspieler untersucht haben. Aufschlag-Volleyspieler oder Doppelspezialisten müssten beim Training Schwerpunkte in der Vorwärtsbewegung setzen.

Warum die Distanzen bei Murias et.al. (2007) mit $1447 \text{ m} \pm 143$ (SD) auf Sandplatz bzw. $1199 \text{ m} \pm 168$ (SD) am Hartplatz relativ gering waren, ist aus der Studie nicht herauszulesen. Immerhin wurde mit 90 Minuten Spielzeit ein Best-of-3 Match simuliert. Bei Pereira et.al. (2016) wurden $3160 \text{ m} \pm 880$ (SD) zurückgelegt, und das in nur zwei Sätzen, obwohl wie schon beschrieben, es sein kann, dass zwei Sätze wesentlich länger dauern als 90 Minuten.

Unabhängig von der absoluten Zahl, ist bei Murias et.al. (2007) zu erkennen, dass die zu laufende Distanz auf Sand um 21% höher war als auf Hartplatz und somit eine höhere Belastung darstellt.

Darüber hinaus können die zurückgelegten Distanzen durch externe Faktoren wie Anzahl der Sätze, Platzoberfläche, Art der verwendeten Bälle, Temperatur sowie die physischen, technischen, taktischen und physiologischen Eigenschaften der Spieler stark beeinflusst werden.

4.7 Verhältnis von Belastung zu Erholung

Tabelle 18: Verhältnis Belastung zu Erholung der eingeschlossenen Studien

	Sandplatz	
Studie	Testmatch	Turniermatch
Smekal et.al (2001)	1 : 3,4	
Murias et.al. (2007)	1 : 2,2	
Hoppe et.al. (2016)	1 : 2	
	Hartplatz	
Studie	Testmatch	Turniermatch
Christmass et.al (1998)	1 : 1,7	
Murias et.al. (2007)	1 : 2,9	
Kilit et.al. (2016)	1 : 3	

All die Werte von Tabelle 18 ergaben sich durch ein Verhältnis zwischen körperlicher Aktivität und Erholung innerhalb der Games, d.h. die Pausen zwischen den Games oder Satzpausen wurden nicht einbezogen. Für die trainingspraktische Konsequenz aus meiner Sicht auch sinnvoll, denn mit Berücksichtigung der Pausen zwischen den Games oder Satzpausen ergab sich z.B. bei Smekal et.al. (2001) ein Verhältnis von 1 : 6,1. Würde sich ein Trainer bzw. eine Trainerin an diesem Verhältnis orientieren, so würden die Athletinnen und Athleten nicht optimal auf die matchpraktischen Belastungen vorbereitet werden.

Das Verhältnis von Belastung zu Erholung im leistungsorientierten Herrentennis, entsprach in allen eingeschlossenen Studien den Werten der Übersichtsarbeit von Fernandez-Fernandez et.al (2009) mit einem Verhältnis von bis zu 1 : 4, in der verschiedene Leistungsstufen und auch beiderlei Geschlecht berücksichtigt wurden.

Diese Erkenntnis ist für den Praktiker/Trainer von Bedeutung, da matchorientiertes Konditionstraining am und auch außerhalb des Platzes dementsprechend gestaltet werden kann und auch muss.

Wie aus der obigen Tabelle ersichtlich, gibt es innerhalb der eingeschlossenen Studien nur Werte für das Verhältnis von Belastung zu Erholung für Testmatches. Jene drei Studien (Hornery et.al. 2007; Mendez-Villanueva et.al. 2010 und Pereira et.al. 2016) die sich auf die Untersuchung von Turniermatches konzentrierten, haben dieses Verhältnis leider nicht analysiert.

In all den Testmatches wurde aber nach den offiziellen ITF-Regeln gespielt und auch darauf hingewiesen, möglichst wettkampforientiertes Tennis zu spielen. Daher denke ich, dass das Verhältnis von Belastung zu Erholung zwischen einem Testmatch und einem Turniermatch sehr ähnlich ist.

Auch sind keine signifikanten Unterschiede zwischen Sandplatz und Hartplatz zu beobachten, womit jene Behauptung aus Kapitel 2.2.1 Zeitliche Dimension des Tennissports bestätigt wird,

dass es auf internationalem Niveau zu einer Angleichung der Spiel- und Pausenzeiten zwischen Sand- und Hartplätzen kommt, da die Hartplatzbeläge langsamer werden.

Beim tennisspezifischen und matchorientierten Training, ist somit bei Übungen am Platz aber auch abseits des Platzes auf ein Verhältnis von 1 : 2 bis 1 : 4 zu achten, um die Spielerinnen und Spieler auf die Belastungen vorzubereiten.

5 Resümee und Ausblick

Hier werden die Ergebnisse des Hauptteiles kurz zusammengefasst und weitere sich daraus ergebende Fragestellungen formuliert. Weiters ist in diesem Kapitel Platz für persönliche Stellungnahmen.

Um einen Trainingsprozess nach modernen Gesichtspunkten zu gestalten, müssen die unter Wettkampfbedingungen auftretenden Belastungszeiten, Belastungsintensitäten, etc. bekannt sein. Eine Analyse der Sportart muss dadurch vorab durchgeführt werden.

Die systematische Literaturanalyse über die Belastungs- bzw. Beanspruchungsstruktur im leistungsorientierten Herrentennis ergab eine mittlere Ballwechseldauer von 4,3 bis 14,1 Sekunden. Diese unterscheidet sich zwischen Sandplatz und Hartplatz kaum. Wenn überhaupt, gibt es nur eine leichte Tendenz zu längeren Rallies in Richtung des Sandplatzes. Die analysierten Mittelwerte entsprechen etwa den Werten jener Übersichtsarbeit von Kilit et.al. (2018) mit 5,8 – 12,1 Sekunden, die Werte von beiden Geschlechtern und auch unterschiedliche Leistungsniveaus zusammenfassten. Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Dauer der Ballwechsel ist die Spielanlage und die Taktik der Spieler. Eine offensive Spielweise verkürzt die mittlere Ballwechseldauer. In den Matches mit Testmatchcharakter konnten längere Rallies als bei den Turnierspielen beobachtet werden. Eine aggressivere Spielweise in einem Turniermatch, die mit kürzeren Ballwechseln einhergeht ist ein möglicher Erklärungsversuch.

Mittelwerte und auch Maximalwerte der Laktatkonzentration waren meist unabhängig von der Spielfeldoberfläche. Auf Sandplatz wie auch auf Hartplatz wurden Mittelwerte zwischen 2 und 5 mmol x L⁻¹ gemessen. Jene Studie, die die durchschnittlich gelaufene Distanz pro Punkt abhängig von der Spielfeldoberfläche untersuchte, beschrieb eine um 25% größere Distanz am Sandplatz und dementsprechend höhere Laktatkonzentrationen als beim Spiel auf Hartplatz.

Die Laktatwerte sind durch die notwendige Blutabnahme naturgemäß schwieriger zu messen als z.B. die Herzfrequenzwerte, da die Messungen nur zu bestimmten Zeitpunkten erfolgen können und auch einen Bruch des Spielrhythmus darstellen. Daher gab es auch nur eine Studie in einer realen Turniersituation, bei der die Laktatkonzentrationen gemessen wurden. Bei Studien mit Simulationsmatches wurden teilweise nur wenige Messungen vorgenommen. Das ist sicher ein Kritikpunkt. Gomes et.al. (2011) zum Beispiel haben jeweils nur am Ende eines Satzes die Blutlaktatkonzentrationswerte gemessen. Ob die Ergebnisse die tatsächlichen Beanspruchungen zeigen, möchte ich anzweifeln. 4,1 mmol x L⁻¹ bei Spieler 1 bzw. 5,0 mmol x L⁻¹ bei Spieler 2 waren die ausgewiesenen Maximalwerte.

Aus eigener Erfahrung als Landesligatennisspieler möchte ich hier zu bedenken geben, dass

es durchaus sein kann, höhere Blutlaktatkonzentrationen zu erreichen. Stellen sie sich folgende Situation vor: Zu einem entscheidenden Zeitpunkt des Matches (z.B. bei 4:4 im 2. Satz bei verlorenem 1. Satz) ist der erste Punkt eines Games lang, intensiv und durch viele Sprints gekennzeichnet. Die nächsten Punkte und Games sind z.B. durch starke Aufschläge und unerzwungene Fehler wieder kürzer. Eine Messung nach dem Satz wird die tatsächliche Laktatkonzentration nach einem möglicherweise sehr intensiven Ballwechsel nicht realistisch wiedergeben. Aus meiner Sicht ist eine Messung der Laktatkonzentration zumindest nach jedem Game notwendig, wie dies zum Beispiel Smekal et.al. (2001) praktiziert haben, um ein repräsentatives Ergebnis erzielen zu können.

Aufgrund der Möglichkeit der ständigen Messbarkeit, sind für mich die Herzfrequenzmittelwerte und die Maximalwerte ein präziserer Indikator für die Beanspruchungen im leistungsorientierten Herrentennis. Die Mittelwerte bewegen sich im Bereich von ca. 140 – 150 Schlägen pro Minute, die 70 – 85% der maximalen Herzfrequenz bedeuten und somit moderat sind. Die Höchstwerte erreichen bis zu über 90% der maximalen Herzfrequenz. Die Pausen zwischen den Punkten bzw. zwischen den Games geben jedoch die Möglichkeit, sich von der hohen Intensität zu erholen. Die Mittelwerte in Abhängigkeit der Spieloberfläche unterscheiden sich kaum. Größeren Einfluss hat das taktische Verhalten bzw. die jeweilige Aufgabe am Platz. Defensivspieler haben höhere Herzfrequenzmittelwerte als Offensivspieler. Aufschläger haben höhere Herzfrequenzmittelwerte als Returnspieler. In einigen Studien (z.B. Hoppe et.al. (2016)) wurden leider die maximal erreichten Herzfrequenzwerte nicht ausgewiesen. Ich denke, dass durch diesen Wert, der intermittierende Charakter des Tennisspiels mit teils sehr intensiven Phasen noch besser dargestellt werden kann.

Kritik übe ich bei manchen Studien an der Darstellung der Herzfrequenzwerte. So hat nur eine Studie ausgewiesen, welchen prozentualen Anteil die im Spiel erreichten Maximalwerte vom individuellen Maximum ausmachen. Die maximal erreichten Herzfrequenzwerte bei Hornery et.al. (2007) entsprachen 93% (Hartplatz) bzw. 94% (Sandplatz) der maximalen Herzfrequenz, die zuvor bei einem 20m-Pendellauf erreicht wurden.

Innerhalb meiner eingeschlossenen Studien waren es leider nur zwei Studien, die auch die zurückgelegten Distanzen analysierten. Diese ergaben sehr unterschiedliche Distanzen von $1447 \text{ m} \pm 143 \text{ (SD)}$ am Sandplatz bzw. $1199 \text{ m} \pm 168 \text{ (SD)}$ am Hartplatz bei Murias et.al. (2007) bzw. $3160 \text{ m} \pm 880 \text{ (SD)}$ bei Pereira et.al. (2016). Diese Werte sind aber schwer miteinander vergleichbar, da es sich bei den Matches von Murias et.al. (2007) um 90-minütige Testmatches handelte, wobei bei Pereira et.al. (2016) Sandplatzturniermatches, natürlich ohne zeitlicher Begrenzung, untersucht wurden. Die Dauer der einzelnen Sätze bzw. der Matches waren nicht angegeben.

Die Studien zeigen im Durchschnitt eine Beanspruchung von rund 50% der maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit. Aufgrund des intermittierenden Charakters des Tennisspiels, kann der Wert in einzelnen Phasen auf über 90% ansteigen. Eine Atemgasaustauschmessung bietet generell den Vorteil, dass sie kontinuierlich passieren kann und somit eine direkte physiologische Reaktion auf ein Aktivitätsmuster zeigt. Technische Forschungen in Richtung noch praktikablerer Anwendung von Atemgasaustauschmessgeräten in Matchsituationen sind wünschenswert.

Zukünftige Forschungen sollen sich nicht mit der Angabe von Mittelwerten physiologischer Parameter zufriedengeben, da so der intermittierende Charakter des Tennissports mit teils sehr hohen Beanspruchungen nicht realistisch wiedergegeben wird.

In den meisten Studien werden Spieler während inoffizieller Spiele bewertet. Ein Ziel muss es sein, möglicherweise auch durch den technischen Fortschritt, Spieler regelmäßig unter realen Turnierbedingungen zu untersuchen.

Die formulierte Nebenforschungsfrage dieser Arbeit ‚Können Unterschiede in der Belastungs- bzw. Beanspruchungsstruktur in Abhängigkeit von Sandplatz oder Hartplatz festgestellt werden?‘, kann mit ‚Nein‘ beantwortet werden. Sämtliche in der Arbeit behandelnde Parameter weisen zwischen Sandplatz und Hartplatz keine signifikanten Unterschiede auf. Somit wird die Behauptung von Ferrauti et.al. (2014) bestätigt, dass man auf Hartplätzen die Tendenz beobachten kann, dass die Beläge langsamer werden und sich somit das Spiel zwischen Sandplatz und Hartplatz angleicht.

6 Literaturverzeichnis

Bergeron, M., Maresh, C., Kraemer, W., Abraham, A., Conroy, B., & Gabaree, C. (1991). Tennis: A Physiological Profile during Match Play. *International Journal of Sports Medicine*, 12(05), 474–479.

<https://doi.org/10.1055/s-2007-1024716>

Boland, A., Cherry, M. G. & Dickson, R. (Hrsg.). (2014). *Doing a systematic review: a student's guide*. London.

Christmass, M. A., Richmond, S. E., Cable, N. T., Arthur, P. G., & Hartmann, P. E. (1998). Exercise intensity and metabolic response in singles tennis. *Journal of Sports Sciences*, 16(8), 739–747.

<https://doi.org/10.1080/026404198366371>

Dangel, G. (2000). *Tennis Konditionstraining*. Sportverlag Sindelfingen.

Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A. & Pluim, B.M. (2006). Intensity of tennis match play. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 387–391.

<https://doi.org/10.1136/bjsm.2005.023168>

Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., & Mendez-Villanueva, A. (2009). A Review of the Activity Profile and Physiological Demands of Tennis Match Play. *Strength and Conditioning Journal*, 31(4), 15–26.

<https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181ada1cb>

Fernandez-Fernandez, J., Kinner, V., & Ferrauti, A. (2010). The Physiological Demands of Hitting and Running in Tennis on Different Surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3255–3264.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e8745f>

Ferrauti, A. (1999). *Der Energiestoffwechsel im Tennis: eine trainings-wissenschaftliche Analyse mit Empfehlungen für Leistungs- und Breitensport*. Schriften der deutschen Sporthochschule Köln, Band 43. Sankt Augustin: Academia-Verlag.

Ferrauti, A., Bergeron, M. F., Pluim, B. M., & Weber, K. (2001). Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, 85(1–2), 27–33.

<https://doi.org/10.1007/s004210100425>

Ferrauti, A. (2006). Metabolische Aspekte von Training und Wettkampf im Fußball und Tennis. In K. Weber, D. Augustin, P. Maier, K. Roth (Hrsg.), *Wissenschaftlicher Transfer für die Praxis der Sportspiele. Wissenschaftliche Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (77-88)*. Köln: Sport und Buch Strauß.

Ferrauti, A., Maier, P., Weber, K. (2006). *Tennistraining* (2. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.

Ferrauti, A., Maier, P., Weber, K. (2014). *Handbuch für Tennistraining. Leistung – Athletik – Gesundheit*. Aachen: Meyer & Meyer.

Gescheit, D. T., Cormack, S. J., Reid, M., & Duffield, R. (2015). Consecutive Days of Prolonged Tennis Match Play: Performance, Physical, and Perceptual Responses in Trained Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(7), 913–920.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0329>

Giles, B., Peeling, P., Dawson, B., & Reid, M. (2018). How do professional tennis players move? The perceptions of coaches and strength and conditioning experts. *Journal of Sports Sciences*, 37(7), 726–734.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1523034>

Gomes, R. V., Coutts, A. J., Viveiros, L., & Aoki, M. S. (2011). Physiological demands of match-play in elite tennis: A case study. *European Journal of Sport Science*, 11(2), 105–109.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2010.487118>

Hoppe, M. W., Baumgart, C., & Freiwald, J. (2015). Do Running Activities of Adolescent and Adult Tennis Players Differ During Play? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 793–801.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0141>

Hoppe, M. W., Baumgart, C., Hilberg, T., Freiwald, J., & Wehmeier, U. F. (2016). Changes of standard physiological-perceptual markers and circulating MicroRNAs in response to tennis match-play: A case report of two elite players. *Journal of Human Kinetics*, 51(1), 71–81.
<https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0172>

Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., Young, W., & Pluim, B. M. (2007). An integrated physiological and performance profile of professional tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 41(8), 531–536.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.031351>

Hottenrott, K. & Neumann, G. (2017). *Handbuch Trainingswissenschaft – Trainingslehre*. In: Hottenrott K. & Seidel, I. (Hrsg.): *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport*. – Schorndorf, 55-57.

Ivancevic, T., Jovanovic, B., Jovanovic, S., Djukic, M., Djukic, N. & Lukman, A. (2011). *Paradigm Shift for Future Tennis. The Art of Tennis Physiology, Biomechanics and Psychology*. Springer Verlag - Heidelberg.

Kilit, B., Şenel, Ö., Arslan, E., & Can, S. (2016). Physiological responses and match characteristics in professional tennis players during a one-hour simulated tennis match. *Journal of Human Kinetics*, 51(1), 83–92.
<https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0173>

Kilit, B., Arslan, E. & Soylu, Y. (2018). Time-motion characteristics, notational analysis and physiological demands of tennis match play: a review. *Acta Kinesiologica* 12, Issue. 2: 5-12.

Kilit, B., & Arslan, E. (2018). Playing tennis matches on clay court surfaces are associated with more perceived enjoyment response but less perceived exertion compared to hard courts. *Acta Gymnica*, 48(4), 147–152.
<https://doi.org/10.5507/ag.2018.021>

Kovalchik, S. & Reid, M. (2017). Comparing Matchplay Characteristics and Physical Demands of Junior and Professional Tennis Athletes in the Era of Big Data. *Journal of Sports Science and Medicine* 16, 489-497.

Martin, C., Thevenet, D., Zouhal, H., Mornet, Y., Delès, R., Crestel, T., Prioux, J. (2011). Effects of Playing Surface (Hard and Clay Courts) on Heart Rate and Blood Lactate During Tennis Matches Played by High-Level Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 163–170.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fb459b>

Martínez-Gallego, R., Guzmán, J. F., Crespo, M., Ramón-Llin, J., & Vučković, G. (2018). Technical, tactical and movement analysis of men's professional tennis on hard courts. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(1).
<https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07916-6>

Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Fernandez, J., Bishop, D., Fernandez-Garcia, B., Terrados, N., & Ferrauti, A. (2007). Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *British Journal of Sports Medicine*, 41(5), 296–300.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.030536>

Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Fernández, J., Bishop, D., & Fernandez-Garcia, B. (2010). Ratings of Perceived Exertion-Lactate Association During Actual Singles Tennis Match Play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 165–170.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a5bc6d>

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. & Group, T. P. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, 6(7).

Murias, J. M., Lanatta, D., Arcuri, C. R., & Laiño, F. A. (2007). Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 112–117.
<https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00021>

Pereira, T. J. C., Nakamura, F. Y., de Jesus, M. T., Vieira, C. L. R., Misuta, M. S., de Barros, R. M. L., & Moura, F. A. (2016). Analysis of the distances covered and technical actions performed by professional tennis players during official matches. *Journal of Sports Sciences*, 35(4), 361–368.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1165858>

Pluim, B. & Safran, M. (2004). From breakpoint to advantage. A practical guide to optimal tennis health and performance.

Reid, M., & Duffield, R. (2014). The development of fatigue during match-play tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(Suppl 1), i7–i11.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093196>

Silbernagel, S. & Despopoulos, A. (2003). *Taschenatlas der Physiologie*. Stuttgart.

Smekal, G., Von Duvillard, S. P., Rihacek, C., Pokan, R., Hofmann, P., Baron, R., ... Bachl, N. (2001). A physiological profile of tennis match play: *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 999–1005.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200106000-00020>

Schönborn, R. (2016). *Tennis Techniktraining*. 5. überarbeitete Auflage. Aachen: Meyer & Meyer.

Schönborn, R. (2006). *Optimales Tennistraining*. Der Weg zum erfolgreichen Tennis vom Anfänger bis zur Weltspitze. Balingen: Spitta-Verlag.

Weineck, J. (2007). *Optimales Training*. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kindes- und Jugendtrainings. Balingen: Spitta-Verlag.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell der nichtlinearen Belastungs-Beanspruchungs-Interaktion im Sport	4
Abbildung 2: Sauerstoffaufnahme (VO_2) und respiratorischer Quotient (RQ) beim Tennis und Laufen	7
Abbildung 3: Modell der Leistungsfaktoren im Tennis	10
Abbildung 4: Ballwechseldauer bei den US Open in Abhängigkeit von der gegnerischen Spieltaktik	15
Abbildung 5: Fehlerquote in Abhängigkeit von Laufweg und Zeitdruck	16
Abbildung 6: Ausmaße eines Tennisplatzes	17
Abbildung 7: Schlaghäufigkeit bis zum Punktgewinn auf Sand	21
Abbildung 8: Energiequellen	23
Abbildung 9: Prozentuale Häufigkeit von Blutlaktatkonzentrationen in definierten Bereichen	27
Abbildung 10: Histogramme zu den Fragen nach Nervositätsgrad und nervositätsbedingtem Leistungsverlust im Turniereinzel	28
Abbildung 11: Metabolische Diskrepanz zwischen Trainingseinzel und Turniereinzel	29
Abbildung 12: Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit	31
Abbildung 13: Übersicht der motorischen Fähigkeiten und deren Beeinflussung	32
Abbildung 14: Indikatoren für die Koordination	34
Abbildung 15: Wechselbeziehungen der drei Hauptformen der Kraft	35
Abbildung 16: Die Kraftformen und ihre Bedeutung für den Tennissport	36
Abbildung 17: Die Kraft-Zeit-Kurve	38
Abbildung 18: Spezifische Schnelligkeitsbereiche im Tennis	40
Abbildung 19: Flussdiagramm der aus- und eingeschlossenen Studien	47
Abbildung 20: Beispiel für ein portables Gasanalysegerät	51
Abbildung 21: BORG-Skala	52
Abbildung 22: Modifizierte BORG-Skala	53
Abbildung 23: Herzfrequenzbereiche bei Gomes et.al. (2011)	59

Abbildung 24: Laktatwerte bei Christmass et.al. (1998).....	63
Abbildung 25: Laufdistanzen in Abhängigkeit von der Spielfläche	71

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spieldauer für einen Punkt	15
Tabelle 2: Durchschnittliche Schlaghäufigkeiten innerhalb eines Punktes	19
Tabelle 3: Prozentuale Auflistung der Schlaghäufigkeit/ Ballwechseldauer in Abhängigkeit vom Untergrund	20
Tabelle 4: Konzentration von Adrenalin im Urin während eines Turniers (TU) und eines Trainingswettkampfes (TR)	30
Tabelle 5: Konzentration von Noradrenalin im Urin während eines Turniers (TU) und eines Trainingswettkampfes (TR)	30
Tabelle 6: Ausdauertrainingsmethoden	43
Tabelle 7: Übersicht der eingeschlossenen Studien	56
Tabelle 8: Anzahl der Studienteilnehmer aller eingeschlossenen Studien	57
Tabelle 9: Herzfrequenzwerte der eingeschlossenen Studien	57
Tabelle 10: Herzfrequenzbereiche bei Gomes et.al. (2011)	59
Tabelle 11: Laktatwerte der eingeschlossenen Studien	61
Tabelle 12: Sauerstoffaufnahme der eingeschlossenen Studien	64
Tabelle 13: Einfluss der Spieltaktik auf physiologische Parameter nach Smekal et.al. (2001)	64
Tabelle 14: RPE-Werte der eingeschlossenen Studien	66
Tabelle 15: RPE-Bewertungen mit Hilfe der CR-10-Skala bei Gomes et.al. (2011)	67
Tabelle 16: Mittlere Ballwechseldauer der eingeschlossenen Studien	68
Tabelle 17: Zurückgelegte Distanzen der eingeschlossenen Studien	71

Tabelle 18: Verhältnis Belastung zu Erholung der eingeschlossenen Studien.....	73
--	----