

# **Körperliches Beanspruchungsprofil im modernen Badminton unter ausgewählten energetischen und biomechanischen Aspekten**

**Susanne Kempter**

Technische Universität München Lehrstuhl für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin

# **Körperliches Beanspruchungsprofil im modernen Badminton unter ausgewählten energetischen und biomechanischen Aspekten**

**Susanne Kempter**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Sportwissenschaft der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Uni.-Prof. Dr. M. Halle

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. D. Jeschke, i. R.

2. Univ.-Prof. Dr. A. Schwirz

Die Dissertation wurde am 12.03.2008 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Sportwissenschaft am 16.12.2008 angenommen.



1	Einleitung.....	1
2	Theoretische Grundlagen.....	5
	2.1 Badminton als Rückschlagsportart.....	5
	2.2 Lauftechnik im Badminton.....	7
	2.2.1 Basissituationen.....	7
	2.2.2 Prinzipien.....	13
	2.3 Literaturbesprechung.....	14
	2.3.1 Energetische und kardiale Beanspruchung im Badminton.....	15
	2.3.2 Gasaustauschmessungen im Feld.....	17
	2.3.3 Intervallförmige Belastung im Badminton.....	18
	2.3.4 Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit und intervallförmige Belastung.....	20
	2.3.5 Sportartspezifische Feldtests und Bewegungsökonomie.....	21
	2.3.6 Laufbeanspruchung im Badminton.....	22
	2.3.7 Abgrenzung zu anderen Rückschlagsportarten.....	23
3	Zielsetzung und Fragestellung.....	25
4	Methoden.....	28
	4.1 Probanden.....	28
	4.1.1 Auswahlkriterien.....	28
	4.1.2 Stichprobe.....	28
	4.1.3 Sportmedizinische Untersuchung.....	28
	4.2 Leistungsdiagnostik und wettkampfähnliche Spiele.....	29
	4.2.1 Stufenweise ansteigende Laufbandspiroergometrie.....	29
	4.2.2 Vita-Max Test.....	31
	4.2.3 Kardiale und metabolische Parameter.....	33
	4.2.4 Trainingsspiele.....	35
	4.2.5 Zeitraum der Datenerhebung.....	37
	4.3 Dreidimensionale Bewegungsanalyse.....	37
	4.3.1 Systematisierung der Bewegungen im Badminton.....	38
	4.3.2 Definitionen und Berechnungen.....	40
	4.3.3 Messstation.....	43
	4.3.4 Kameras und ihre Synchronisation.....	45
	4.3.5 Versuchsdurchführung.....	46

4.4	Statistik .....	46
4.4.1	Deskriptive Statistik .....	46
4.4.2	Interferenzstatistik .....	46
4.4.3	Expertenrating .....	48
5	Ergebnisse .....	49
5.1	Probanden .....	49
5.1.1	Klinischer Befund und anthropometrische Grunddaten .....	49
5.1.2	Sportliche Anamnese .....	49
5.2	Kardiale und energetische Leistungsdiagnostik .....	52
5.2.1	Stufenweise ansteigende Laufbandspiroergometrie .....	52
5.2.2	Vita-Max Test .....	53
5.2.3	Ausbelastungskriterien .....	54
5.3	Kardiale und metabolische Parameter im Spiel .....	55
5.3.1	Sauerstoffaufnahme im Spiel .....	56
5.3.2	Herzfrequenz im Spiel .....	59
5.3.3	Blutlaktatwert im Spiel .....	63
5.3.4	Einfluss der Sauerstoffaufnahmefähigkeit auf die Spielstärke .....	65
5.3.5	Einzelfallanalyse .....	68
5.3.6	Gewinner und Verlierer .....	71
5.4	Intervallförmige Belastung im Spiel .....	76
5.4.1	Dauer der Spiele und Sätze .....	76
5.4.2	Dauer und Häufigkeitsverteilung der Ballwechsel .....	77
5.4.3	Dauer und Häufigkeitsverteilung der Pausen .....	78
5.4.4	Effektive Spielzeit .....	80
5.4.5	Dauer und Häufigkeitsverteilung der Kontakte .....	81
5.5	Laufarbeit im Spiel .....	83
5.6	Dreidimensionale Bewegungsanalyse .....	87
5.6.1	Einzelfallanalyse eines Ballwechsels .....	87
5.6.2	Länge der Laufwege .....	91
5.6.3	Maximale Geschwindigkeit bei Laufwegen .....	95
5.6.4	Mittlere Beschleunigung bei Laufwegen .....	97
5.6.5	Verhalten des Körperschwerpunktes bei Laufbewegungen .....	100
5.6.6	Reaktionszeit und Vor- und Nachbereitung eines Schlages .....	103

5.6.7	Prinzip der integrierten Rückkehr in den Umkehrpunkten .....	107
6	Diskussion.....	110
6.1	Methodenkritik .....	110
6.1.1	Probanden.....	110
6.1.2	Gütekriterien.....	111
6.1.3	Laufbandergometrie .....	112
6.1.4	Datenerhebung in den Vereinsturnhallen.....	113
6.1.5	Dreidimensionale Bewegungsanalyse.....	114
6.2	Leistungsdiagnostik und wettkampfähliche Spiele .....	114
6.2.1	Allgemeine aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit der Probanden.....	114
6.2.2	Durchschnittliche energetische und kardiale Beanspruchung im Spiel.....	116
6.2.3	Energetische und kardiale Beanspruchung über die Dauer des ganzen Spieles .....	121
6.2.4	Energetische und kardiale Beanspruchung für Gewinner und Verlierer.....	123
6.2.5	Intervallförmige Belastung.....	124
6.3	Dreidimensionale Bewegungsanalyse .....	127
6.3.1	Laufwege .....	127
6.3.2	Maximale Geschwindigkeit und mittlere Beschleunigung .....	128
6.3.3	Verhalten des Körperschwerpunktes.....	131
6.3.4	Reaktionszeit und Vor- und Nachbereitung eines Schlages.....	133
6.3.5	Situatives Bewegungsverhalten.....	135
7	Trainingshinweise.....	139
7.1	Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit durch zusätzliche kontrollierte Trainingseinheiten erwerben .....	139
7.2	Taktik - Intervallförmige Belastung variieren .....	140
7.3	Dauer der Vorbereitung von Schlägen durch Training der Antizipation und Entscheidungsfähigkeit verkürzen.....	141
7.4	Dauer der Nachbereitung von Schlägen durch Krafttraining und Training der Schlagpräzision verkürzen.....	142
7.5	Taktik - Lange Laufwege durch eine optimale Raumaufteilung vermeiden .....	142

7.6 Taktik - Winner-Strategie mit reaktiven Techniken umsetzen.....	143
8 Zusammenfassung .....	144
9 Literatur .....	149
10 Anhang.....	154
10.1 Abbildungsverzeichnis .....	154
10.2 Tabellenverzeichnis .....	158
10.3 Abkürzungen.....	160
10.4 Glossar .....	160
10.5 Daten.....	162
10.5.1 Anthropometrie .....	162
10.5.2 Leistungsdiagnostik.....	164
10.5.3 Lauftechniken im Spiel .....	168
10.5.4 Kardiale und metabolische Parameter im Spiel .....	169
10.5.5 Dreidimensionale Bewegungsanalyse.....	180
10.5.6 Sprunghöhentest .....	189

# 1 Einleitung

Badminton als Rückschlagsportart eines Federballes mit Schlägern stammt wahrscheinlich aus dem südasiatischen Raum. Seinen Namen erhielt es 1885 nach der Residenz des Herzogs von Beaufort in Gloucestershire, nachdem es Jahre zuvor von Indien nach England gekommen war (Diem 1971). Von dort breitete es sich ab 1878 in den USA aus, eroberte ab den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts Kanada und wurde in den fünfziger Jahren in Nordamerika wie in Europa ein beliebtes Jedermannspiel ähnlich wie im asiatischen Raum. Als wettkampfmäßig betriebene Rückschlagsportart nach festgelegten Regeln mit definiertem Spielfeld, Netzhöhe und Sportgerät existiert es seit 1893. „Heute zählt Badminton zu einer der populärsten Sportarten der Welt“ (Robson 1996). Als es 1992 in Barcelona olympisch wurde, lag die Fernsehquote bei über einer Milliarde Zuschauern. Mit der Popularität kam es zu einer rapiden Zunahme des Leistungsniveaus in der Rückschlagsportart Badminton. Am Olympiastützpunkt Rheinlandpfalz/Saarland nahm beispielsweise der Kraftindex der Herren, der sich aus allen für die Sportart Badminton relevanten Kraftqualitäten zusammensetzt, im Zeitraum 1989-1994 um 16,6 % zu (Felder 1994). Felder (Felder 1994) konnte einen direkten Zusammenhang zwischen dem Kraftniveau und der Wettkampfleistung finden. Omosegaard (Omosegaard 1996) ermittelte 1995 bei 10 dänischen Spitzenspielern eine höhere durchschnittliche Sauerstoffaufnahme (63 ml/kg/min) als 1977 bei 9 dänischen Spitzenspielern (59 ml/min/kg). Bei den Internationalen Deutschen Meisterschaften 1986 wurde mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1 Schlag/Sekunde gespielt (Kollath, Bochow et al. 1987). Bei den Russian Open 1995 betrug die durchschnittliche Schlaggeschwindigkeit internationaler Spieler bereits 1,21 Schläge/Sekunde (Zhabankov 1997).

Eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit in der Sportart Badminton erfordert eine optimale Trainingsplanung, deren Grundlage ein exaktes Anforderungsprofil ist. Badminton gewann

erst ab 1977 Interesse in der Sportwissenschaft. Zuvor wurden kaum ernst zu nehmende Studien publiziert. Ohne Zweifel haben die seither erschienenen, allerdings im Vergleich zu anderen Sportarten wenigen Studien zu einem besseren Verständnis der Beanspruchung des Organismus und der Leistungsvoraussetzungen in dieser Sportart beigetragen.

Verschiedene Autoren befassten sich mit einem Anforderungsprofil in der Sportart Badminton. Dick (Dick 1986) gewichtet physische Faktoren unter Einbeziehung der Koordination, welche sowohl die Lauf- als auch die Schlagtechnik beinhaltet. Dabei hat die Koordination mit 40 % den größten Anteil, gefolgt von der Schnelligkeit (21 %), Kraft (15 %), Ausdauer (15 %) und Flexibilität (9 %). Omosegaard (Omosegaard 1996) beschreibt ein Bedingungsgefüge aus Fitness, Technik, Taktik und Psyche ohne Gewichtung der einzelnen Faktoren. Gut ausgebildete physische Fähigkeiten können beispielsweise die Psyche positiv beeinflussen und mehr taktischen Spielraum geben. Eine geringe Ausprägung des Leistungsfähigkeitsmerkmals Schnelligkeit kann die Entwicklung von Angriffsschlägen, bei der eine gute Position zum Ball eine wichtige Voraussetzung ist, verhindern. Trotz der Fähigkeit, in kurzer Zeit hohe Laufgeschwindigkeiten zu entwickeln, können durch eine unökonomische oder nicht situationsangepasste Lauftechnik kardiale und metabolische Parameter negativ beeinflusst werden, was wiederum zu einem geringeren taktischen Gestaltungsspielraum führen kann.

Die Bewegungsökonomie und die Zweckmäßigkeit einer Bewegung unter dem Aspekt der Leistungsoptimierung rücken immer mehr ins Blickfeld der Sportwissenschaft, weil sie unter anderem einen unumstritten großen Einfluss auf kardiale und metabolische Parameter haben (Baron, Bach et al. 1990). In vielen Studien wird die hohe kardiale und metabolische Beanspruchung pauschal der schlechten Bewegungsökonomie der Spieler auf dem Spielfeld zugeschrieben (Chin, Wong et al. 1995; Baum, Kerst et al. 1996). Was bedeuten aber Bewegungsökonomie und die Zweckmäßigkeit einer Bewegung und wie kann sie gemessen werden? Die Bewegungsökonomie ist ein Bewegungsmerkmal und besagt, dass bei Bewegungsabläufen unter Einsparung von energetischem Aufwand ein größtmöglicher Leistungseffekt erzielt wird (Röthig 1992). Zweckmäßig ist eine Bewegung hingegen, wenn mit ihr situationsangepasst und ohne zeitliche Verzögerung ein optimaler Handlungseffekt erreicht werden kann (Röthig 1992).

Die Laufarbeit im Badminton ist ein von schnellen Richtungswechseln in Verbindung mit hohen Sprüngen und tiefen Ausfallschritten geprägtes Bewegungsmuster. Ökonomisch und zweckmäßig ist sie, wenn es einem Spieler gelingt, sowohl die einzelnen Laufbewegungen intra- und intermuskulär zu koordinieren als auch die richtige Auswahl an Bewegungselementen zu finden sowie deren Verbindung „flüssig“ zu gestalten und eine optimale räumliche Orientierung in einer Spielsituation einzunehmen. Das alles unter dem Aspekt, möglichst wenig Energie zu verbrauchen. Während der Energieverbrauch und die kardiale Beanspruchung auf Grund ihrer physiologischen Konstanten nicht einzelnen Laufbewegungen zugeordnet werden können (De Marees 2002), gelingt dies mit kinematischen Größen wie Geschwindigkeit oder Beschleunigung und bietet gleichzeitig die Möglichkeit, Bewegungen hinsichtlich ihrer Geschwindigkeits-Zeit-Strukturen zu vergleichen und Zusammenhänge aufzudecken. Die Frage, wie beispielsweise hohe maximale Geschwindigkeiten oder kraftraubende tiefe Ausfallschritte auf dem Spielfeld zustande kommen, kann mit einer Analyse der Geschwindigkeits-Zeit-Strukturen beantwortet werden.

In der vorliegenden Studie wurden zwei Faktoren des Anforderungsprofils untersucht, welche beide die kardiale und metabolische Beanspruchung im Spiel beeinflussen können. Einerseits die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit als konditionelle Komponente und andererseits die Lauftechnik als Teil der Koordination. Eine ungenügende aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit führt zu einer hohen kardialen und metabolischen Beanspruchung, welche sich negativ auf die Koordination auswirken kann. Eine schlechte Lauftechnik kann ebenfalls zu einer hohen körperlichen Beanspruchung führen, welche durch eine gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit kompensiert werden muss.

Ziel der Studie war es, eine exakte Analyse der kardialen und metabolischen Beanspruchung im Spiel durchzuführen, um die Bedeutung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit für die Sportart Badminton einordnen zu können, sowie die einzelnen Elemente der Lauftechnik hinsichtlich ihrer Geschwindigkeits-Zeit-Strukturen zu charakterisieren, um einem ökonomischen Bewegungsverhalten auf dem Spielfeld einen Schritt näher zu kommen.

Dazu wurde im ersten Teil der Studie die intervallförmige Belastung von Ballwechsel und Pausen in einem Herreneinzel, und die damit verbundene energetische und kardiale Bean-

spruchung von Leistungsspielern in einer wettkampfählichen Situation im Vergleich zu der unter standardisierten Bedingungen gemessenen aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit untersucht. Um eine exakte Aussage über die kardiale und metabolische Beanspruchung und den Einfluss der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit auf die Sportart Badminton treffen zu können, wurde die Sauerstoffaufnahme, welche eine limitierende Größe für den aeroben Stoffwechsel ist (De Marees 2002), Atemzug für Atemzug über die Dauer des ganzen Spiels gemessen.

Im zweiten Teil der Untersuchung wurden mittels einer dreidimensionalen Bewegungsanalyse Geschwindigkeits-Zeit-Strukturen von Laufbewegungen in Verbindung mit Techniken in den Umkehrpunkten erstellt. Unterschiede zwischen den einzelnen Techniken in Bezug auf die Lage des Körperschwerpunktes und der kinematischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung wurden quantitativ analysiert. In einem weiteren Schritt, wurden Zusammenhänge zwischen aufeinander folgenden Bewegungsabschnitten, also die „flüssige Verbindung“ einzelner Bewegungselemente und deren Beziehung zueinander, untersucht. Beispielhaft dafür waren die Fragen, ob sich die Laufgeschwindigkeit auf dem Spielfeld erhöht, wenn ein Spieler eine lange Reaktionszeit hat, oder ob Ausfallschritte tiefer sind, wenn die vorangehende Laufgeschwindigkeit hoch ist. Die Untersuchung war quantitativ, um einen Querschnitt an Verhaltensweisen bei Lauftechniken analysieren zu können, und wurde unabhängig von den wettkampfählichen Spielen durchgeführt, um die vielseitigen Einflüsse einer möglichen Ermüdung der Spieler ausschließen zu können.

Alle Untersuchungen wurden an statistisch ausreichenden Kollektiven Wettkampfsport betreibender Badmintonspieler durchgeführt.

Im Folgenden werden nach einer Beschreibung des Spiels, seiner Idee und Regeln die derzeitigen sportwissenschaftlichen Kenntnisse geschildert und die Fragestellungen dieser Arbeit im Detail formuliert.

## **2 Theoretische Grundlagen**

### **2.1 Badminton als Rückschlagsportart**

Die häufigsten heute in der Freizeit und professionell betriebenen Rückschlagsportarten sind Badminton, Tennis, Squash und Tischtennis. Für alle Rückschlagspiele ist der von der Hand gehaltene Schläger, mit dem ein Ball hin und her gespielt wird, charakteristisch. Ziel ist es, den Ball so zu platzieren, dass der Gegner den Ball nicht mehr erfolgreich zurückspielen kann. Es gibt bei allen Rückschlagsportarten ein definiertes Spielfeld unterschiedlicher Größe, in dem der Ball mit diversen Regeln gespielt werden darf (Lee 2003).

Gespielt wird in Hallen in einem rechteckigen Spielfeld (Abb. 1), das in der Mitte durch ein Netz mit der Höhe 1,55 m in 2 Spielfeldhälften geteilt wird. Im Einzelspiel wird von den Spielern ein gefiederter Ball im Flug mit einem Schläger über ein Netz abwechselnd hin und her geschlagen. Ziel des Spieles ist es, den Federball den Regeln entsprechend so über das Netz zu spielen, dass er in der Spielfeldhälfte des Gegners den Boden berührt oder von ihm nur fehlerhaft zurückgespielt werden kann. Der Ball darf grundsätzlich nicht den Boden berühren. Ein im Spielfeld zu Boden gefallener Ball wird als Fehler gewertet (Knupp 1997).

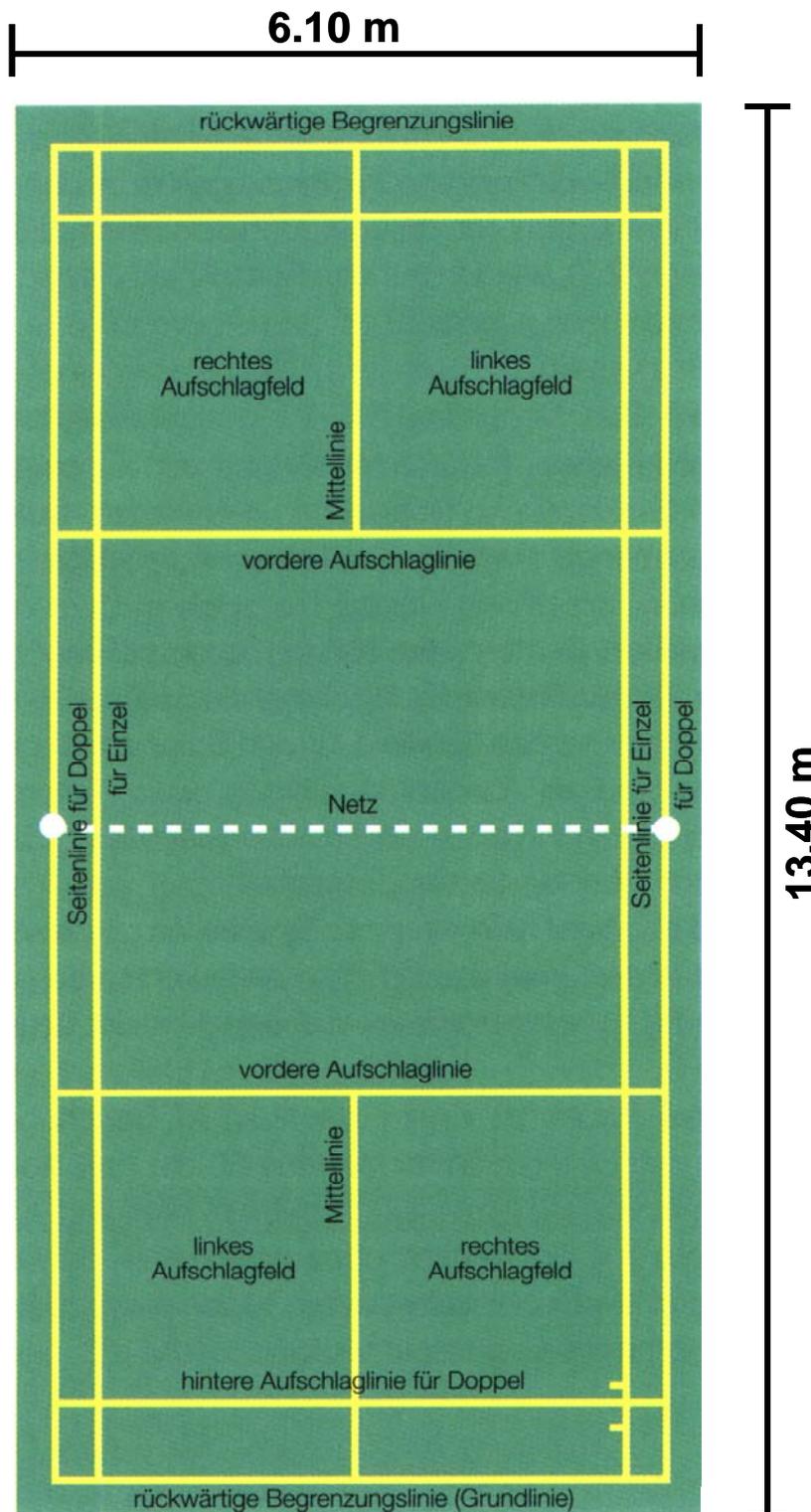


Abb. 1: Spielfeld

In der Untersuchung wurde nach den 2001 eingeführten Regeln „best of five“ gespielt (Prichard, Hughes et al. 2001). Im Herreneinzel werden hierbei drei Gewinnsätze bis je 7

Punkte gespielt. Nur der aufschlagende Spieler kann dabei Punkte erzielen. Begeht der Aufschläger einen Fehler, so erhält er keinen Punkt und verliert das Aufschlagrecht an seinen Gegner. Ein Spieler hat einen Satz gewonnen, wenn er 7 Punkte erreicht. Es besteht die Möglichkeit bei „6 beide“ auf 8 Punkte zu verlängern. Zwischen jedem Satz ist eine 90 Sekunden lange Pause.

## **2.2 Lauftechnik im Badminton**

Die Schlagtechniken werden mit einer der Situation angemessenen Lauftechnik verbunden (Knupp 1989). Es gibt keine starren Laufwege, sondern verschiedene Verhaltensmöglichkeiten in Basissituationen und unterschiedliche Laufprinzipien.

### **2.2.1 Basissituationen**

#### **2.2.1.1 Ballerwartungshaltung**

Die Ballerwartungshaltung (Abb. 2) wird vom Spieler eingenommen, sobald der Gegner den Ball trifft, um maximal schnell situationsangemessen zu reagieren. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird durch die Reaktionszeit, also die Zeitspanne zwischen dem im Badminton optischen Signal und seiner motorischen Antwort, gemessen. Im Badminton handelt es sich ausschließlich um offene Reaktionssituationen, die vom Spieler eine Auswahlentscheidung abverlangen. Im Gegensatz zu Einfachreaktionen haben Auswahlreaktionen eine zwei- bis dreimal so lange Reaktionszeit. Erfahrung und das damit verbundene Erlernen von Antizipation in reaktionsauslösenden Situationen spielen eine entscheidende Rolle.

In der Ballerwartungshaltung steht der Spieler ruhig, aber aktionsbereit. Eingeleitet wird die Ballerwartungshaltung mit einem Auftaktschritt. Bei der Landung mit breiter Bein-  
stellung ist die Beinmuskulatur in einem Zustand der Vorspannung. Die volle Aufmerksamkeit des Spielers ist auf den Schlag des Gegners gerichtet. Nur wer visuell (Blick), motorisch (Muskeln) und neural (Nervenbahnen) voll aktiviert ist, kann maximal schnell reagieren.



Abb. 2: Ballerwartungshaltung

#### **2.2.1.2 Fortbewegung im Spielfeld**

Zur Fortbewegung im Spielfeld werden Schritte, Kreuzschritte und Sidesteps jeweils vorwärts, rückwärts und seitwärts eingesetzt. Man unterscheidet die Laufwege zum Ball von den Laufwegen zur situativen Zentralposition. Welche Technik angewandt wird, hängt vom Schlag des Gegners und der Auswahlentscheidung des Spielers ab. Nach einem hohen Aufschlag des Gegners beispielsweise hat der Spieler viel Zeit und kann dementsprechend langsam zum Ball gehen. In dieser Situation werden häufig Kreuzschritte als Fortbewegungsart gewählt. Wird der Ball jedoch schnell halbhoch in den Bewegungsspielraum des Spielers gespielt, sind Sidesteps die bevorzugte Fortbewegungsart.

#### **2.2.1.3 Bewegungsmöglichkeiten in den Umkehrpunkten**

In den Umkehrpunkten werden unterschiedliche Sprünge und Schritte angewendet. Der Laufweg ans Netz wird immer mit einem Ausfallschritt (Abb. 3) unterschiedlicher Tiefe abgeschlossen. Ausfallschritte werden aber auch zur Seite und nach hinten eingesetzt. Beim Ausfallschritt nach hinten auf die Rückhandseite (Abb. 4) dreht der Spieler sich mit dem Körper vom Netz weg und verliert damit den Blickkontakt zum Gegner. Ausfallschritte können auch als Abschluss nach einem Sprung ans Netz ausgeführt werden. Als

weiteren Schritt gibt es den Stemmschritt, der oft bei der hohen Aufschlagannahme in Kombination mit Kreuzschritten angewendet wird.

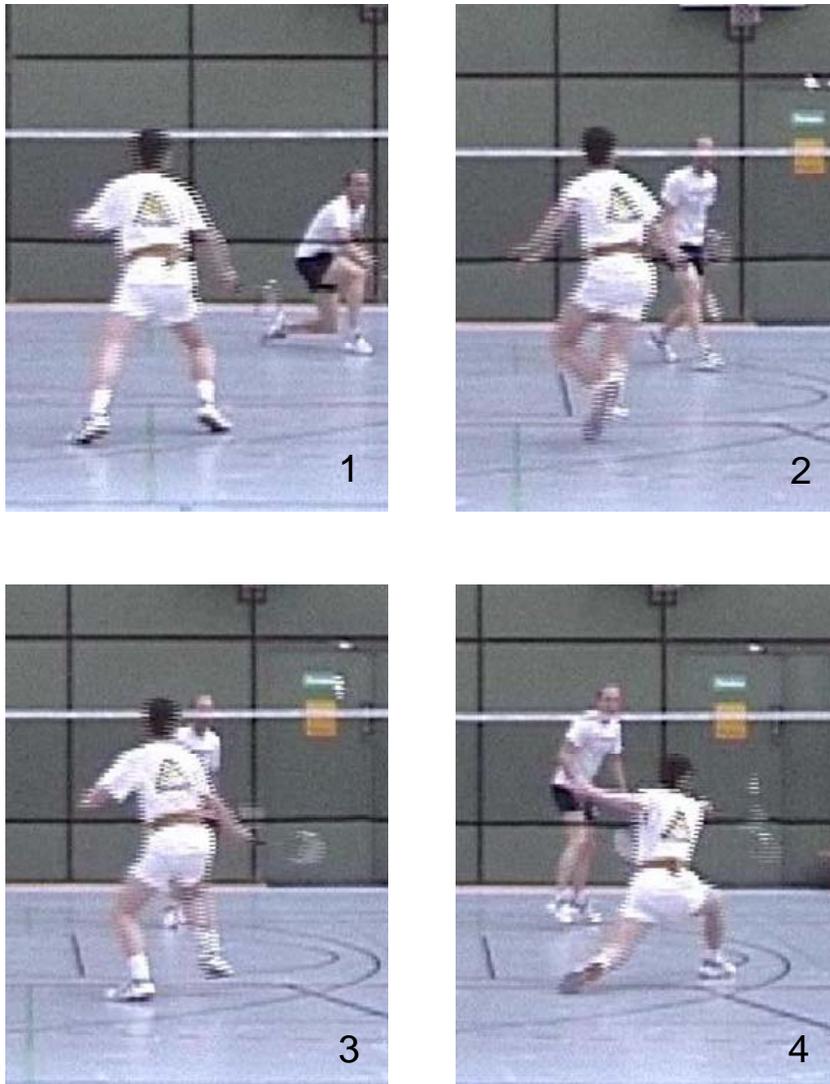


Abb. 3: Ausfallschritt am Netz

Zur Seite und ins Hinterfeld gibt es in den Umkehrpunkten die Möglichkeit unterschiedlicher Sprünge. Der Umsprung (Abb. 5) wird bei Vorhandschlägen über Kopf oder links vom Kopf ausgeführt, wenn der Spieler wenig Zeit hat. Der Spieler springt aus dem Rückwärtslauf ab und schlägt in der Luft. Der Absprung erfolgt rechts, wobei die linke Körperhälfte zum Ball zeigt. Nach dem Schlag landet der Spieler auf dem linken Fuß.



Abb. 4: Ausfallschritt im Hinterfeld

Ein weiterer Sprung ist der Chinasprung (Abb. 6), der bei Vorhandschlägen rechts und links vom Kopf angewendet wird. Absprung und Landung sind beidbeinig. Der Ball wird im Flug getroffen. Im Gegensatz zum Umsprung bleibt der Oberkörper während des Schlages und bei der Landung stabil. Der Chinasprung wird meist in Kombination mit Sidesteps ausgeführt.

Als letztes gibt es Senkrechtsprünge im hinteren Spielfeldbereich, die mit einer beidbeinigen Landung abgeschlossen werden.



Abb. 5: Umsprung



Abb. 6: Chinasprung

## **2.2.2 Prinzipien**

### **2.2.2.1 Prinzip der integrierten Rückkehr**

An den Umkehrpunkten soll die Vorspannung der Muskulatur aus der Abfangbewegung für die schnelle Rückkehr zum situativen Zentralpunkt genutzt werden. Das schnelle „rein-raus“ hat reaktiven Charakter.

Die Grundlagen für reaktive Sprünge in den Umkehrpunkten sind vielseitig. Der Spieler muss sich eine gute Ausgangsposition für den Schlag verschaffen. Nach dem Schlag muss er seinen Körperschwerpunkt in eine gute Ausgangsposition für den Laufweg zur Zentralposition bringen. Die Ausgangsposition ist gut, wenn die Kraft beim Abdruck der Beine in gewünschter Bewegungsrichtung im Körperschwerpunkt angreift. Er braucht für die Landung eine gute Gleichgewichtsfähigkeit. Für reaktive Sprünge benötigt er die nötige Feinkoordination der Sprungschlinge der Beinmuskulatur sowie eine gute Sprungkraft.

### **2.2.2.2 Prinzip des schnellen Starts**

Das Prinzip des schnellen Starts bedeutet, dass der Spieler in dem Moment, an dem der Gegner den Ball trifft, mit breiter Beinstellung und vorgespannter Beinmuskulatur den Ball erwartet. Erkennt er die Bewegungsrichtung des Balles, drückt er sich schnellkräftig in Bewegungsrichtung ab. Der erste Abdruck erfolgt entgegengesetzt zur Laufrichtung. Die Kraft kann optimal eingesetzt werden, wenn sie im Körperschwerpunkt angreift. Ist die Ausgangsbeinstellung nicht so, dass der Spieler sich effektiv abdrücken kann, macht er einen kleinen Auftaktschritt, um den Körper in eine gute Ausgangsstellung zu bringen.

### **2.2.2.3 Prinzip des nahen Bodenkontaktes und der wendigen Schritte**

In rasch wechselnden Situationen ergibt sich ein Nebeneinander verschiedener schneller Fuß- und Beinbewegungen, je nachdem, ob ein gegnerischer Ball höher, niedriger, härter oder weicher geschlagen wird. Laufgewandtheit ist ein wichtiger Faktor bei der Lauftechnik im Badminton. Schnelles Bewegen auf dem Spielfeld bedarf eines schnellen Abdrucks der Füße vom Boden. Deshalb sollte ein möglichst schneller Bodenkontakt immer gewährleistet sein.

#### 2.2.2.4 Prinzip der inneren Zentralposition

Ein Spieler muss sich nach dem Schlag sofort wieder in die situative Zentralposition orientieren, um in eine gute Ausgangsposition für die nächste Ballannahme zu gelangen. Die situative Mitte kann dabei die Mitte des Spielfeldes sein, muss aber nicht. Der Spieler soll sich je nach Spielsituation passend positionieren. Ist er beispielsweise im Angriff und weiß, dass sein Gegner den Ball nur kurz zurück spielen kann, ist seine situative Zentralposition am Netz.

### 2.3 Literaturbesprechung

Bis 1977 gab es kaum wissenschaftliche Studien. Technische Aspekte des Spieles basierten auf Erfahrungen und Beobachtungen der Trainer. 1977 wurde die erste biomechanische Arbeit über die Bedeutung der Pronation und Supination des Unterarmes bei Schlagbewegungen vorgestellt (Gowitzke und Waddell 1977a; Gowitzke und Waddell 1977b). Danach folgten eine Reihe biomechanischer Studien zur Bewegung des Schlagarmes (Kollath, Bochow et al. 1983; Sakurai, Ikegami et al. 1987; Tapley und Barlett 1988; Tang, Abe et al. 1995; Sakurai und Ohtsuki 2000) sowie zur Bewegung beim Schmetterball aus verschiedenen Ausgangssituationen (Kollath, Bochow et al. 1985; Kollath, Bochow et al. 1986), die sich unterschiedlicher Analysetechniken, wie der Highspeedvideographie, der Elektromyographie oder der Elektrogoniographie bedienten. Weitere Studien beschäftigten sich mit der Ausprägung der Beinmuskulatur bei Badmintonspielern sowie der Kräfte, die beim Ausfallschritt auftreten (Whired, Johansson et al. 1983; Harrison, Lees et al. 1986; Kollath und Schwirtz 1991; Lee und Hurley 1995).

Auf großes Interesse stießen Forschungsergebnisse aus der Wahrnehmungspsychologie, da eine schnellstmögliche situationsangemessene Reaktion auf den gegnerischen Schlag Voraussetzung für einen guten Return ist. Wettkampfspieler können gegnerische Schläge besser antizipieren als Freizeitpieler (Abernethy und Russell 1987; Abernethy und Russell 1987; Abernethy, Gill et al. 2001). Weniger Informationen reichen ihnen aus, den gegnerischen Schlag zu antizipieren (Abernethy und Zawi 2007). Zudem lassen sich Wettkampfspieler von Finten weniger täuschen (Jackson, Warren et al. 2006). Der Unterschied zwischen Freizeit- und Wettkampfspielern bleibt bestehen, unabhängig vom Leistungsniveau und vom Alter der Wettkampfspieler (Abernethy 1988; Abernethy 1989). Jedoch können

ältere Wettkampfspieler den Schlag besser antizipieren als jüngere. Um die Antizipationsfähigkeit zu verbessern, wurde ein Antizipationstraining mit Videospiele vorgeschlagen (Abernethy 1996).

Badminton ist eine Sportart mit einer intervallförmigen Belastung, wobei die zeitliche Dauer der Intervalle sehr unterschiedlich ausfällt (O` Donoghue 2000). Es wurden Ballwechsel von 1-40 s gemessen (Cabello und Gonzales-Badillo 2003), wobei die Schlagfrequenz durchschnittlich ein Schlag/s betrug (Zhabankov 1997).

Die Variabilität der Ballwechsel und die schnellen Richtungswechsel mit Sprüngen und Ausfallschritten machen es schwierig, Aussagen über die Energiebereitstellung im Spiel und über das energetische und kardiale Anforderungsprofil zu machen. Einige Studien haben sich deshalb mit der Entwicklung sportartspezifischer leistungsdiagnostischer Tests befasst (Chin, Wong et al. 1995; Baum, Kerst et al. 1996; Baum, Hoy et al. 1998).

Im Folgenden werden die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen, deren Thematik für die vorliegende Studie relevant ist, näher betrachtet. Dazu gehören Ergebnisse zur physiologischen Beanspruchung im Einzel, Analysen zur intervallförmigen Belastung, also dem Verhältnis von Belastung und dazwischen liegender Pause sowie biomechanische Erkenntnisse über die Laufbewegungen in Sportspielen.

### **2.3.1 Energetische und kardiale Beanspruchung im Badminton**

Es gibt mehrere Untersuchungen, in denen kardiale und metabolische Parameter während oder nach einem Einzelspiel gemessen wurden. Die am häufigsten gemessenen Parameter waren dabei die Herzfrequenz und das Blutlaktat. Die Sauerstoffaufnahme wurde nur vereinzelt bestimmt. Zudem unterscheiden sich die Studien in der Anzahl der Probanden, des Geschlechts und der Leistungsstärke der Spieler, so dass sie nur bedingt vergleichbar sind. Die Parameter wurden direkt im Wettkampf oder in einer wettkampfähnlichen Situation gemessen.

Badmintonspieler haben eine gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit. Die durchschnittliche maximale Sauerstoffaufnahme, die in leistungsdiagnostischen Tests gemessen wurde, betrug zwischen 55,7 und 65 ml/kg/min (Tab. 1). Spieler höherer Klassen verfügen in der Regel auch über eine höhere aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit

(Urhausen, Coe et al. 1990). Zur Sauerstoffaufnahmefähigkeit an der anaeroben Schwelle bei Badmintonspielern gibt es kaum Angaben. In einer Studie wurde die anaerobe Schwelle bei 85 % der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit bestimmt (Vistisen 1987).

Faccini et al. (Faccini und Dal Monte 1996) bestimmten im Spiel eine durchschnittliche Sauerstoffaufnahme, die 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme betrug. Es traten Belastungsspitzen auf, bei denen die Spieler bis zu 87 % ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme beanspruchten. Faude et al. (Faude, Meyer et al. 2007) haben bei 4 internationalen Spielern eine durchschnittliche Sauerstoffaufnahme von 46 ml/kg/min ( $\pm$  4,5 ml/kg/min) gemessen. Dies entsprach 74 % ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme.

Die in der Literatur angegebenen Herzfrequenzen bei einem Spiel liegen in einem Bereich zwischen 157 und 187 Schläge/min (Docherty 1982; Weber 1982; Gosh, Mazumbar et al. 1990; Faccini und Dal Monte 1996; Majumdar, Khanna et al. 1997; Cabello und Gonzales-Badillo 2003). Prozentual erreichen die Spieler 80 - 95 % ihrer maximalen Herzfrequenz (Mikkelsen 1978; Docherty 1982; Faccini und Dal Monte 1996).

Durchschnittliche Laktatwerte, die in der Literatur angegeben werden, variieren in einem Bereich von 2,9 - 6,4 mmol/l (Weber 1982; Faccini und Dal Monte 1996; Omosgaard 1996; Weiler, Urhausen et al. 1997; Cabello und Gonzales-Badillo 2003).

Unterschiedliche Angaben gibt es auch zum Vergleich der kardialen und metabolischen Parameter von Spielern mit unterschiedlicher Leistungsstärke. In einer Studie hatten die Spieler der höheren Leistungskategorie eine geringere kardiale und metabolische Beanspruchung als die Spieler der tieferen Leistungskategorie (Weber 1982) bei der gleichen intervallförmigen Belastung. Im Gegensatz dazu wurden in einer anderen Studie bei Spielern mit besserer Technik höhere Herzfrequenzen gemessen (Docherty 1982).

Die im Spiel gemessenen Herzfrequenzen fallen einigen Studien zufolge im Verhältnis zu den Werten der Sauerstoffaufnahme sehr hoch aus (Faccini und Dal Monte 1996; Majumdar, Khanna et al. 1997). Majumdar et al. (Majumdar, Khanna et al. 1997) schätzten die Sauerstoffaufnahme anhand der gemessenen Herzfrequenzen und lagen mit den erhaltenen Werten über der ermittelten Sauerstoffaufnahme im Stufentest. Mögliche Gründe für die hohen Herzfrequenzen sind die kurzen Erholungszeiten nach statischen und dynamischen Kraftbeanspruchungen, die zu einem nicht linearen Anstieg von Herzfrequenz und

Sauerstoffaufnahme führen (Reilly, Secher et al. 1990), oder die erhöhte Aktivität des Sympathikus bei der Armarbeit über dem Kopf (Astrand und Rodahl 1968; Parker, Hurley et al. 1989). Eine andere Erklärung für die hohen Herzfrequenzen ist die intervallförmige Belastung beim Badminton. Baum et al. (Baum, Leyk et al. 1997) haben bei einer kontinuierlichen Laufbandbelastung und einer Intervallbelastung, die sich aus je 10 Sekunden Belastung und 10 Sekunden Pause zusammensetzte, die Herzfrequenzen und die Sauerstoffaufnahme gemessen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass man mit Hilfe der kontinuierlich ermittelten Herzfrequenz-Sauerstoffaufnahme-Beziehung die Sauerstoffaufnahme der Intervallbelastung um 0,5 l/min überschätzen würde.

Über die kardialen und metabolischen Parameter im Verlauf eines Spieles gibt es kaum Angaben. In einer Studie stiegen die durchschnittlichen Herzfrequenzen im Laufe des Spieles, in Bezug auf die Herzfrequenzen, die während des Spieles maximal gemessen wurden, um mehr als 3 % an (Cabello und Gonzales-Badillo 2003).

In wenigen Studien wurde zwischen Gewinner und Verlierer unterschieden. Faude et al. (Faude, Meyer et al. 2007) konnten nach einem 30 Minuten langen Trainingseinzel keine Unterschiede zwischen Blutlaktatwerten von Gewinner und Verlierer messen.

Tab. 1: Relative Maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit von Badmintonspielern

Autor	max. rel. VO <sub>2</sub> [ml/kg/min]	Spieler/Leistungsstärke
Faccini et al. (Faccini und Dal Monte 1996)	59,8	7 nationale italienische Spitzenspieler
Majumdar et al. (Majumdar, Khanna et al. 1997)	55,7	6 nationale indische Spitzenspieler
Cabello et al. (Cabello und Gonzales-Badillo 2003)	60,5	10 internationale Spieler
Faude et al. (Faude, Meyer et al. 2007)	61,8	4 internationale Spieler
Omoegaard 1977	59	9 nationale dänische Spitzenspieler
Omoegaard 1985	61	6 nationale dänische Spitzenspieler
Omoegaard 1988	65	10 nationale dänische Spitzenspieler
Omoegaard 1992	64	14 nationale dänische Spitzenspieler
Omoegaard 1995	63	10 nationale dänische Spitzenspieler
Omoegaard 1977-1995 (Omoegaard 1996)		

### 2.3.2 Gasaustauschmessungen im Feld

Leistungsfähigkeitsparameter werden bevorzugt im Labor gemessen, weil dort die Bedingungen standardisiert sind und damit eine gute Vergleichbarkeit bieten. Die physiologische

Beanspruchung in einer Sportart kann jedoch am besten mit einer sportartspezifischen Belastungsform unter Labor- oder Feldbedingungen gemessen werden (Röcker, Dickhuth et al. 1998). Bei Rückschlagsportarten, deren Belastungsprofil intervallförmig ist, kann die kardiale und metabolische Beanspruchung im Labor nur unbefriedigend simuliert werden. Es ist außerdem bekannt, dass die kardiale und metabolische Beanspruchung intervallförmiger Belastungen sich von der Beanspruchung kontinuierlicher Belastungen unterscheidet (Christmass, Dawson et al. 1999; Ferrauti, Bergeron et al. 2001). Für die Entwicklung eines exakten Anforderungsprofils in der Rückschlagsportart Badminton, wäre es deshalb von Vorteil, Beanspruchungsparameter im Feld zu messen. Herzfrequenzen und Kapillarblutkonzentrationen (z.B. Blutaktat) werden seit Jahren im Feld gemessen (Docherty 1982). Für die Sauerstoffaufnahme und die Kohlendioxidabgabe hingegen, gab es lange Zeit keine befriedigende technische Lösung (Meyer 2005). Die Sauerstoffaufnahme Atemzug für Atemzug zu messen, bietet neuerdings eine viel versprechende Möglichkeit, Beanspruchungsprofile in Sportarten auf der Grundlage realer Spielsituationen zu entwickeln (Roecker, Prettin et al. 2005). Die Technik, bei welcher der Gasaustausch Atemzug für Atemzug gemessen wird, eignet sich für die Sportart Badminton mit deren kurzen Belastungsabschnitten und der großen Variabilität in der physiologischen Beanspruchung am besten. Sie bietet, im Gegensatz zum Douglassack eine hohe zeitliche Auflösung und liefert im Vergleich zu Messungen auf der Basis von Mischkammern zuverlässige Daten bei großen Schwankungen in der Sauerstoffaufnahme (Foss und Hallen 2005; Roecker, Prettin et al. 2005). Zudem hat sie ein geringes Totvolumen, und die leichte transportable Einheit hat keinen Einfluss auf die physiologische Beanspruchung im Spiel (Meyer 2005). Erste Versuche, mit Hilfe der Atemzug für Atemzug Technik ein Anforderungsprofil unter Feldtestbedingungen zu erstellen, wurden in den Sportarten Fußball (Ferrauti 2006), Tennis (Ferrauti, Bergeron et al. 2001) und Badminton (Faude, Meyer et al. 2007) durchgeführt.

### **2.3.3 Intervallförmige Belastung im Badminton**

Studien zur intervallförmigen Belastung von Badmintonspielern wurden im Untersuchungsdesign variabel und selten kombiniert mit der Bestimmung kardialer und metabolischer Beanspruchungsparameter durchgeführt. Am häufigsten wurden die effektive Spiel-

zeit, die Dauer der Ballwechsel und der Pausen zwischen den Ballwechseln sowie die Kontakte pro Ballwechsel analysiert.

Demnach dauert ein Spiel durchschnittlich 28,1 Minuten (Cabello und Gonzales-Badillo 2003). Die Dauer der Ballwechsel variiert von 4,2 - 9,15 Sekunden. Die Dauer der Pausen liegt in einem Bereich zwischen 11 und 15 Sekunden (Docherty 1982; Zhabankov 1997; Liddle und O` Donoghue 1998; Prichard, Hughes et al. 2001; Cabello und Gonzales-Badillo 2003). Während des Ballwechsels erreichen die Spieler eine Schlagfrequenz zwischen 0,96 und 1,3 Schläge/s (Zhabankov 1997). Angaben zur Anzahl der Ballwechsel pro Spiel variieren von 48 bis 83 Ballwechsel (Zhabankov 1997; Hong und Tong 2000; Cabello und Gonzales-Badillo 2003).

Die Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der Dauer der Ballwechsel zeigt, dass der größte Prozentsatz weniger als 10 Sekunden dauert (Liddle, Murphy et al. 1996; Cabello und Gonzales-Badillo 2003). Cabello et al. (Cabello und Gonzales-Badillo 2003) beobachteten, dass 40 % aller Ballwechsel zwischen 3 und 6 Sekunden, 19 % weniger als 3 Sekunden und 20 % zwischen 6 und 9 Sekunden lang dauerten. Sie fanden einen positiven Zusammenhang zwischen der Dauer der Ballwechsel und der darauf folgenden Pause, was auf ein Zeitmanagement der Spieler schließen lässt.

Die durchschnittliche Dauer der Ballwechsel ist sehr variabel und scheint unabhängig von der Spielklasse zu sein. Zhabankov (Zhabankov 1997) hat in einer umfassenden Studie Spiele der nationalen russischen Spitzenklasse auf dem Meisterschaftsturnier 1995, bei den Russian Open 1995, bei dem Kosmonauten Cup 1996 sowie Videomaterial mit den Spieldaufzeichnungen der führenden Badmintonspieler der Welt analysiert. Sie fanden, dass die durchschnittliche Dauer eines Ballwechsels zwischen 5,3 und 9,2 Sekunden betrug. Bei internationalen Spielern dauerte ein Ballwechsel durchschnittlich 7 Sekunden. Docherty et al. (Docherty 1982) berichteten von einer durchschnittlichen Dauer der Ballwechsel von 4,9 s ( $\pm 1,3$  s) bei Spielern niedriger, 4,2 s ( $\pm 0,5$  s) bei Spielern mittlerer und 5 s ( $\pm 0,7$  s) bei Spielern höherer Klassen. Bei gleichen Spielern führte eine Wiederholungsmessung nach einem Jahr zu unterschiedlichen Ergebnissen (Liddle und O` Donoghue 1998). Liddle et al. (Liddle und O` Donoghue 1998) fanden für die Dauer eines Ballwechsels durchschnittlich 9,15 s. Ein Jahr später wurden beim gleichen Wettkampf durchschnittlich 6,7 s für die Dauer eines Ballwechsels gemessen (Liddle und O` Donoghue 1998; O`

Donoghue 2000). Zhabankov (Zhabankov 1997) beobachtete weiter, dass internationale Spitzenspieler ein höheres Spieltempo (1,30 Schläge/s) als Spieler der nationalen russischen Spitzenklasse hatten. Das Spieltempo erhöht sich demnach mit der Leistungsfähigkeit, wie dies auch Hong et al. (Hong und Tong 2000) vermuteten.

### **2.3.4 Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit und intervallförmige Belastung**

Welche Bedeutung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit bei intervallförmigen Belastungen zukommt, wurde in einigen Studien im Labor untersucht. Feldversuche, in denen der Einfluss anhand kardialer und metabolischer Parameter im Zusammenhang mit dem intervallförmigen Belastungsprofil analysiert wurde, gibt es nur wenige.

Urhausen et al. (Urhausen, Coe et al. 1990) vertreten die Meinung, dass eine gut ausgebildete aerobe Ausdauer als Grundlage für die Entwicklung einer adäquaten speziellen Ausdauer dient und es dem Spieler ermöglicht, die sportartspezifischen Bewegungsabläufe über einen möglichst langen Zeitraum korrekt auszuführen. Diese Aussage unterstützend, konnte Tomlin (Tomlin 1998) bei Ausdauertrainierten, bei einer lang andauernden intensiven intervallförmigen Belastung, einen geringeren Leistungsabfall messen als bei Untrainierten. Thoden (Thoden 1991) vermutet, dass Ausdauertrainierte bei gleicher intervallförmiger Belastung einen höheren Anteil aerober Energie bereitstellen als Untrainierte. Diese Annahme unterstützt eine Untersuchung von Hamilton et al. (Hamilton, Nevill et al. 1991), in welcher Ausdauertrainierte bei einer intervallförmigen Belastung mit 6 Sekunden lang dauernden Sprints bei gleicher Leistung eine höhere Sauerstoffaufnahme hatten als Untrainierte. Ein weiterer bedeutender Faktor bei intervallförmigen Belastungen ist die schnelle Regeneration. Ausdauertrainierte regenerieren schneller als Untrainierte (Tomlin und Wenger 2001). Eine mögliche Erklärung dafür könnte der beschleunigte Transport des in der Muskulatur gebildeten Laktates in die Blutbahn sein. Dafür sprechen Untersuchungen, in welchen bei Ausdauertrainierten in der Nachbelastungszeit ein schnellerer Anstieg der Blutlaktatkonzentration gemessen wurde als bei Untrainierten (Bassett, Merrill et al. 1991).

### 2.3.5 Sportartspezifische Feldtests und Bewegungsökonomie

Die Ergebnisse sportartspezifischer Tests lassen darauf schließen, dass die Bewegungsökonomie des Spielers eine wesentliche Rolle bei der kardialen und metabolischen Beanspruchung spielt (Baum, Kerst et al. 1996; Baum, Hoy et al. 1998). Im Folgenden werden zwei Tests näher betrachtet.

Baum et al. (Baum, Kerst et al. 1996) verglichen zwei Gruppen mit unterschiedlicher Leistungsstärke in einem sportartspezifischen Leistungstest, der auf der Grundlage von Raum- und Zeitanalysen realer Badmintonspiele konzipiert wurde (Dick 1986; Bochow 1989). Die Spieler liefen in Test A über einen Zeitraum von insgesamt 10 Minuten in jeweils 8 Sekunden drei Spielfeldecken an. Zwischen den Belastungen war eine Pause von 12 Sekunden. In Test B wurde das zeitliche Beanspruchungsprofil beibehalten, die Anzahl der anzulaufenden Ecken aber auf 4 erhöht. Gruppe 1, die aus leistungsstärkeren Spielern bestand, erreichte bei beiden Tests ein Laktat steady state mit durchschnittlichen Laktatkonzentrationen von 1,5 mmol/l bzw. 3,2 mmol/l. Gruppe 2, die aus Spielern niedrigerer Leistungsstärke bestand, erreichte nur bei Test A ein Laktat steady state bei einer durchschnittlichen Laktatkonzentration von 7,5 mmol/l. In Test B ergab sich ein kontinuierlicher Anstieg der Laktatwerte auf eine durchschnittliche Konzentration von 11 mmol/l. In einer weiteren Studie verglichen Baum et al. (Baum, Hoy et al. 1998) die Ergebnisse ihres sportartspezifischen Tests mit einer Laufbandergometrie. Jeweils vor und nach einer zweimonatigen Ausdauertrainingsphase wurden ein sportartspezifischer Test und eine Laufbandergometrie absolviert. Zwischen dem spezifischen Test und der Laufbandergometrie gab es vor und nach dem Ausdauertraining keinen signifikanten Zusammenhang hinsichtlich der Blutlaktatkonzentrationen. Die Laktatwerte der Laufbandergometrie bei den einzelnen Belastungsstufen waren nach dem Ausdauertraining signifikant niedriger. Die Abbruchwerte unterschieden sich nicht. Die Laktatwerte des sportartspezifischen Tests nach dem Ausdauertraining hingegen unterschieden sich zu keinem Messzeitpunkt signifikant von dem Test vor dem Training.

Chin et al. (Chin, Wong et al. 1995) berichten von einem weiteren sportartspezifischen Test. Elf chinesische Topspieler liefen auf einem Spielfeld pro Stufe je drei Minuten lang vorgegebene Ecken an. Auf der ersten Stufe liefen sie in 16 Spielfeldecken, bei jeder weiteren Stufe wurde die Anzahl der anzulaufenden Ecken um jeweils sechs Ecken erhöht.

Die Spieler liefen bis zu ihrer subjektiven Erschöpfung. Die durchschnittlich erreichte Eckenanzahl an der anaeroben Schwelle (4 mmol/l Laktat) betrug 21 bei einer Herzfrequenz von 170 Schläge/min. Es ergab sich nur ein schwacher Zusammenhang zwischen den aus dem Feldtest gewonnenen Fitnessdaten zu einer Rangliste, die der Trainer aus Wettkampfergebnissen und subjektiver Einschätzung der sportartspezifischen Fitness der Athleten gebildet hatte. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass außer der physischen Fitness auch die technischen Fertigkeiten, die mentale Stärke und die taktischen Entscheidungen wesentlich zum Erfolg beitragen.

### **2.3.6 Laufbeanspruchung im Badminton**

Die Laufbewegungen auf dem Spielfeld und deren Geschwindigkeits-Zeit Verläufe wurden bisher in wenigen Studien ausschließlich zweidimensional ausgewertet, obgleich sich der Körperschwerpunkt durch die Sprünge im Hinterfeld und die Ausfallschritte am Netz permanent hebt und senkt (Kollath, Bochow et al. 1987; Kollath 1996; Kollath und Maier 1997). Die Studien sind eher exemplarisch und erheben nicht den Anspruch, allgemeingültig zu sein.

In dem überwiegenden Teil der Untersuchungen wurde jeweils die Hüfte als Körperschwerpunkt angenommen und mit Hilfe der Videodigitalisierung deren Veränderungen in einem zweidimensionalen Koordinatensystem beobachtet (Kollath, Bochow et al. 1987; Kollath 1996; Kollath und Maier 1997). Die Auswertungen beschränkten sich auf einzelne Spiele und nach bestimmten Kriterien ausgewählten Ballwechseln. Eine Differenzierung in unterschiedliche Lauftechniken erfolgte nicht.

In einer weiteren Studie legten internationale Spieler in einem Ballwechsel durchschnittlich 12 m zurück (Brodie 1979), wobei die Lauflänge der Ballwechsel von 1 bis 45 m variierte. Angaben über die Methodik der Datenerhebung wurden nicht gemacht.

Ähnliche Werte ergab eine Auswertung von 138 Ballwechseln aus zwei Wettkämpfen über je zwei Sätze von Kollath (Kollath 1996). Dabei wurde die Hüfte in den horizontalen Umkehrpunkten der Bewegung abgetastet und der dazwischen liegende Weg als linear angenommen. Der Laufweg pro Ballwechsel betrug durchschnittlich 11,5 m ( $\pm$  8,9 m). Pro Satz wurden 396 m ( $\pm$  107 m) zurückgelegt.

Kollath (Kollath 1996) analysierte weitere 10 Ballwechsel eines Trainingsspieles zweier deutscher Spitzenspieler und 8 Ballwechsel zweier internationaler Spitzenspieler ausschließlich in Spielsituationen, bei denen die Spieler zu schnellem Laufen gezwungen waren. Als objektives Kriterium wurde das Überschreiten einer Maximalgeschwindigkeit von 3,5 m/s festgelegt. In dieser Studie wurde ebenfalls die Hüfte als Körperschwerpunkt festgelegt und alle 30 ms ein Messwert bestimmt. Die internationalen Spieler legten mit 3,1 m ( $\pm 0,6$  m) pro Schlag eine größere Strecke zurück als die nationalen Spitzenspieler mit 1,8 m ( $\pm 0,2$  m). Der gesamte Laufweg pro Ballwechsel betrug bei den internationalen Spitzenspielern 17,4 m ( $\pm 3,4$  m), bei den nationalen nur 14,7 m ( $\pm 1,5$  m).

Bei einer weiteren Analyse von 8 Ballwechsel eines Spielers nach den gleichen Kriterien legte der Spieler bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 2,0 m/s ( $\pm 0,3$  m/s) durchschnittlich 12,0 m ( $\pm 9$  m) pro Ballwechsel zurück (Kollath und Maier 1997). Sein maximaler Laufweg betrug 44 m. Der Spieler erreichte annähernd gleiche Beschleunigungswerte für den Antritt und das Abstoppen ( $3,3 \text{ m/s}^2$  ( $\pm 0,5 \text{ m/s}^2$ ) bzw.  $-3,2 \text{ m/s}^2$  ( $\pm 0,6 \text{ m/s}^2$ )).

Ein Vergleich der Geschwindigkeits-Zeitverläufe von 4 internationalen und zwei nationalen Spitzenspielern von Kollath (Kollath 1996), bei dem insgesamt 18 Ballwechsel ausgewertet wurden, ergab bei nationalen und internationalen Spitzenspielern die gleiche mittlere Laufgeschwindigkeit (1,9 m/s ( $\pm 0,2$  m/s)). Die maximale Geschwindigkeit betrug 4,2 m/s. Die mittlere positive und negative Beschleunigung war annähernd gleich, jedoch hatten die internationalen Spieler höhere Beschleunigungswerte ( $4,1 \text{ m/s}^2$  ( $\pm 0,6 \text{ m/s}^2$ );  $4,1 \text{ m/s}^2$  ( $\pm 0,7 \text{ m/s}^2$ )) als die nationalen Spieler ( $3,3 \text{ m/s}^2$  ( $\pm 0,5 \text{ m/s}^2$ );  $-3,2 \text{ m/s}^2$  ( $\pm 0,6 \text{ m/s}^2$ )). Dies bedeutet, dass die höheren mittleren Beschleunigungen der internationalen Spieler nicht auf größere Geschwindigkeitsänderungen, sondern vielmehr auf kürzere Zeitspannen zwischen den Umkehrpunkten der Geschwindigkeits-Zeitfunktionen zurückzuführen sind.

### **2.3.7 Abgrenzung zu anderen Rückschlagsportarten**

Für Tennis, Badminton und Squash sind azyklische Bewegungen und eine intervallförmige Belastung typisch. Bewegungen zum Ball, deren Richtung und Länge vom Gegner vorgegeben ist, folgen häufig Laufhandlungen zurück zur Zentralposition. Die spielstatistischen

und kinematischen Daten der drei Rückschlagspiele sind sehr ähnlich. Im Tennis sind infolge des größeren Spielfeldes längere Wege zwischen den Schlägen zurückzulegen, was auch zu höheren Laufgeschwindigkeiten führt (Kollath 1996). Die Beschleunigungswerte sind hingegen bei den Sportarten Squash und Badminton höher.

Im Vergleich zu den Rückschlagspielen Tennis und Squash liegt Badminton von der Dauer der Belastung her in der Mitte (Omosegaard 1996; Sharp 1998; McCarthy - Davey 2000), wobei die Dauer der Belastung in allen drei Rückschlagspielen sehr variabel ist. Belastungszeiten von 20 – 90 Minuten sind bei allen Rückschlagspielen möglich (Lee 2003). Die Dauer der Ballwechsel liegt auch für Tennis und Squash durchschnittlich zwischen 3 und 10 Sekunden (Sharp 1998). Tennis hat von den drei Rückschlagsportarten auf Grund der Pausen nach jedem zweiten Spiel die geringste effektive Spielzeit.

Die metabolische und kardiale Beanspruchung ist beim Tennis am geringsten. Badminton und Squash haben ähnliche Werte (Kindermann, Schnabel et al. 1991). Die Herzfrequenzen im Tennis liegen in einem Bereich zwischen 60 und 80 % der maximalen Herzfrequenz, während im Badminton und Squash Herzfrequenzen zwischen 80 % bis zum Maximum erreicht werden (Blanksby, Elliot et al. 1972; Docherty und Howe 1987; Gosh, Mazumbar et al. 1990; Montpetit 1990; Leyk, Baum et al. 1996; Smektal, Baron et al. 1996).

### **3 Zielsetzung und Fragestellung**

Ziel der Studie war es, neue Erkenntnisse im modernen Badminton zu gewinnen, um Trainingsinhalte optimieren zu können. Zwei Faktoren des Anforderungsprofils, welche beide die körperliche Beanspruchung auf dem Spielfeld beeinflussen können, sollten untersucht werden. Einerseits sollte eine exakte Analyse der kardialen und metabolischen Beanspruchung in einem Herreneinzel durchgeführt werden, um die Bedeutung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit besser einordnen zu können, andererseits sollte die Lauftechnik als Teil der Koordination und Einflussfaktor für körperliche Beanspruchung, hinsichtlich kinematischer Parameter quantitativ analysiert werden. Die Erhebung der Daten, sowohl der körperlichen Beanspruchung als auch der Analyse der Lauftechnik, sollte möglichst spielnah unter Feldbedingungen stattfinden.

In der zweigeteilten Untersuchung sollte im ersten Teil das intervallförmige Belastungsprofil von Ballwechsel und dazwischen liegenden Pausen in Zusammenhang mit der kardialen und metabolischen Beanspruchung untersucht werden. Um retrospektiv die Beanspruchung beim Spiel in Relation zur aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit abschätzen zu können, sollte im Labor eine stufenförmige Spiroergometrie auf dem Laufband durchgeführt werden, bei der sowohl aerobe und anaerobe Schwellenwerte als auch Maximalwerte gemessen werden sollten. Zusätzlich sollten die Probanden sich einem Vita-Max Test unterziehen, um die maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit zu bestimmen. Um Aussagen über die Beanspruchung im Verlauf eines Spieles machen zu können, sollten die Werte über die Dauer des ganzen Spieles aufgezeichnet werden. Die Spiele sollten in einer wett-kampfähnlichen Situation stattfinden.

Folgende Detailfragen sollten mit diesem Untersuchungsansatz untersucht werden:

Wie ist die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit der an der Untersuchung teilnehmenden Probanden zu bewerten, und hat sie einen Einfluss auf deren Spielstärke?

Wie hoch ist die kardiale und metabolische Beanspruchung im Verlauf eines Spieles?

Haben die im Labor bestimmte maximale Sauerstoffaufnahme und die Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle einen Einfluss auf die kardiale und metabolische Beanspruchung im Spiel?

Wie ist die kardiale und metabolische Beanspruchung für Gewinner und Verlierer?

Wie ist die kardiale und metabolische Beanspruchung eines Spielers gegen unterschiedliche Gegner?

Gibt es Zusammenhänge zwischen der intervallförmigen Belastung und der kardialen und metabolischen Beanspruchung im Spiel?

Gibt es Zusammenhänge zwischen Elementen der Lauftechnik und im Spiel erhobenen kardialen und metabolischen Parametern?

Im zweiten Teil der Untersuchung sollte das Laufverhalten auf dem Spielfeld mittels einer quantitativen dreidimensionalen Bewegungsanalyse einzelner Ballwechsel ausgewertet werden. Dabei sollten Zusammenhänge zwischen der Fortbewegung auf dem Spielfeld und dem Bewegungsverhalten in den Umkehrpunkten mittels kinematischer Parameter gemessen werden. Mittels einer quantitativen dreidimensionalen Bewegungsanalyse ganzer Ballwechsel sollte bewusst auf eine isolierte Betrachtungsweise einzelner Aktionen verzichtet werden, um Zusammenhänge aufdecken zu können.

Zunächst sollten die unterschiedlichen Techniken in den Umkehrpunkten sowie die Ballerwartungshaltung in Bezug auf die Lage des Körperschwerpunktes, die Reaktionszeit sowie die Dauer der Vor- und Nachbereitung von Schlägen charakterisiert werden.

Anschließend sollte untersucht werden, ob es in Abhängigkeit von der gewählten Technik im Umkehrpunkt bei der vorhergehenden oder nachfolgenden Fortbewegung zu unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Laufwegen kommt.

Mit Hilfe der erhobenen Daten sollten dann Zusammenhänge zwischen dem Bewegungsverhalten in der Ballerwartungshaltung bzw. in den Umkehrpunkten und der Fortbewegung auf dem Spielfeld aufgedeckt werden. Wie wirkt sich beispielsweise eine lange Reaktionszeit in der Ballerwartungshaltung auf die Geschwindigkeit und Beschleunigung der nachfolgenden Fortbewegung aus? Oder umgekehrt, gibt es einen Zusammenhang zwischen der maximalen Geschwindigkeit bei einem Laufweg und dem nachfolgenden Bewegungsverhalten im Umkehrpunkt?

## **4 Methoden**

### **4.1 Probanden**

#### **4.1.1 Auswahlkriterien**

Die Probanden sollten subjektiv und klinisch gesund sein. Da in dieser Arbeit konditionelle Faktoren ermittelt werden sollten, die maßgeblich vom Geschlecht bestimmt werden, wurde, um die Streubreite einzuengen, nur ein männliches Probandenkollektiv gewählt. Die Probanden sollten seit fünf Jahren einen Belastungsumfang von pro Woche mindestens 4 Stunden badmintonspezifisches Training auf zwei Einheiten verteilt haben. Eine weitere Voraussetzung war die Beherrschung der Lauftechnik im Spiel. Situationsangemessenes Laufverhalten zum Ball und in die Zentralposition sowie die Einnahme der Ballerwartungshaltung waren Bedingungen für die Teilnahme an der Studie.

#### **4.1.2 Stichprobe**

An der Untersuchung nahmen 22 männliche Badmintonspieler freiwillig teil. Das durchschnittliche Alter betrug 24 Jahre. Die Probanden spielten sämtlich in den obersten 4 Klassen Deutschlands, womit die Anforderungen an die Lauftechnik gewährleistet waren. Die Probanden entstammten aus 4 verschiedenen Vereinen in München, von denen zwei Vereine Mannschaften in der 2. Bundesliga bzw. Regionalliga hatten und zwei Vereine Mannschaften in der Bayernliga.

#### **4.1.3 Sportmedizinische Untersuchung**

Alle Probanden unterzogen sich einer eingehenden sportmedizinischen Untersuchung, die mögliche Kontraindikationen für eine sportliche Belastung ausschloss. Die Untersuchung

bestand aus einer allgemeinen Anamnese sowie einer speziellen sportlichen Anamnese, einer körperlichen Untersuchung, Ruhe-EKG, und der Erhebung von Routineparametern.

Zur Überprüfung der kardiopulmonalen Belastbarkeit und der Leistungsfähigkeit wurde eine stufenweise ansteigende Laufbandspiroergometrie (4.2.1) mit fortlaufender EKG - Kontrolle bis zur subjektiven Ermüdung und Blutdruckkontrolle immer vor und direkt nach sowie 1, 3 und 5 min nach der Belastung herangezogen. Insbesondere Belastungs-EKG und Blutdruckverhalten geben ergänzende Informationen zur Sporttauglichkeit der Probanden.

## **4.2 Leistungsdiagnostik und wettkampfähnliche Spiele**

### **4.2.1 Stufenweise ansteigende Laufbandspiroergometrie**

Die stufenweise ansteigende Laufbandspiroergometrie lieferte zudem wesentliche Daten zur Beurteilung der allgemeinen aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (Abb. 7).



Abb. 7: Spiroergometrie auf dem Laufband



anaerobe Schwelle wurde nach Simon et al. (Simon, Berg et al. 1981) als stärkste Krümmung der Laktat-Leistungskurve bei  $\tan \alpha = 1$  ermittelt.

#### **4.2.2 Vita-Max Test**

Da mittels der oben genannten Testverfahren die wahre maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit nicht hinlänglich bestimmt werden kann (Hollmann und Hettinger 1990), wurde zusätzlich ein Vita-Max Test durchgeführt.

Die Probanden liefen zur Erwärmung bei einer Laufgeschwindigkeit, die ihrer individuellen aeroben Schwelle entsprach, 10 Minuten auf dem Laufband. Direkt im Anschluss daran folgte für alle Probanden eine Belastung mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 8 km/h bei 5 % Steigung. In 1-Minuten-Schritten wurde die Belastung um jeweils 2 km/h erhöht. Die Probanden wurden bis zu ihrer subjektiven Erschöpfung belastet (Abb. 8).

Beim Vita-Max Test wurden folgende Daten gemessen: Die Herzfrequenz wurde kontinuierlich mit einer Pulsuhr (Sport Tester der Firma Polar, Finnland) in einem Messintervall von 5 Sekunden registriert. Die Sauerstoffaufnahme wurde kontinuierlich mit Cosmed K4b2 (Cosmed K4b2 der Firma COSMED S.r.l., Italien) gemessen. Blutlaktat wurde in Ruhe vor der Belastung, direkt nach Abbruch und 1, 3 und 5 Minuten nach Belastung bestimmt. Wie oben wurden die maximale Sauerstoffaufnahme bei Belastung, die maximale Herzfrequenz und der maximale Blutlaktatwert gemessen.

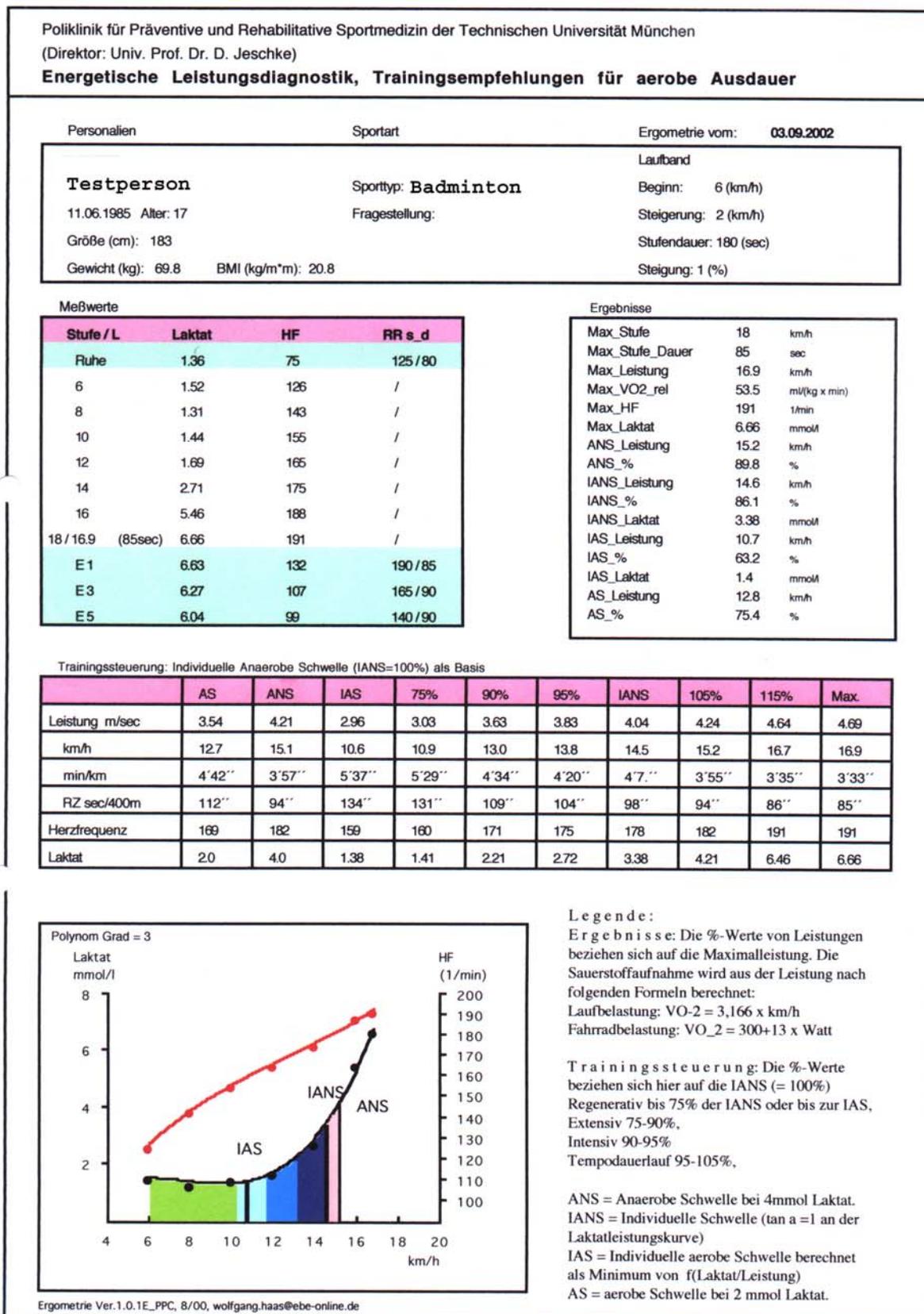


Abb. 9: Beispiel der Ergebnisdarstellung einer stufenförmig ansteigenden Laufbandergometrie

## **4.2.3 Kardiale und metabolische Parameter**

### **4.2.3.1 Herzfrequenz**

Im Stufentest wurde die Herzfrequenz aus dem fortlaufenden registrierenden EKG bestimmt (Sechs-Kanalschreiber EK-Graph „Cardioskript CD 3000 der Firma Picker, München).

Beim Vita-Max Test und bei den Spielen wurde die Herzfrequenz mit der Pulsuhr Sport Tester (Sporttester der Firma Polar, Finnland) registriert. Das Modell gewährleistet eine EKG-genaue Aufzeichnung der Herzfrequenz sowie eine anschließende Auswertung über ein Interface mit der Software Polar „Percision Performance 2.0“. Damit konnten die durchschnittliche Herzfrequenz über die gesamte Wettkampfdauer sowie die maximalen Werte ermittelt werden. Die Messintervalle betragen 5 s.

### **4.2.3.2 Laktat**

Zur Bestimmung der Blutlaktatwerte wurde jeweils 20  $\mu$ l Kapillarblut aus dem Ohrläppchen mit einer Einmalkapillare entnommen. Es wurde darauf geachtet, dass die Blutentnahme ohne Luftblasen war, sich kein Schweiß am Ohr befand und das Blut mit dem Kapillarrand abschließend entnommen wurde. Um arteriovenöses Blut zu gewährleisten, wurde das Ohrläppchen mit einer Salbe, die eine hyperämisierende Wirkung hat, vorbehandelt. Die Einmalkapillare wurde anschließend in ein mit 1 ml ESAT-Systemlösung (Hämolyseerlösung) gefülltes Probengefäß überführt und mindestens 10 Sekunden lang geschüttelt. Die Analyse des Kapillarblutes erfolgte mit Hilfe der in einem Analysegerät (ESAT 6661 Lactat der Firma Ependorf, Hamburg) verwendeten Enzymelektrode nach dem enzymatisch-amperometrischen Messprinzip.

Die Proben, die bei Spielen in der Sporthalle abgenommen wurden, lagerten in der Hämolyseerlösung maximal einen Tag bei 4°C und wurden dann im ESAT 6661 Lactat am sportmedizinischen Institut in München gemessen.

### **4.2.3.3 Sauerstoffaufnahme**

Die Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) wurde bei allen Tests mit Hilfe einer tragbaren Spirometrie-Einheit (Cosmed K4b2 der Firma COSMED S.r.l., Italien) aufgezeichnet. Die Vor-

teile des Einsatzes dieser Messmethode bei intervallförmigen Belastungen wurden ausführlich unter (2.3.2) diskutiert.

Cosmed K4b2 verwendet ein System, das den Gasaustausch Atemzug für Atemzug analysiert. Die O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>- Analysatoren sind temperaturgeregelt und werden bei Druckschwankungen, Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsveränderungen korrigiert. Sie arbeiten mit einer Messgenauigkeit von 0,02 %. Sampling rate und Luftdrucksensoren werden kontinuierlich überwacht, und ein semipermeabler Nafion Schlauch trocknet ohne periodische Wartung Kondenswasser, das sich im Messschlauch bilden kann. Der Atemfluss und das Volumen werden mittels einer digitalen bidirektionalen Turbine (Ø 28mm), die einer Gesichtsmaske mit zwei Einatmungsventilen vorgeschaltet ist, bei hoher Messgenauigkeit ( $\pm 2$  %) gemessen. Cosmed K4b2 erlaubt die Messung mehrerer spirometrischer Parameter wie der Ventilationsgrößen, Sauerstoffaufnahme und der Kohlendioxidabgabe. Cosmed K4b2 wird in der Literatur auf Grund einer Vielzahl an Untersuchungen als valide und reliable Messeinheit zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme eingestuft (Meyer 2005).

Die Kalibrierung der Raumlufte und der Atemgase, der Turbine und der zeitlichen Verzögerung der Atemgase bis zur Ankunft am Analysator, wurde zu den vorgeschriebenen Prüfzeiten durchgeführt und durch die K4b2 Win Software unterstützt. Vor jedem Test wurde eine Raumluftekalibrierung durchgeführt, die aus einer Messung der Konzentration der Raumlufte und der Festlegung des Nullpunktes des CO<sub>2</sub>-Analysators und der Verstärkung des O<sub>2</sub>-Analysators besteht, so dass die Messergebnisse mit den bekannten Werten der Raumlufte übereinstimmen (d.h. 20.93 % O<sub>2</sub> und 0,03% CO<sub>2</sub>). Die Gas Delay Kalibrierung wurde wöchentlich durchgeführt. Sie ist notwendig, um die Zeit festzulegen, die das Gasgemisch braucht, um durch den Samplingschlauch zum Analysator zu strömen. Alle vier Wochen wurde die Kalibration der Turbine durchgeführt. Diese Prozedur misst das Volumen der 2 l Kalibrationspumpe und stellt die Verstärkung des Flussmeters fest, so dass die Ergebnisse mit dem theoretischen Wert übereinstimmen.

Die O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Sensoren des K4b2 werden beheizt. Aus diesem Grunde war vor jeder Messung eine Aufwärmzeit von mindestens 30 Minuten unbedingt notwendig. Die tragbare Einheit von K4b2 wiegt 600 g und wurde mit Hilfe von speziellen Gurten an der Brust und der Akku am Rücken des Probanden befestigt, so dass das Gerät sich nicht störend auf den Bewegungsablauf auswirkte. Die Maske und die Turbine, die in den optoelektroni-

schen Messkopf gesteckt wird, wurden mit einer Kappe am Kopf des Probanden befestigt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Maske so sitzt, dass seitlich keine Luft in oder aus der Maske dringt, die Maske aber auch nicht die Atmung des Probanden beeinflusst (Abb. 10).



Abb. 10: Tragbare Einheit und Maske von Cosmed K4b2

Im Anschluss an den Test wurden die in der tragbaren Einheit gespeicherten Daten mit dem seriellen Anschluss RS232 Kabel auf einen PC übertragen und ausgewertet. Die Berechnung von Mittelwerten bei der Laufbandergometrie in den Spielen wurde folgendermaßen vorgenommen. Bei der Laufbandergometrie wurde jeweils ein Mittelwert über die letzte Minute jeder Belastungsstufe gebildet. Im Spiel wurde als Beginn eines Satzes der steilste Anstieg der  $O_2$ -Kurve festgelegt. Als Ende eines Satzes wurde der letzte Wert direkt vor dem Absinken der  $O_2$ -Kurve genommen.

## 4.2.4 Trainingsspiele

### 4.2.4.1 Durchführung der Trainingsspiele

Messungen bei Spielen sollten Aufschluss darüber geben, wie hoch die kardiale und metabolische Beanspruchung bei einem Spiel annähernd gleichstarker Gegner ist. Weiter dienten die Spiele zu einer Analyse der intervallförmigen Belastung im Spiel und der ange-

wandten Lauftechnik der Spieler. Die Datenerhebung erfolgte bei Trainingsspielen. Die Trainingsspiele fanden in den Vereinsturnhallen der einzelnen Spieler und in der Dreifachturnhalle der ZHS statt.

Die 22 Probanden spielten jeweils ein Spiel gegen einen Gegner mit vergleichbarer Leistungsstärke. Das Spiel wurde mit einer Videokamera (DCV-TRV900E der Firma Sony, Japan) aufgenommen. Bei jeweils einem der Spieler wurde die Sauerstoffaufnahmefähigkeit gemessen. Bei beiden Spielern wurde mit der Pulsuhr Sport Tester über die Dauer des ganzen Spieles in einem Messintervall von 5 Sekunden die Herzfrequenz aufgezeichnet. Nach der Aufwärmphase vor dem Spiel, nach jedem Satz und direkt nach dem Spiel, wurde Kapillarblut zur Bestimmung der Blutlaktatwerte abgenommen. Die tragbare Einheit von Cosmed K4b2 wurde nach der Aufwärmphase am Körper befestigt. Nach 5 min Gewöhnungsphase an die Maske und die tragbare Einheit begann das Spiel.

Zur Bestimmung der durchschnittlichen kardialen Beanspruchung im Badminton für Gewinner und Verlierer wurden zusätzlich 13 Trainingsspiele mit Spielern höherer Leistungsstärken gespielt. Die Spielstärke umfasste Spieler mit Bundesliganiveau bis einschließlich Bayernliganiveau. Bei beiden Spielern wurde während des Spieles die Herzfrequenz aufgezeichnet. Kapillarblut zur Bestimmung der Blutlaktatwerte wurde in Ruhe nach dem Einspielen und nach jedem Satz abgenommen. Für die Auswertung der Sauerstoffaufnahmewerte und der Herzfrequenz wurde am Anfang des Satzes der Zeitpunkt des erstes Anstiegs gewählt und am Ende des Satzes der letzte Zeitpunkt vor der Senkung der Sauerstoffaufnahme und der Herzfrequenz. Als Pausenherzfrequenz wurde die Herzfrequenz am Ende der 90 Sekunden Pausen zwischen den Ballwechseln gewählt.

#### **4.2.4.2 Intervallförmige Belastung**

Anhand der Videoaufnahmen wurde die Zeitstruktur in den einzelnen Spielen analysiert. Es wurde die durchschnittliche Dauer von Spielen, Sätzen und Ballwechseln ermittelt. Ebenso wurde die reale Spielzeit und das Spiel/Pausen Verhältnis analysiert. Es wurden die Ballkontakte pro Ballwechsel gezählt und daraus die Schläge pro Sekunde berechnet.

#### **4.2.4.3 Analyse der Lauftechnik**

Bei den einzelnen Spielern wurde die Häufigkeit der im Spiel angewendeten Sprung- und Schritttechniken in die Ecken bestimmt. Folgende Techniken wurden dabei quantifiziert: Ausfallschritte auf der Vorhand und Rückhand am Netz und im Hinterfeld sowie die Anzahl der Chinasprünge und Umsprünge auf der Vor- und Rückhand im Hinterfeld.

#### **4.2.5 Zeitraum der Datenerhebung**

Die Daten wurden über den Zeitraum einer Saison (2002/2003) erhoben. Es wurde darauf geachtet, dass die Messungen der einzelnen Probanden in der Wettkampfperiode stattfanden.

Die Laufbandergometrie und die Erhebung der kardiopulmonalen und metabolischen Daten auf dem Spielfeld wurden für die einzelnen Probanden in einem Zeitraum von zwei Wochen durchgeführt.

### **4.3 Dreidimensionale Bewegungsanalyse**

Ziel dieser Studie war es, die Lauftechnik als Teil der Koordination zu analysieren. Koordinative Fähigkeiten können sich in der kardialen und metabolischen Beanspruchung auf dem Spielfeld widerspiegeln. Da aber bei der komplexen Sportart Badminton viele Faktoren die metabolische und kardiale Beanspruchung beeinflussen, ist der Anteil der Koordination nicht zu bestimmen. Zudem können kardiale und metabolische Parameter auf Grund ihrer physiologischen Konstante nicht einzelnen Laufaktionen zugeordnet werden, und eine Untersuchung isolierter badmintonspezifischer Einzelbewegungen würde nicht dem Anspruch an koordinatives Bewegungsverhalten entsprechen. Eine Möglichkeit, Laufwege und Lauftechniken ganzer Ballwechsel zu analysieren und Zusammenhänge aufzudecken, bieten kinematische Parameter.

Die dreidimensionale Bewegungsanalyse ist eine Methode, mit der kinematische Parameter wie z.B. Geschwindigkeit oder Beschleunigung erhoben werden können. Mittels einer dreidimensionalen Bewegungsanalyse ist es möglich, ganze Ballwechsel zu analysieren und damit den Anspruch an ein koordinatives Bewegungsverhalten zu gewährleisten. Zudem können Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe einzelnen Laufaktionen exakt zugeordnet

werden. Die aufwendige dreidimensionale Bewegungsanalyse wird bei Bewegungsabläufen mit häufigem Anheben und Senken des Körperschwerpunktes eingesetzt. Die Lauftechnik im Badminton ist geprägt von schnellen Richtungswechseln, in denen der Körperschwerpunkt durch Sprünge und Ausfallschritte permanent angehoben und gesenkt werden muss.

### **4.3.1 Systematisierung der Bewegungen im Badminton**

#### **4.3.1.1 Problematik**

Um die komplexe Lauftechnik beim Badminton analysieren zu können, musste sie zunächst systematisiert werden. Der Zugang der Biomechanik zu der Sportart Badminton ist in zweierlei Hinsicht durch Probleme erschwert. Die sportliche Leistung ist nicht äquivalent zu einer direkt messbaren Größe, wie z. B. beim Weitsprung oder beim 100 m Sprint, und dem Erfolg oder Misserfolg geht zumeist eine Verkettung von Einzelaktionen voraus. Badminton ist wie die anderen Rückschlagsportarten durch ein kompliziertes Bedingungsgefüge gekennzeichnet. An die Aktiven werden ständig wechselnde Anforderungen gestellt, die ein hohes Maß an situativer Entscheidungsfähigkeit erforderlich machen (Hagedorn 1991).

Auf Grund dieser Problematik wurde zunächst nach einer geeigneten Systematisierung der Laufbewegungen im Badminton gesucht. Eine Abkehr von komplexen Situationen im Spiel war notwendig. Es wurde versucht, wesentliche Elemente des Spiels zu finden.

#### **4.3.1.2 Bisherige Systematisierungsansätze**

Es gibt unterschiedliche Ansätze, Bewegungen in Sportspielen zu systematisieren. Hay (Hay 1979) klassifizierte die motorischen Fertigkeiten danach, ob die Teile der Umwelt, die das Spielgeschehen beeinflussen, während des Spieles stationär oder beweglich sind, und ob diese beeinflussenden Größen sich von Versuch zu Versuch während des Spiels verändern. Der messtechnische Zugang im Fall einer sich bewegenden Umgebung und einer Variabilität zwischen den Versuchen gestaltet sich schwierig. Hay (Hay 1979) schlug deshalb eine Abkehr von komplexen Wettkampfsituationen und eine Sammlung von Häufigkeiten bestimmter Techniken bzw. Ereignisse vor. Stucke (Stucke 1989) orientierte

sich an den in Sportspielen vorkommenden Bewegungsarten. Sie unterschieden Bewegungsarten ohne unmittelbaren Ballkontakt von Bewegungsarten des Systems Spieler-Ball.

Kollath (Kollath 1996) orientierte sich an den Modellen von Hay (Hay 1979) und Stucke (Stucke 1989) und entwickelte einen eigenen Ansatz, der auf einer Aufgliederung in drei Ebenen basiert. Die erste Ebene berücksichtigt die Ausgangsbedingung des Spielers (anfänglicher Bewegungszustand), die zweite Ebene den Bezug des Spielers zum Ball und die dritte Ebene die entsprechende Bewegungsart.

Knupp (Knupp 1989) beschrieb eine Systematisierung der Lauftechnik im Badminton. Er unterschied Basissituationen voneinander, z. B. die Ballerwartungshaltung, die Fortbewegung im Feld und die Bewegung in den Ecken.

#### 4.3.1.3 Eigener Systematisierungsansatz

In der vorliegenden Arbeit wurde die Systematisierung nach Knupp (Knupp 1989) als Grundlage für die Bewegungsanalyse genommen. Nach dem Vorschlag von Hay (Hay 1979) wurde die komplexe Lauftechnik im Badminton in Techniken zerlegt, die häufig vorkommen (Abb. 11).

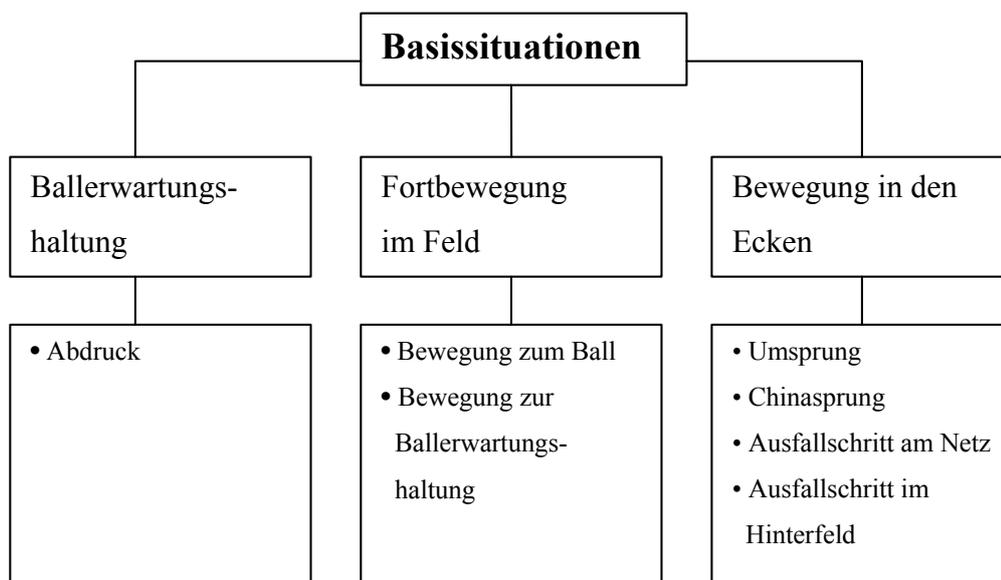


Abb. 11: Eigene Systematisierung der Lauftechnik im Badminton

### 4.3.2 Definitionen und Berechnungen

Um die Lauf- und Sprungbewegungen im Badminton mit einer größeren Stichprobenzahl quantitativ beschreiben zu können, wurde das Verhalten in den Basissituationen definiert.

#### 4.3.2.1 Länge der Laufwege

Betrachtet man einen Ballwechsel genauer, kann man unterschiedliche Aktionen bei der Laufarbeit erkennen. Es gibt Laufwege zum Ball und Laufwege zum situativen Zentralpunkt. Auf Grund dieser Gliederung wurden die einzelnen Laufaktionen als linear angenommen. Der Laufweg zum Ball wurde definiert als Weg von der tiefsten Körperschwerpunktstellung des Spielers in der Ballerwartungshaltung bis zur tiefsten Körperschwerpunktstellung bei der Landung nach dem Schlag. Analog dazu wurde der Weg zum situativen Zentralpunkt als Weg von der tiefsten Körperschwerpunktstellung des Spielers nach dem Schlag bis zur tiefsten Körperschwerpunktstellung in der Ballerwartungshaltung definiert. Die Laufwege der Spieler auf dem Spielfeld wurden zweidimensional und dreidimensional berechnet.

$$\text{Laufweg in der Ebene } s_{Ebene,i+1} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} + s_{Ebene,i}$$

$$\text{Laufweg im Raum } s_{Raum} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} + s_{Raum,i}$$

#### 4.3.2.2 Maximale Geschwindigkeit bei Laufwegen

Analysiert wurden jeweils die maximalen Geschwindigkeiten, die ein Spieler auf dem Weg zum Ball erreicht, sowie die maximalen Geschwindigkeiten, die ein Spieler auf dem Weg zum situativen Zentralpunkt erreicht. Ebenfalls wurden die Geschwindigkeiten in den Umkehrpunkten und im Zentralpunkt gemessen. Die Geschwindigkeiten wurden in der Ebene berechnet. Als Berechnungsgrundlage für das Verhalten in den Ecken wurden die Raumkoordinaten genommen.

$$\text{Laufgeschwindigkeit in der Ebene } v_{Ebene}(t) = \frac{\sqrt{\Delta x^2(t) + \Delta y^2(t)}}{\Delta t}$$

$$\text{Laufgeschwindigkeit im Raum } v_{\text{Raum}}(t) = \frac{\sqrt{\Delta x^2(t) + \Delta y^2(t) + \Delta z^2(t)}}{\Delta t}$$

$$\Delta t = 0,02s$$

#### 4.3.2.3 Mittlere Beschleunigung bei Laufwegen

Als Berechnungsgrundlage für die mittlere Beschleunigung wurden die Geschwindigkeit im Umkehrpunkt beziehungsweise in der Ballerwartungshaltung und die maximale Geschwindigkeit genommen. Berechnet wurde die mittlere Beschleunigung auf dem Weg zum Ball und dem Weg zur Ballerwartungshaltung. Die mittlere Beschleunigung wurde in der Ebene berechnet. Zur Beurteilung des Verhaltens in den Ecken wurden als Berechnungsgrundlage für die maximale Beschleunigung wiederum die Raumkoordinaten genommen.

$$\text{Beschleunigung in der Ebene } a_{\text{Ebene}}(t) = \frac{\Delta v_{\text{Ebene}}(t)}{\Delta t}$$

$$\text{Beschleunigung im Raum } a_{\text{Raum}}(t) = \frac{\Delta v_{\text{Raum}}(t)}{\Delta t}$$

$$\Delta t = 0,02s$$

$$\text{Mittlere positive Beschleunigung in der Ebene } a_{\text{Ebene}}(t) = \frac{v_{\text{Ebene}}(t_2) - v_{\text{Ebene}}(t_1)}{t_2 - t_1}$$

$$\text{Mittlere positive Beschleunigung im Raum } a_{\text{Raum}}(t) = \frac{v_{\text{Raum}}(t_2) - v_{\text{Raum}}(t_1)}{t_2 - t_1}$$

$t_2$  = Zeitpunkt der maximalen Laufgeschwindigkeit vor dem Schlag

$t_1$  = Zeitpunkt im Umkehrpunkt, an dem der Körperschwerpunkt des Spielers am tiefsten ist

#### 4.3.2.4 Verhalten in den Umkehrpunkten

Das Verhalten in den Umkehrpunkten wurde reduziert auf die Ballerwartungshaltung in der situativen Mitte und die Techniken Umsprung, Chinasprung und Ausfallschritte am Netz und im Hinterfeld.

#### **4.3.2.5 Reaktionszeit vor und nach Schlägen**

In der Ballerwartungshaltung wurden die Reaktionszeit des Spielers und die Tiefe des Körperschwerpunktes gemessen. Die Reaktionszeit wurde als die Zeit definiert, die vom Balltreffpunkt des Gegners bis zum Einnehmen der maximalen Vorspannung des Spielers vergeht. Als maximale Vorspannung der Beinmuskulatur wurde dabei der Zeitpunkt angenommen, bei dem der Körperschwerpunkt des Spielers am tiefsten ist.

Nach dem Schlag wurde die Reaktionszeit des Spielers als die Zeit definiert, die vom Balltreffpunkt des Spielers bis zum Einnehmen der maximalen Vorspannung der Beinmuskulatur des Spielers vergeht.

#### **4.3.2.6 Vorbereitung und Nachbereitung eines Schlages**

Im Badminton sind kurze Reaktionszeiten mit adäquatem Bewegungsverhalten in der Ballerwartungshaltung und schnelles Umkehren in den Ecken in Richtung Zentralpunkt entscheidend für den Gewinn des Ballwechsels. Die beiden Situationen werden als Vorbereitung und Nachbereitung des Schlages bezeichnet. Die Vorbereitung ist die Zeit des ersten ersichtlichen Abdruckes in Richtung Ball. Als Messpunkt wurde ebenfalls der Zeitpunkt genommen, an dem der Spieler seinen tiefsten Körperschwerpunkt hatte. Dieser Zeitpunkt kann der Reaktionszeit entsprechen, muss aber nicht (Abb. 12). Die Nachbereitung ist wiederum die Zeit, die vergeht, bis der Spieler sich in Richtung Zentralpunkt abdrückt. Die Nachbereitung kann ebenfalls der Zeit des ersten Abdruckes nach dem Schlag entsprechen.

### Vorbereitung in der Ballerwartungshaltung



### Nachbereitung nach dem Schlag

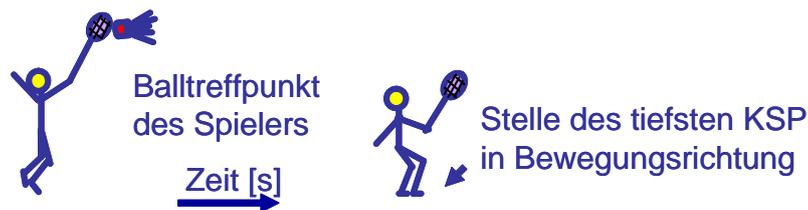


Abb. 12: Vor- und Nachbereitung von Schlägen

#### 4.3.2.7 Schnelligkeit in den Ecken - Prinzip der integrierten Umkehr

Die Vor- und Nachbereitung des Schlages wurden definiert als Zeit vom Treffpunkt des Gegners beziehungsweise des Spielers bis zum Zeitpunkt des tiefsten Körperschwerpunktes in Richtung situativem Zentralpunkt. Um eine Aussage über die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten in Bezug auf das Prinzip der integrierten Rückkehr machen zu können, wurden die einzelnen Techniken dreidimensional betrachtet. Der Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit vor dem Abbremsen wurde als T1 definiert. T2 war der Zeitpunkt der minimalen Geschwindigkeit im Umkehrpunkt und T3 der Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit nach dem ersten Abdruck in Richtung Zentralpunkt.

Zusätzlich wurden die maximale negative Beschleunigung beim Abbremsen im Umkehrpunkt und die maximale Beschleunigung beim ersten Schritt aus dem Umkehrpunkt berechnet. Als Berechnungsgrundlage wurden die Raumdaten verwendet.

#### 4.3.3 Messstation

Dreidimensionale Bewegungsanalysen lassen sich mit Hilfe der Methode der direkten Transformation (DLT) durchführen, wenn man zwei synchronisierte Kameras (metrische oder nichtmetrische) benutzt. Für die Auswertung wurde eine spezielle Software (SIMI

Motion der Firma SIMI Reality Motion Systems GmbH, Unterschleißheim) verwendet. Beide Kameras werden auf ein gemeinsames Bild gerichtet (Abb. 13). Verwendet man ein Passpunktsystem aus mindestens 6 Passpunkten, das von beiden Kameras aufgenommen wird, erhält man zu den bekannten Raumkoordinaten auch die Bildkoordinaten der Passpunkte.

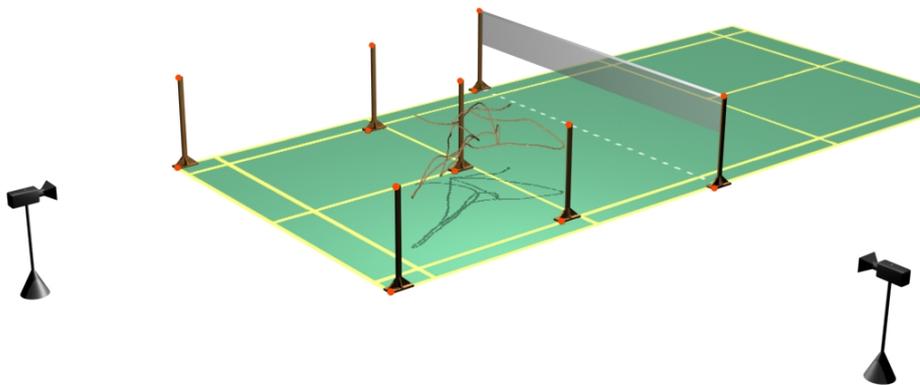


Abb. 13: Schema der Erfassung dreidimensionaler Bewegungsdaten: Spielfeld mit Position der beiden Kameras und den Passpunkten in Form von Holzständern

Die Bedeutung des Passpunktsystems liegt in der Erfassung des gesamten Bildfeldes, indem sich die zu analysierenden Bewegungen vollziehen. Es stellt ein Koordinatensystem des Raumes dar, das für die Berechnung der kinematischen Größen erforderlich ist. Um die Bewegungen eines Probanden während eines Ballwechsels aufzunehmen, musste das Passpunktsystem eine Spielhälfte sowie die durchschnittliche Höhe der Probanden abdecken. Es wurden dazu 14 Passpunkte aufgestellt, die von zwei Kameras, die in einem Winkel von ca. 90 Grad zueinander standen, gefilmt wurden. Die 14 Passpunkte wurden vor und nach einer Messreihe aufgenommen. Mit Hilfe von den bekannten Raum- und Bildkoordinaten war es dann möglich, Körperpunkte dreidimensional zu lokalisieren. Repräsentativ für die Lage des Körperschwerpunktes (KSP) wurde der Auswerteökonomie wegen jeweils die Hüftkoordinate des Spielers abgetastet.

#### 4.3.4 Kameras und ihre Synchronisation

Die Genauigkeit der Bewegungsanalysen hängt entscheidend von der Aufnahme­frequenz, d. h. vom zeitlichen Auflösungsvermögen ab. Zur Messung der Laufschnelligkeit im Badminton hat sich eine Aufnahme­frequenz von 50 Bildern pro Sekunde als ausreichend erwiesen. Die Ballwechsel wurden mit zwei Sony DCV-TRV900E aufgenommen, die in einem Winkel von ca. 90 Grad zueinander standen. Eine Kamera war von hinten auf das Spielfeld gerichtet, die andere von der Seite.

Um eine dreidimensionale kinematische Analyse durchführen zu können, müssen die beiden Kameras, mit denen gefilmt wird, synchron laufen. Dazu wurden die Filme der beiden Kameras synchronisiert. Als Nullbild wurde der Zeitpunkt gewählt, bei dem der Ball beim Aufschlag den Schläger verlässt. Durch die Auswertung der sogenannten Halbbilder konnte die Auswertung der Videoaufnahmen auf 0,02 s genau vorgenommen werden.

Um die Einzelbilder in der Auswertung manuell abtasten zu können, trugen die Spieler einen festen Gummigürtel, auf dem direkt in Höhe der Darmbeinstachel ein halbiertes Tennisball befestigt war (Abb. 14). Ein automatisiertes Abtasten markierter Lichtpunkte war nicht möglich, da die Bewegungsdynamik beim Badminton eine einfache Erkennung nicht zulässt. Die erhaltenen Daten wurden mit einem zweifachen Tiefpass geglättet und für die weiteren Berechnungen in Excel 2002 exportiert.



Abb. 14: Gürtel mit Tennisbällen, die in der Analyse abgetastet wurden

### **4.3.5 Versuchsdurchführung**

Annähernd gleichstarke Probanden spielten nach einer Aufwärmphase 3 x 3 Ballwechsel unter der Vorgabe, keine langen Ballwechsel zu provozieren. Ein schnelles Angriffsspiel sollte die Aufnahmen von situationsangepasster Beinarbeit unter Zeitdruck gewährleisten. Die Anzahl von maximal 9 Ballwechseln sollte einen Einfluss von Ermüdungserscheinungen auf das Untersuchungsergebnis ausschließen.

Drei beliebige Ballwechsel pro Proband wurden für die dreidimensionale Bewegungsanalyse ausgewählt. Einziges Auswahlkriterium war die Anzahl der Ballkontakte des Probanden pro Ballwechsel. Es wurden Ballwechsel ausgewählt, in denen der Proband mindestens 3 Ballkontakte hatte. Insgesamt wurden 57 Ballwechsel von 20 Probanden ausgewertet.

Beginn des Ballwechsels war der erste Balltreffpunkt des Gegners. Als Ende des Ballwechsels wurde bei einem Fehler des Probanden der letzte Balltreffpunkt des Probanden und bei einem Fehler des Gegenspielers der letzte Balltreffpunkt des Gegners genommen.

## **4.4 Statistik**

Die Statistik wurde mit der Unterstützung des Statistischen Beratungslabors der Ludwig Maximilians Universität München angefertigt. Die Daten wurden deskriptiv und interferenzstatistisch mit SPSS 12.0 ausgewertet.

### **4.4.1 Deskriptive Statistik**

Für alle Mittelwerte wurden die Standardabweichung, Minimal- und Maximalwerte berechnet und in Tabellen oder Graphiken dargestellt.

### **4.4.2 Interferenzstatistik**

#### **4.4.2.1 Unterschiedshypothesen**

Für die Überprüfung von Unterschiedshypothesen wurden Verfahren für Ordinaldaten verwendet. Die Ordinalskala ist eine Rangskala und lässt keine Aussage über die Höhe des Unterschiedes zwischen zwei Merkmalen zu.

Zwei unabhängige Stichproben wurden hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz mit dem U Test von Mann–Whitney berechnet. Für verbundene Stichproben wurde der Wilcoxon-Test herangezogen, der die Verteilungen von zwei Variablen vergleicht.

Bei beiden Tests wurde die exakte zweiseitige Signifikanz berechnet.

Das Signifikanzniveau wurde für  $p \leq 0,05$  mit signifikant und für  $p \leq 0,01$  mit hochsignifikant festgelegt.

#### **4.4.2.2 Zusammenhangshypothesen**

Für die Überprüfung von Zusammenhangshypothesen wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho mit dem jeweiligen Signifikanzniveau berechnet. Mit dem Korrelationskoeffizient nach Spearman werden Beziehungen zwischen Rangordnungen gemessen. Die Daten wurden vor dem Test auf Ausreißer untersucht, da diese zu irreführenden Ergebnissen führen können. Der Wertebereich für Korrelationskoeffizienten reicht von -1 (perfekter negativer Zusammenhang) bis +1 (perfekter positiver Zusammenhang). Der Wert 0 bedeutet, dass kein linearer Zusammenhang besteht. Es wurde ebenfalls die exakte zweiseitige Signifikanz berechnet.

Auf eine interferenzstatistische Überprüfung der Differenzen zwischen den einzelnen Sätzen der Spiele wurde wegen der geringen Anzahl an Spielen bewusst verzichtet. Lediglich die Differenzen zwischen dem 1. beziehungsweise 2. Satz aller Spiele und dem letzten Satz aller Spiele wurden auf Signifikanz getestet.

#### **4.4.2.3 Ordinale Regression**

Mit Hilfe der ordinalen Regression sollte eine Aussage über den Einfluss der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit auf das Spielvermögen gemacht werden.

Die ordinale Regression ermöglicht es, die Abhängigkeit einer polytomen ordinalen Antwortvariablen von einer Gruppe von Einflussvariablen zu modellieren. Bei diesen kann es sich um Faktoren oder Kovariaten handeln.

Für das statistische Verfahren wurden die Spieler auf Grund eines Expertenratings, das sich aus 3 Trainern zusammensetzte, in 6 Leistungsklassen eingeteilt.

Das Standardverfahren der linearen Regressionsanalyse beinhaltet die Minimierung der Summe von quadrierten Differenzen zwischen einer Antwortvariablen (abhängig) und einer gewichteten Kombination von Einflussvariablen (unabhängig). Die geschätzten Koeffizienten geben die Auswirkung einer Änderung in den Einflussvariablen auf die Antwortvariable wieder. Da die Variablen ordinal sind, konnte keine Aussage über die Höhe des Unterschiedes zwischen zwei Merkmalen gemacht werden.

Bei ordinalen Variablen sind diese Beziehungen jedoch nicht notwendigerweise gegeben. Bei diesen Variablen kann die Auswahl und Anzahl von Antwortkategorien willkürlich ausfallen.

#### **4.4.3 Expertenrating**

Da die offiziellen Ranglisten nicht der tatsächlichen Leistungsstärke einzelner Spieler entsprechen und auch leistungsstarke Spieler in unteren Klassen spielen, wurde ein Ranking der Spieler durch ein Expertenrating festgelegt. Drei Trainer, darunter ein Trainer mit A Lizenz und zwei Trainer mit B Lizenz, stuften die Spieler in 6 Leistungsklassen ein. Die Einstufung der Spieler auf Grund des Expertenratings diente als Berechnungsgrundlage für die Zusammenhänge zwischen der Leistungsstärke im Badminton und der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Probanden

#### 5.1.1 Klinischer Befund und anthropometrische Grunddaten

Sämtliche der 22 männlichen Probanden waren den Ergebnissen der sportmedizinischen Untersuchung nach klinisch gesund und voll belastbar. Im Rahmen der Untersuchung wurden folgende Daten für Alter, Größe und Gesamtkörperfettgehalt, der mittels Hautfaltendickebestimmung mit einem Caliper an 5 Stellen gemessen wurde, erhoben (Tab. 2).

Tab. 2: Anthropometrische Daten der 22 Probanden

	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	Fettgehalt [%]
	24 ± 5,0	79,2 ± 7,6	184 ± 7,0	10,5 ± 5,1
Min	17	64,8	168,5	3,70
Max	37	98,0	196,0	22,70

#### 5.1.2 Sportliche Anamnese

In der sportlichen Anamnese wurden die Probanden zu ihrem wöchentlichen zeitlichen Trainingsumfang befragt (Abb. 15). Dabei wurde das badmintonspezifische Training auf dem Spielfeld von nicht Badmintonspezifischem, Sportspielen sowie dem Training konditioneller Faktoren getrennt.

Die Probanden gaben an, dass sie insgesamt 9,6 Stunden ( $\pm 3,3$  Stunden) pro Woche trainierten. Davon waren wöchentlich 6,9 Stunden ( $\pm 2,3$  Stunden) badmintonspezifisches Training. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 75 %. Das zusätzliche Training setzte sich aus durchschnittlich 99 min ( $\pm 145$  min) Ausdauertraining (Radfahren, Joggen) und 32 min ( $\pm 65$  min) Krafttraining zusammen. 27 min ( $\pm 57$  min) der wöchentlichen Trainingszeit beanspruchten Sportspiele (Volleyball, Basketball, Fußball).

Die individuellen Unterschiede beim Trainingsumfang und bei den Trainingsinhalten waren groß. Die Spieler mit dem größten Trainingsumfang gehörten einem Kader an. Sie trainierten ca. 10 Stunden in der Woche badmintonspezifisch und widmeten zusätzlich 3 - 4 Stunden dem Training der konditionellen Faktoren Kraft und Ausdauer. Die Spieler mit dem geringsten Umfang trainierten pro Woche 4 Stunden badmintonspezifisch und 60 Minuten konditionelle Faktoren. Einzelne Spieler nahmen regelmäßig an den Sportspielen Fußball, Volleyball oder Basketball teil.

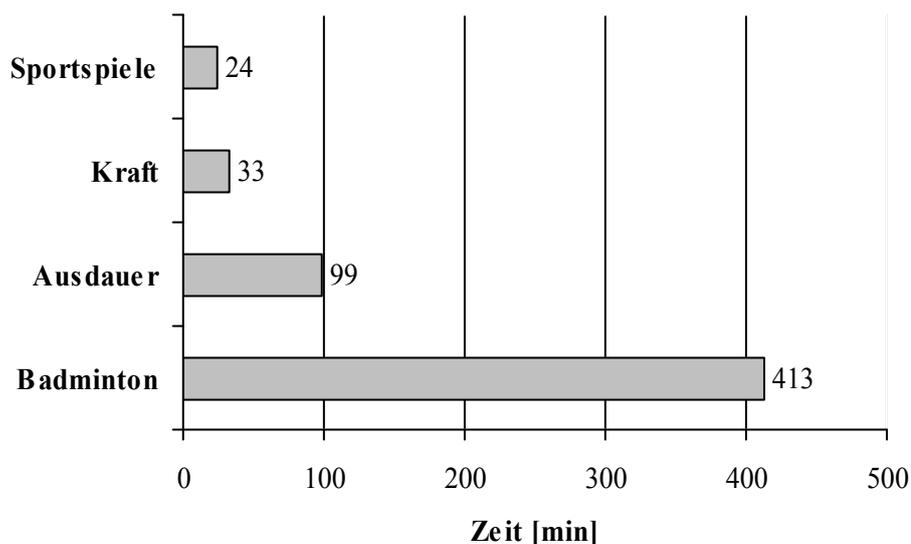


Abb. 15: Sportliche Anamnese der 22 Probanden. Durchschnittlicher zeitlicher Trainingsaufwand pro Woche

Die Analyse des wöchentlichen Trainingsumfangs in Abhängigkeit vom Alter ergab, dass die jüngeren Probanden einen höheren Trainingsumfang hatten als die älteren Spieler. Bei näherer Betrachtung zeigte sich, dass der negative Zusammenhang (Abb. 16) zwischen dem Alter und dem Trainingsumfang auf Grund des höheren badmintonspezifischen Trai-

ningsumfanges der jüngeren Spieler zustande kam ( $r = -0,68$ ,  $p \leq 0,01$ ). Der nicht badminton-spezifische Anteil am Trainingsumfang war unabhängig vom Alter der Probanden.

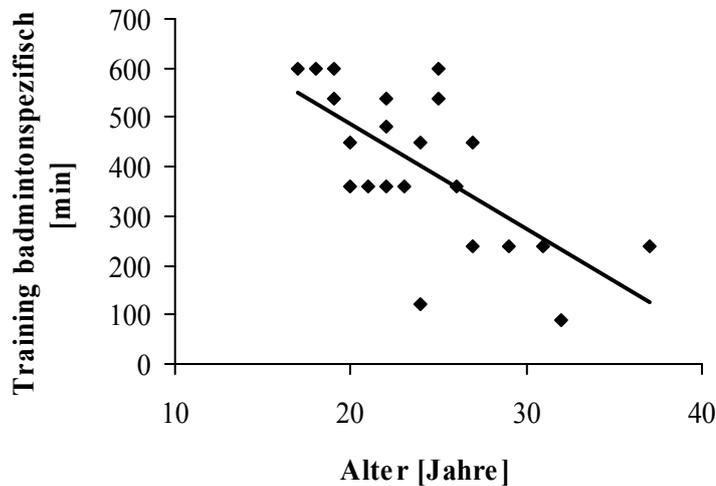


Abb. 16: Zusammenhang zwischen dem wöchentlichen badminton-spezifischen Trainingsumfang und dem Alter. Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,68$ ,  $p \leq 0,01$ ),  $n = 22$

Die Probanden setzten sich aus Spielern der obersten 4 Spielklassen des DBV zusammen. 10 der Probanden spielten in der Bayernliga, 7 in der dritthöchsten Klasse, der Regional-liga, 4 Probanden spielten in der zweiten Bundesliga und 1 Spieler in der ersten Bundes-liga. Da sowohl die Rangliste des DBV als auch die Spielklasse, in der die Probanden spielten, die Leistungsstärke der Spieler untereinander nicht hinreichend wiedergeben konnte, wurden die Probanden auf Grund eines Expertenratings in 6 Leistungsklassen ein- geteilt.

Bei der Einstufung der Spieler in 6 Leistungsklassen auf Grund des Expertenratings ergab sich erwartungsgemäß ein positiver Zusammenhang zwischen der Spielklasse ( $r = 0,59$ ,  $p \leq 0,01$ ) und der Leistungsstärke. Zwischen dem Alter der Spieler und der Spielstärke beziehungsweise der Spielklasse ergab sich kein Zusammenhang.

## 5.2 Kardiale und energetische Leistungsdiagnostik

### 5.2.1 Stufenweise ansteigende Laufbandspiroergometrie

#### 5.2.1.1 Maximale Leistungsparameter

In der Spiroergometrie auf dem Laufband erreichten die Probanden eine durchschnittliche Laufgeschwindigkeit von 16,2 km/h ( $\pm 1,2$  km/h), wobei die höchste Laufgeschwindigkeit 18,3 km/h und die geringste 13,3 km/h betrug. Die durchschnittliche maximale Sauerstoffaufnahme lag bei 4826 ml/min ( $\pm 599$  ml/min). Relativ entsprach dies einer Sauerstoffaufnahme von 61,0 ml/kg/min ( $\pm 5,7$  ml/kg/min). Die höchste relative maximale Sauerstoffaufnahme, die ein Proband erreichte, betrug 71,8 ml/kg/min. Minimal wurden 49,3 ml/kg/min gemessen. Die durchschnittliche maximale Herzfrequenz war 198 Schläge/min ( $\pm 9$  Schläge/min). Die durchschnittliche maximale Blutlaktatkonzentration betrug 11,21 mmol/l ( $\pm 1,98$  mmol/l) (Tab: 3).

Tab: 3: Maximale Leistungsparameter bei der stufenförmig ansteigenden Laufbandspiroergometrie, n = 22

Geschwindigkeit [km/h]	max. VO <sub>2</sub> [ml/min]	rel. VO <sub>2</sub> [ml/kg/min]	Blutlaktat [mmol/l]	Herzfrequenz [Schläge/min]
16,2 $\pm 1,2$	4826 $\pm 599$	61,0 $\pm 5,7$	11,21 $\pm 1,98$	198 $\pm 9$

#### 5.2.1.2 Leistungsparameter an der individuellen aeroben und anaeroben Schwelle

Die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme der Probanden an der individuellen aeroben Schwelle betrug 3145 ml/min ( $\pm 352$  ml/min), was einer relativen Sauerstoffaufnahme von 39,9 ml/kg/min ( $\pm 4,4$  ml/kg/min) entsprach. Das waren 64 % der durchschnittlichen maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit. Die durchschnittliche Herzfrequenz an der individuellen aeroben Schwelle lag bei 152 Schläge/min ( $\pm 11$  Schläge/min), und das Blutlaktat betrug 1,86 mmol/l ( $\pm 0,5$  mmol/l).

Die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle betrug 4005 ml/min ( $\pm 451$  ml/min), was relativ 50,7 ml/kg/min ( $\pm 5,0$  ml/min/kg) entsprach. Das waren 81 % der durchschnittlichen maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit. Die Herzfre-

quenz an der individuellen anaeroben Schwelle lag bei 176 Schläge/min ( $\pm 9$  Schläge/min) und der Blutlaktatwert mit 3,55 mmol/l ( $\pm 0,49$  mmol/l) unter der fixen anaeroben Schwelle von 4 mmol/l (Tab. 2).

Tab. 4: Leistungsparameter der Laufbandspiroergometrie an der individuellen aeroben und anaeroben Schwelle, n = 22

	Geschwindigkeit [km/h]	VO <sub>2</sub> [ml/min]	rel. VO <sub>2</sub> [ml/kg/min]	Blutlaktat [mmol/l]	Herzfrequenz [Schläge/min]
individuelle aerobe Schwelle	9,3 $\pm 1,2$	3145 $\pm 352$	39,9 $\pm 4,4$	1,86 $\pm 0,5$	152 $\pm 11$
individuelle anaerobe Schwelle	12,4 $\pm 1,0$	4005 $\pm 451$	50,7 $\pm 5,0$	3,55 $\pm 0,49$	176 $\pm 9$

### 5.2.2 Vita-Max Test

Im Vita-Max Test wurde eine durchschnittliche maximale Laufgeschwindigkeit von 17,8 km/h ( $\pm 1,42$  km/h) erreicht (Tab. 5). Die maximale Leistung betrug 20,5 km/h. Minimal wurde eine Geschwindigkeit von 14,4 km/h erreicht. Die maximale und maximale relative Sauerstoffaufnahme unterschieden sich mit durchschnittlich 4831 ml/min ( $\pm 586$  ml/min) beziehungsweise 61,1 ml/kg/min ( $\pm 5,9$  ml/kg/min) nicht von den erreichten Werten im Mehrstufentest. Als absolute maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit für die einzelnen Spieler wurde deshalb der jeweils höhere Wert aus Mehrstufentest und Vita-Max Test angenommen. Die maximale durchschnittliche Herzfrequenz wurde mit 192 Schläge/min ( $\pm 7$  Schläge/min) gemessen. Sie war geringer als bei der stufenförmig ansteigenden Laufbandergometrie. Als Maximalwert für die Herzfrequenz wurde im Folgenden immer der höchste Wert bei den beiden Ergometriearten angesehen. Der maximale durchschnittliche Blutlaktatwert betrug 10,88 mmol/l ( $\pm 1,90$  mmol/l).

Tab. 5: Maximale Leistungsparameter beim Vita-Max Test , n = 22

Geschwindigkeit [km/h]	VO <sub>2</sub> [ml/min]	rel. VO <sub>2</sub> [ml/kg/min]	Blutlaktat [mmol/l]	Herzfrequenz [Schläge/min]
17,8 ± 1,42	4831 ± 586	61,1 ± 5,9	10,88 ± 1,90	192 ± 7

In den weiteren Ergebnissen wird die relative auf die Körpermasse bezogene Sauerstoffaufnahme berücksichtigt, weil sie eine bessere Vergleichbarkeit der Probanden untereinander ermöglicht.

### 5.2.3 Ausbelastungskriterien

Für die Ermittlung der Maximalwerte von Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz ist eine völlig ermüdende und erschöpfende Ausbelastung eine Grundvoraussetzung. Diese kann anhand von subjektivem Belastungsempfinden und objektiven Ausbelastungskriterien beurteilt werden.

Das subjektive Belastungsempfinden wurde mit Hilfe der Borg-Skala (Borg 2004) ermittelt. Objektive Belastungskriterien bildeten die Herzfrequenz, die Blutlaktatwerte, das Atemäquivalent, der respiratorische Quotient und das Levelling off. In Tab. 6 sind die erreichten Maximalwerte der Probanden im Vergleich zu den in der Literatur als Zeichen einer Ausbelastung genannten Kriterien dargestellt. Bei allen 22 Probanden konnte sowohl bei der Laufbandspiroergometrie als auch beim Vita - Max Test von einer Ausbelastung ausgegangen werden.

Tab. 6: Ausbelastungskriterien bei ansteigender Laufbandergometrie und im Vita – Max Test im Vergleich zu den in der Literatur genannten Daten bei 22 Probanden (De Marees 2002)

	Laufbandergometrie	Vita-Max Test	Ausbelastungskriterium
Borg-Skala 6-20	17 ± 1	-	> 17
max Herzfrequenz [Schläge/min]	198 ± 9	192 ± 7	210 - Lebensalter (Jahre) 186 ± 5
max. res. Quotient VCO <sub>2</sub> /VO <sub>2</sub>	0,98 ± 0,89	1,00 ± 0,10	≥ 1,1
max. Atemäquivalent VE/VO <sub>2</sub>	32 ± 3,5	32 ± 5	≥ 30
max. Blutlaktat [mmol/l]	11,18 ± 1,96	10,97 ± 1,90	≥ 8
Levelling off 1 = ja; 0 = nein	1	-	kein Anstieg der Sauerstoffaufnahme trotz steigender Belastung

### 5.3 Kardiale und metabolische Parameter im Spiel

Die Bestimmung kardialer und metabolischer Parameter sollte Aufschluss über die Qualität und Quantität der physischen Beanspruchung in einem Herreneinzel geben. Dabei interessierten nicht nur Durchschnitts- und Maximalwerte der Spieler in Relation zu deren aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, sondern auch die Veränderung der Beanspruchung über die Dauer der Spiele. Von besonderem Interesse waren Zusammenhänge mit der intervallförmigen Belastungsstruktur der 22 Spiele.

Bei allen 22 Spielen wurde über die Dauer des ganzen Spiels bei jeweils einem der Spieler die Sauerstoffaufnahme bestimmt. Zusätzlich wurde bei beiden Spielern die Herzfrequenz aufgezeichnet und direkt vor dem Spiel und nach jedem Satz Kapillarblut zur Bestimmung der Blutlaktatwerte entnommen. Mit Ausnahme der Analyse von Gewinner und Verlierer wurden nur die 22 Spieler, bei denen die Sauerstoffaufnahme bestimmt wurde, in die Auswertung einbezogen.

Die Messergebnisse der kardialen und metabolischen Parameter wurden einerseits unabhängig von der Anzahl der gespielten Sätze hinsichtlich Mittelwerten, Maxima und Mi-

nima sowie im Vergleich zu ergometrisch erhobenen Daten analysiert. Andererseits wurden die Daten differenziert nach der Anzahl der gespielten Sätze (3-Satz, 4-Satz, 5-Satz).

Es wurden 6 Spiele in 5 Sätzen entschieden, 11 Spiele in 4 Sätzen und 5 Spiele in 3 Sätzen. 8 der 22 Spiele gewannen Spieler, bei welchen die Sauerstoffaufnahme bestimmt wurde.

### 5.3.1 Sauerstoffaufnahme im Spiel

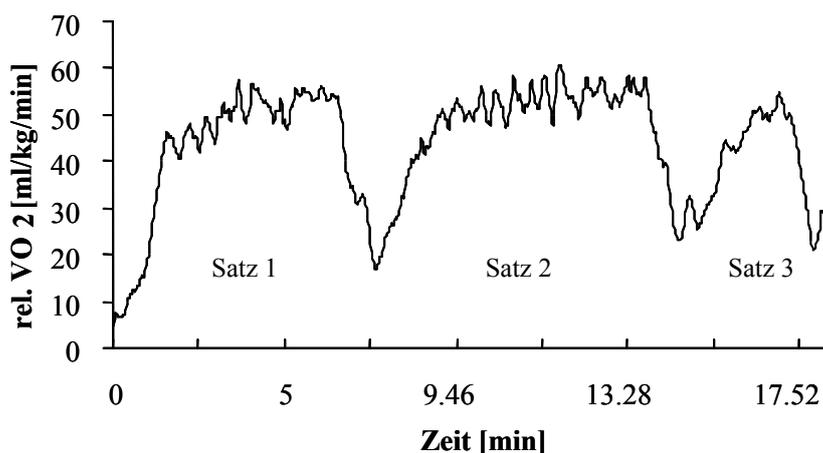


Abb. 17: Relative Sauerstoffaufnahme in einem Herreneinzel, 3-Satz-Spiel

Die atemzugsweise gemessene Sauerstoffaufnahme stieg jeweils zu Beginn eines Satzes steil an und fiel nur in den 90 Sekunden Pause zwischen den einzelnen Sätzen deutlich ab (Abb. 17). Dennoch kann man Belastungsspitzen voneinander unterscheiden und einzelnen Ballwechseln zuordnen. In 22 Spielen lag die Sauerstoffaufnahme während der Sätze bei durchschnittlich 3648 ml/min ( $\pm$  500 ml/min). Die auf das Körpergewicht bezogene relative Sauerstoffaufnahme der 22 Probanden betrug 46,2 ml/kg/min ( $\pm$  5,7 ml/kg/min). Dies entsprach 74 % ihrer durchschnittlichen relativen maximalen Sauerstoffaufnahme und 91 % der im Stufentest ermittelten individuellen anaeroben Schwelle (50,7 ml/kg/min ( $\pm$  5,6 ml/kg/min)). In 18 von 22 Spielen blieben die Spieler mit ihren Durchschnittswerten unter der in der Laufbandspiroergometrie ermittelten individuellen anaeroben Schwelle (Abb. 18). Die durchschnittliche relative maximale Sauerstoffaufnahme (56,3 ml/kg/min ( $\pm$  6,3 ml/kg/min)) im Spiel lag deutlich über den Messwerten der individuellen anaeroben Schwelle.

Die höchste prozentuale Sauerstoffaufnahme, die ein Spieler während eines Spieles durchschnittlich erreichte, betrug 95 % seiner maximalen Sauerstoffaufnahme über 5 Sätze hinweg. Ein Spieler hingegen spielte ebenfalls ein 5-Satz-Spiel mit durchschnittlich nur 61 % seiner maximalen Sauerstoffaufnahme.

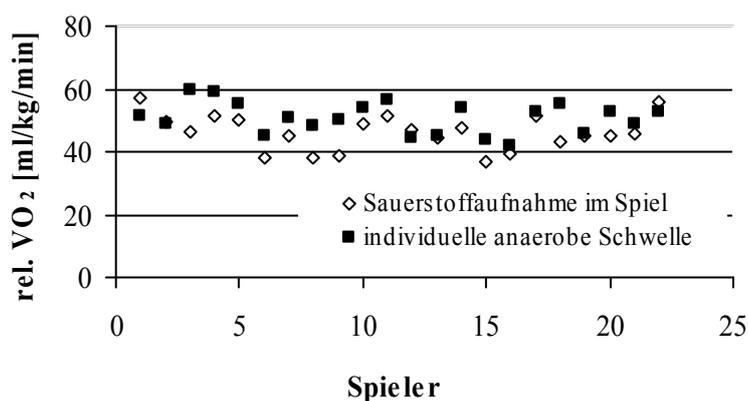


Abb. 18: Durchschnittliche relative Sauerstoffaufnahme der einzelnen Spieler im Spiel im Vergleich zu ihrer Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle,  $n = 22$

In Abb. 19 sind die Werte der durchschnittlichen relativen Sauerstoffaufnahme der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele absolut und prozentual von der maximalen Sauerstoffaufnahme getrennt voneinander dargestellt. Die durchschnittliche relative Sauerstoffaufnahme der 3 Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele sank zwischen dem ersten und letzten Satz signifikant ab ( $p \leq 0,05$ ), jedoch wurden über den Verlauf der einzelnen Sätze hinweg nur geringe Schwankungen gemessen.

In den 3-Satz-Spielen fiel die relative Sauerstoffaufnahme vom ersten bis zum dritten Satz leicht ab (2,5 %). In den 4-Satz-Spielen und 5-Satz-Spielen erreichten die Spieler jeweils im 2. Satz ihre höchste durchschnittliche relative Sauerstoffaufnahme, die sich dann bis zum letzten Satz des Spieles senkte. In den 4-Satz-Spielen nahm die relative Sauerstoffaufnahme vom 2. Satz bis zum 4. Satz um 5,5 % ab. In den 5-Satz-Spielen fiel die Sauerstoffaufnahme vom 2. Satz bis zum 5. Satz um 6,2 %.

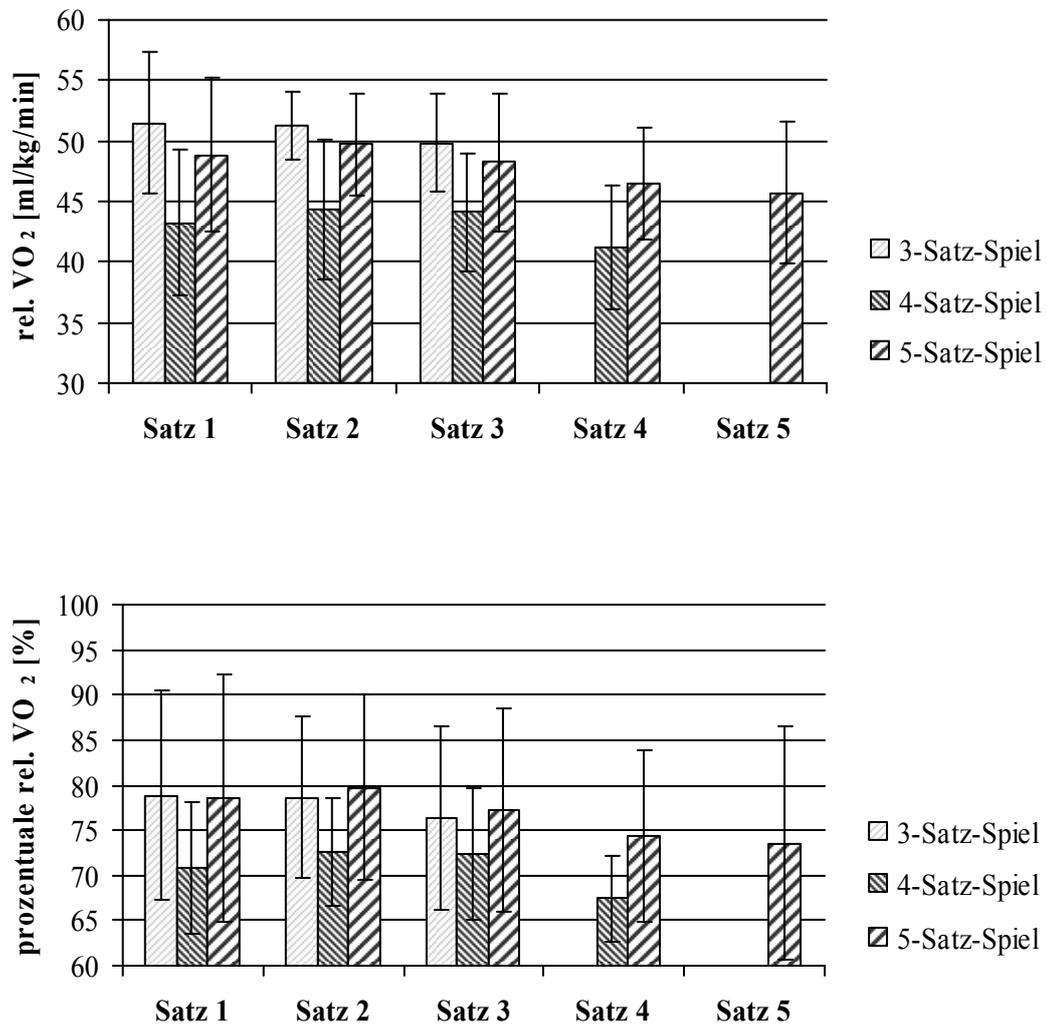


Abb. 19: oben: relative Sauerstoffaufnahme im Spiel; unten: relative Sauerstoffaufnahme prozentual von der maximalen Sauerstoffaufnahme, n = 5 für 3-Satz-Spiele, n = 11 für 4-Satz-Spiele, n = 6 für 5-Satz-Spiele

Tab. 7: Verhalten der Sauerstoffaufnahme in den einzelnen Sätzen.

	Spiele	VO <sub>2</sub> [ml/min]	rel. VO <sub>2</sub> [ml/kg/min]	rel. VO <sub>2</sub> [%]
1. Satz	3-Satz	3854 ± 316	51,5 ± 5,9	78,9 ± 11,5
	4-Satz	3526 ± 364	43,2 ± 5,8	70,8 ± 7,3
	5-Satz	3828 ± 889	48,9 ± 6,3	78,5 ± 13,7
2. Satz	3-Satz	3847 ± 196	51,3 ± 2,8	78,6 ± 9,0
	4-Satz	3616 ± 466	44,3 ± 5,8	73,0 ± 6,0
	5-Satz	3872 ± 690	49,7 ± 4,2	79,7 ± 10,3
3. Satz	3-Satz	3734 ± 242	49,8 ± 4,0	76,4 ± 10,2
	4-Satz	3601 ± 399	44,1 ± 4,8	72,5 ± 7,3
	5-Satz	3765 ± 795	48,2 ± 5,7	77,2 ± 11,2
4. Satz	4-Satz	3369 ± 456	41,2 ± 5,1	67,5 ± 4,8
	5-Satz	3627 ± 724	46,4 ± 4,6	74,4 ± 9,5
5. Satz	5-Satz	3571 ± 775	45,7 ± 5,8	73,5 ± 12,9

3-Satz-Spiele n = 5; 4-Satz-Spiele n = 11; 5-Satz-Spiele n = 6

### 5.3.2 Herzfrequenz im Spiel

Die Herzfrequenz wurde über die Dauer des ganzen Spieles in einem Messintervall von 5 s aufgezeichnet. Sie stieg wie die Sauerstoffaufnahme zu Beginn des Satzes steil an und fiel nur in den 90 Sekunden Pausen (Abb. 20).

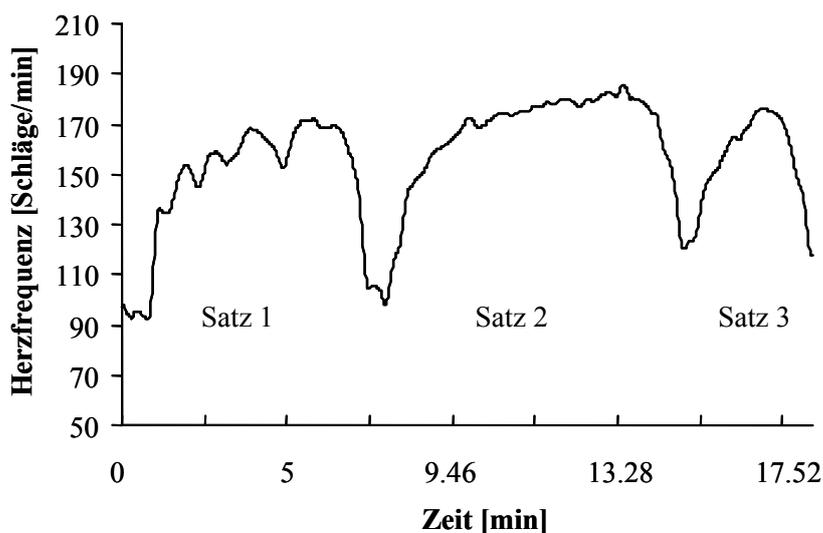


Abb. 20: Verlauf der Herzfrequenz in einem Herreneinzel, 3-Satz-Spiel

Anders als die Sauerstoffaufnahme, bei der ein Abfall zwischen den einzelnen Ballwechseln zu sehen ist, gleicht die Graphik der Herzfrequenz während den einzelnen Sätzen einem Plateau.

### 5.3.2.1 Belastungsherzfrequenzen

Die Herzfrequenz der 22 Spieler betrug während der einzelnen Sätze durchschnittlich 170 Schläge/min ( $\pm 8$  Schläge/min). Dies entsprach 86 % ihrer maximal bei der Spiroergometrie erreichten Werte und 97 % der durchschnittlichen Herzfrequenz an ihrer individuellen anaeroben Schwelle (176 Schläge/min ( $\pm 9$  Schläge/min)). Sieben Spieler hatten eine durchschnittliche Herzfrequenz, die über ihrer individuellen anaeroben Schwelle lag (Abb. 21). Die durchschnittliche maximale Herzfrequenz aller Spieler betrug 185 Schläge/min ( $\pm 7$  Schläge/min).

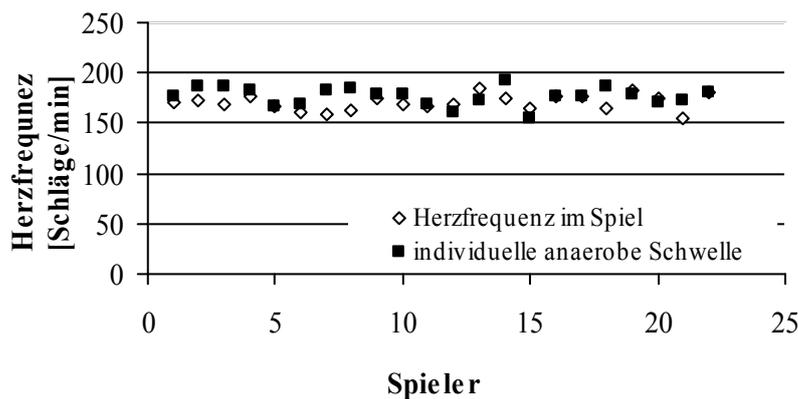


Abb. 21: Durchschnittliche Herzfrequenz der einzelnen Spieler im Vergleich zu ihrer Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle,  $n = 22$

In Abb. 22 sind die im Spiel gemessenen Herzfrequenzen und deren prozentualer Anteil von der maximalen Herzfrequenz in 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spielen getrennt voneinander dargestellt. Bei allen Spielen ( $n = 22$ ) kam es zu einem Anstieg der Herzfrequenzen zwischen dem ersten und zweiten Satz ( $p \leq 0,05$ ). Vom zweiten bis zum letzten Satz schwankte die Herzfrequenz in den 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spielen um 1 %.

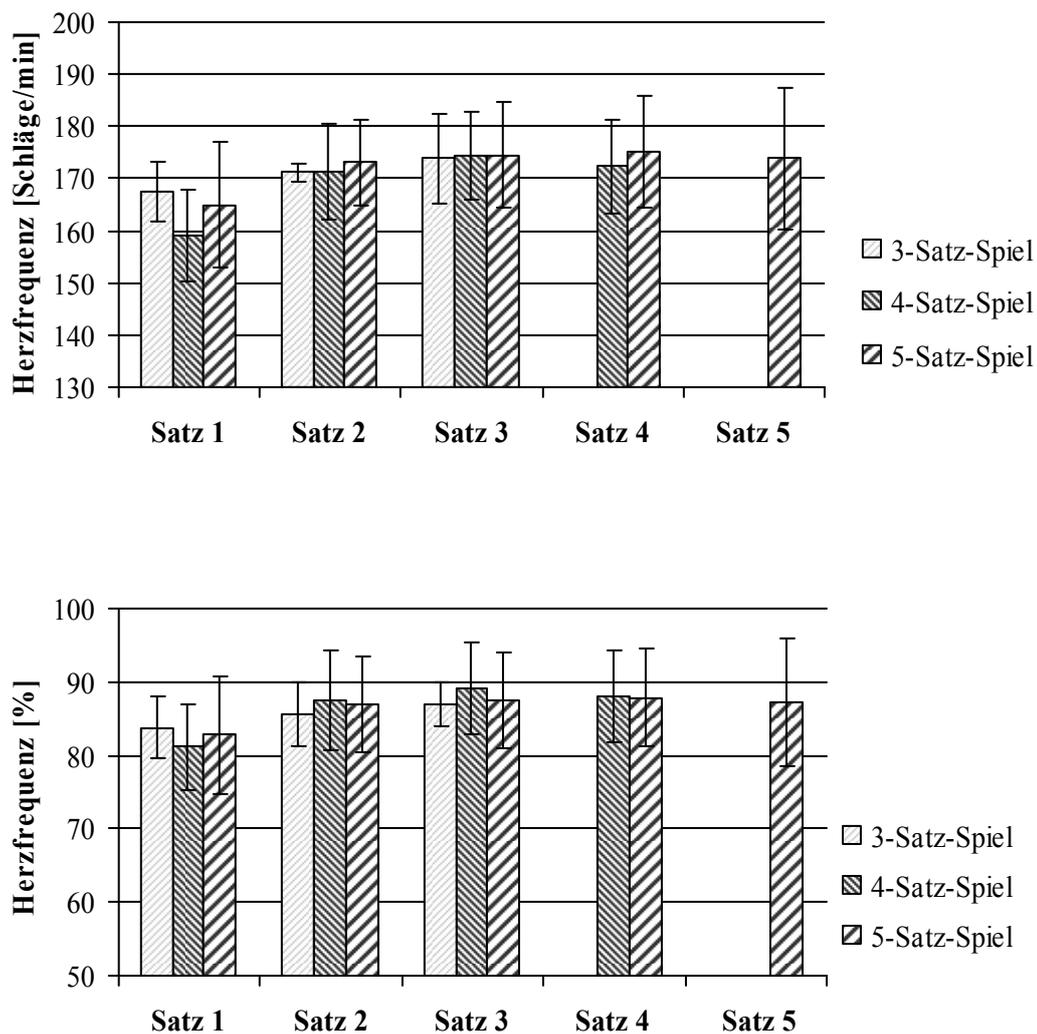


Abb. 22: oben: absolute Herzfrequenz im Spiel; unten: prozentuale Herzfrequenz von der maximalen Herzfrequenz, n = 5 für 3-Satz-Spiele, n = 11 für 4-Satz-Spiele, n = 6 für 5-Satz-Spiele

### 5.3.2.2 Pausenherzfrequenzen

Die Pausenherzfrequenz der 22 Spieler (Abb. 23) wurde am Ende der 90 Sekunden Pause zwischen den einzelnen Sätzen gemessen. Sie lag durchschnittlich um 44 Schläge/min niedriger als die durchschnittliche Herzfrequenz in den Sätzen (126 Schläge/min ( $\pm 9$  Schläge/min)). Dies entsprach 64 % ihrer maximalen Herzfrequenz. Sie stieg in den 3 Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spielen kontinuierlich an (Tab. 8). Nach dem jeweils ersten Satz betrug sie durchschnittlich 60 % der maximalen Herzfrequenz. Am Ende des Spiels lag sie bei durchschnittlich 66 % der maximalen Herzfrequenz. Die Differenz zwischen der

ersten Pause und der Pause vor dem letzten Satz war signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Anders als bei den Herzfrequenzen und der Sauerstoffaufnahme verlief der Anstieg der Pausenherzfrequenzen kontinuierlich.

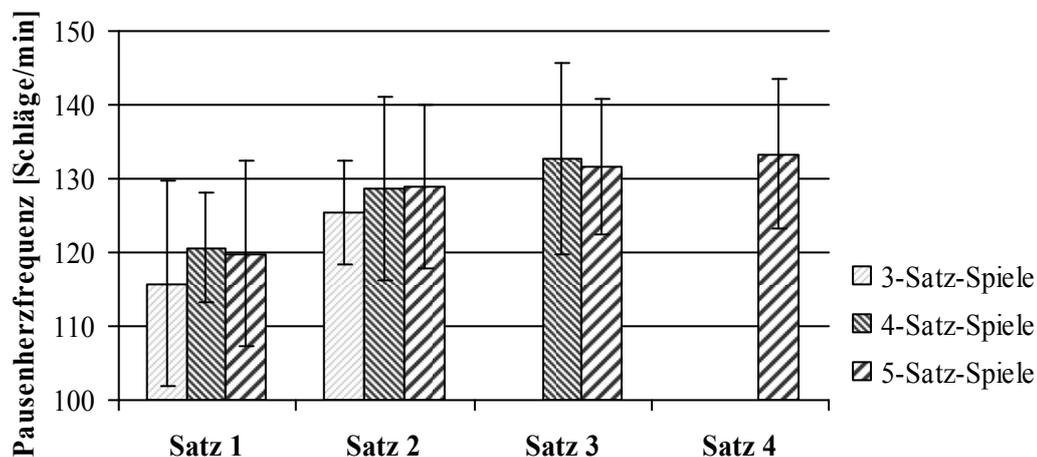


Abb. 23: Pausenherzfrequenz in den 3-Satz- 4-Satz- und 5-Satz-Spielen,  $n = 5$  für 3-Satz-Spiele,  $n = 11$  für 4-Satz-Spiele,  $n = 6$  für 5-Satz-Spiele

Tab. 8: Belastungsherzfrequenzen und Pausenherzfrequenzen in den einzelnen Sätzen

	Spiele	Herzfrequenz [Schläge/min]	Herzfrequenz [%]	Pausenherzfrequenz [Schläge/min]
1. Satz	3-Satz	$167 \pm 6$	$84 \pm 4$	$116 \pm 14$
	4-Satz	$159 \pm 9$	$81 \pm 6$	$121 \pm 7$
	5-Satz	$165 \pm 12$	$83 \pm 8$	$120 \pm 13$
2. Satz	3-Satz	$171 \pm 1$	$86 \pm 4$	$125 \pm 7$
	4-Satz	$171 \pm 9$	$88 \pm 7$	$129 \pm 12$
	5-Satz	$173 \pm 8$	$87 \pm 6$	$129 \pm 11$
3. Satz	3-Satz	$174 \pm 9$	$87 \pm 3$	
	4-Satz	$174 \pm 8$	$89 \pm 6$	$133 \pm 13$
	5-Satz	$174 \pm 10$	$88 \pm 6$	$132 \pm 9$
4. Satz	4-Satz	$172 \pm 9$	$88 \pm 6$	
	5-Satz	$175 \pm 11$	$88 \pm 7$	$133 \pm 10$
5. Satz	5-Satz	$174 \pm 14$	$87 \pm 9$	

3-Satz-Spiele  $n = 5$ ; 4-Satz-Spiele  $n = 11$ ; 5-Satz-Spiele  $n = 6$

### 5.3.3 Blutlaktatwert im Spiel

Die Blutlaktatwerte der 22 Spieler wurden nach dem Aufwärmen direkt vor dem Spiel und in den 90 Sekunden Pause nach jedem einzelnen Satz bestimmt. Die Blutlaktatwerte nach dem Aufwärmen lagen durchschnittlich bei 1,21 mmol/l ( $\pm 0,40$  mmol/l). Der höchste Wert betrug 2,05 mmol/l. Über die Dauer des ganzen Spieles hinweg ergab sich ein durchschnittlicher Blutlaktatwert von 3,64 mmol/l ( $\pm 1,8$  mmol/l). Der minimale Blutlaktatwert eines Spielers, betrug 1,05 mmol/l. Maximal wurden bei einem Spieler 7,22 mmol/l gemessen. Bei Spielern mit höheren Blutlaktatwerten kam es häufig zu einem Laktatplateau (Abb. 24).

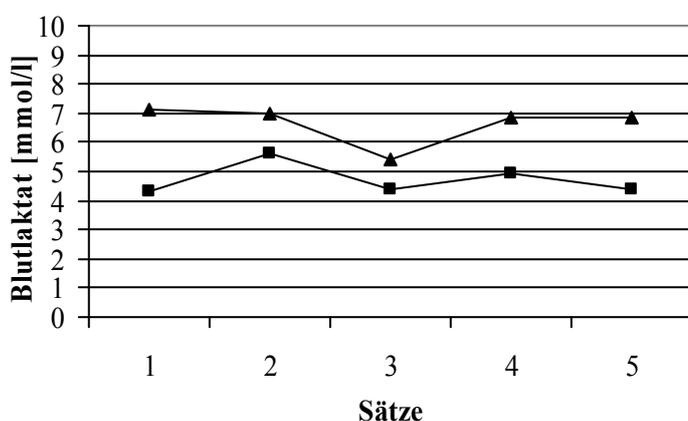


Abb. 24: Beispiel eines Laktatplateaus; Blutlaktatwerte von zwei 5-Satz-Spielen, entnommen jeweils am Satzende

Der in der Laufbandspiroergometrie ermittelte durchschnittliche Blutlaktatwert an der individuellen anaeroben Schwelle betrug 3,55 mmol/l ( $\pm 0,46$  mmol/l). Bei 10 Spielern wurde ein durchschnittlicher Blutlaktatwert gemessen, der über dem ihrer individuellen anaeroben Schwelle lag (Abb. 25).

Für die 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele zusammengefasst war die Differenz des Anstiegs zwischen dem ersten und letzten Satz signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Die Blutlaktatwerte stiegen jedoch nicht kontinuierlich an und die Schwankungen waren gering.

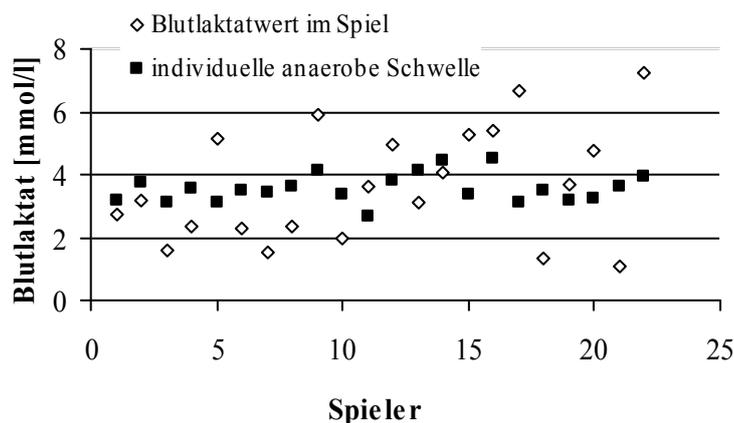


Abb. 25: Durchschnittlicher Blutlaktatwert der einzelnen Spieler im Spiel im Vergleich zu ihrem Blutlaktatwert an der individuellen anaeroben Schwelle,  $n = 22$

Betrachtet man die 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele getrennt voneinander, (Abb. 26) waren die durchschnittlichen Blutlaktatwerte in den 3-Satz-Spielen am niedrigsten (3,02 mmol/l) und in den 5-Satz-Spielen am höchsten (4,2 mmol/l). In den 3-Satz-Spielen stiegen die Blutlaktatwerte vom ersten bis zum dritten Satz leicht an (+ 0,25 mmol/l). Bei den 4-Satz-Spielen wurden die höchsten Blutlaktatwerte im 2. Satz gemessen. In den 5-Satz-Spielen wurden ebenfalls im 2. Satz hohe Blutlaktatwerte gemessen, die höchsten allerdings im 5. Satz.

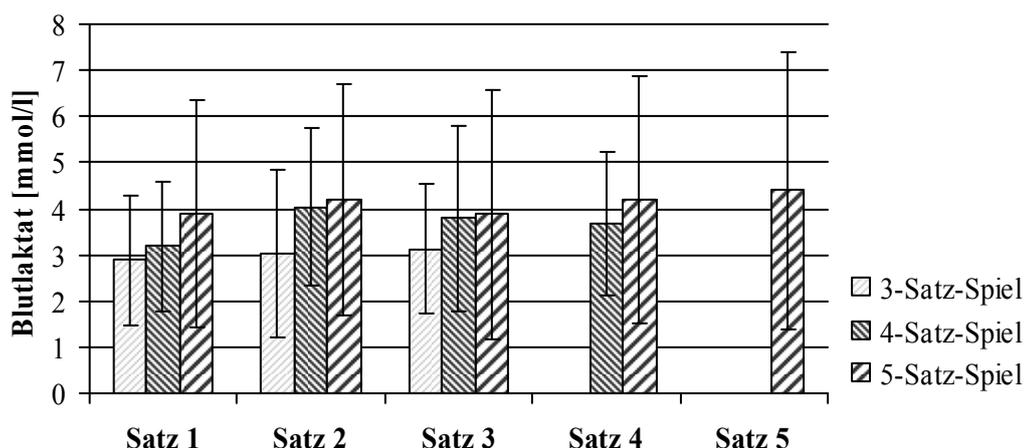


Abb. 26: Blutlaktatwerte nach den einzelnen Sätzen der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele,  $n = 5$  für 3-Satz-Spiele,  $n = 11$  für 4-Satz-Spiele,  $n = 6$  für 5-Satz-Spiele

Tab. 9: Blutlaktatwerte nach den einzelnen Sätzen, 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele, n = 5 für 3 Satz-Spiele, n = 11 für 4-Satz-Spiele, n = 6 für 5-Satz-Spiele

Blutlaktat [mmol/l]					
Spiele	1. Satz	2. Satz	3. Satz	4. Satz	5. Satz
3-Satz	2,88 ± 1,41	3,03 ± 1,82	3,13 ± 1,38		
4-Satz	3,18 ± 1,44	4,04 ± 1,73	3,85 ± 1,97	3,63 ± 1,57	
5-Satz	3,89 ± 2,46	4,2 ± 2,45	3,89 ± 2,71	4,20 ± 2,69	4,39 ± 3,03

Die durchschnittlichen gemessenen Blutlaktatwerte im Spiel standen in einem signifikant positiven Zusammenhang ( $p \leq 0,01$ ) mit den durchschnittlich gemessenen Herzfrequenzen und Pausenherzfrequenzen (Abb. 11). Je höher die Blutlaktatwerte ausfielen, desto höher waren die Herzfrequenzen im Spiel ( $r = 0,54$ ) und auch die Pausenherzfrequenzen ( $r = 0,62$ ).

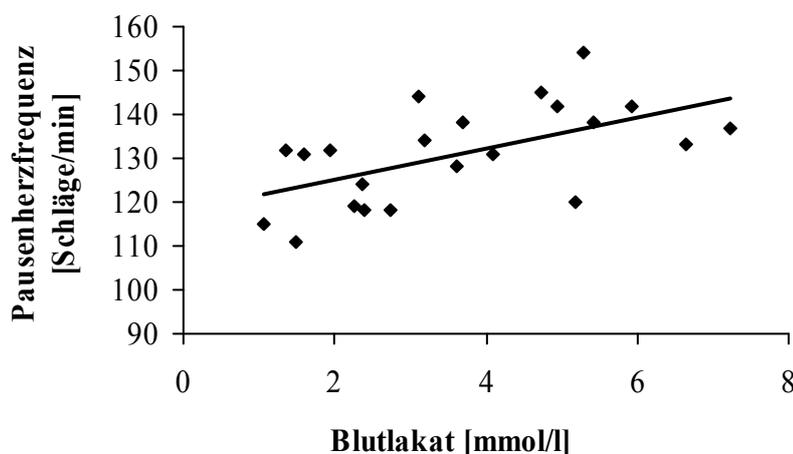


Abb. 27: Zusammenhang zwischen Pausenherzfrequenz der Probanden ( $n = 22$ ) vor dem letzten Satz und durchschnittlicher Blutlaktatkonzentration im Spiel. Der Zusammenhang war signifikant. Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $p \leq 0,05$ ,  $r = 0,62$ )

### 5.3.4 Einfluss der Sauerstoffaufnahmefähigkeit auf die Spielstärke

Die Probanden wurden mit Hilfe eines Expertenratings in 6 verschiedene Leistungsgruppen eingeteilt. Um den Einfluss der im Labor gemessenen Parameter auf die Spielstärke zu testen, wurde eine Ordinale Regression durchgeführt.

Zunächst wurden die Zusammenhänge zwischen der Leistungsstärke der Spieler im Badminton und der im Labor gemessenen Parameter, relative maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit und relative Sauerstoffaufnahme-fähigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle, untersucht (Tab. 10). Die beiden Parameter wurden anschließend einer Ordinalen Regression unterzogen, um ihren Einfluss auf die Spielstärke zu testen.

Die relative maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit ( $p \leq 0,05$ ) und die relative Sauerstoffaufnahme-fähigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle ( $p \leq 0,01$ ) erwiesen sich dabei als signifikant. Die Vorhersagevariable, in welcher Leistungsgruppe sich ein Spieler auf Grund seiner aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit befindet, wich nur bei 4 von 22 Probanden um mehr als zwei Gruppen vom Ranking ab. Leistungsstärkere Spieler hatten eine höhere maximale Sauerstoffaufnahme und eine höhere Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle (Abb. 28).

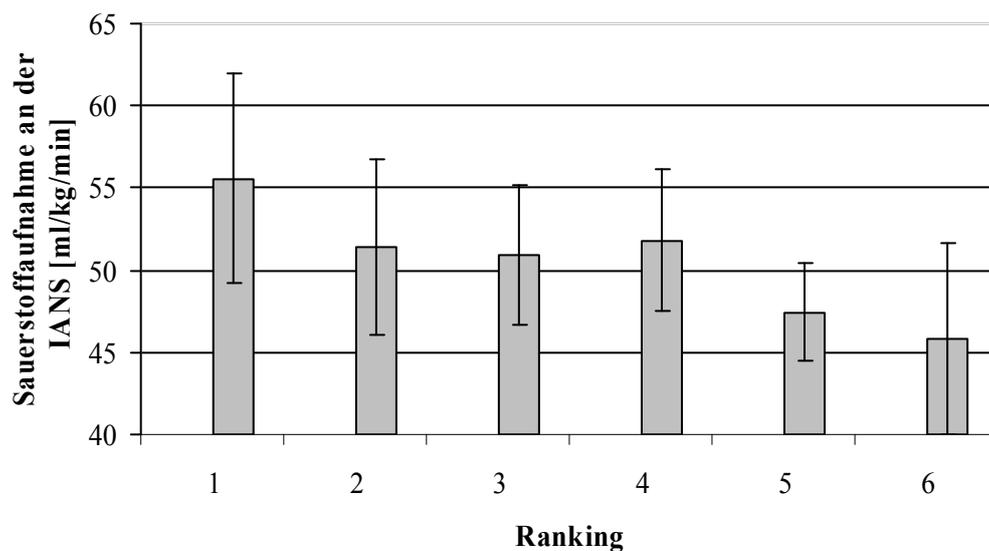


Abb. 28: Die durchschnittliche relative Sauerstoffaufnahme der einzelnen Leistungsklassen (Ranking) an der individuellen anaeroben Schwelle (n = 22)

Tab. 10: Zusammenhang zwischen den im Labor gemessenen Parametern relative maximale Sauerstoffaufnahme sowie der Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle und der Spielstärke (Ranking),  $n = 22$ , Korrelationskoeffizient nach Spearman, Signifikanz: \* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$

	rel. max $\text{VO}_2$	rel. $\text{VO}_2$ an der individuellen anaeroben Schwelle
Ranking	0,38*	0,47**

Von besonderem Interesse war, ob zwischen Sauerstoffverbrauch im Spiel und Sauerstoffaufnahme der Spieler Zusammenhänge vorlagen. Der stärkste positive Zusammenhang ( $p \leq 0,05$ ) war zwischen der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme der Spieler während des Spieles und der relativen Sauerstoffaufnahme der Spieler an ihrer individuellen anaeroben Schwelle festzustellen (Abb. 29). Je höher die Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle war, desto höher war die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme im Spiel ( $r = 0,60$ ).

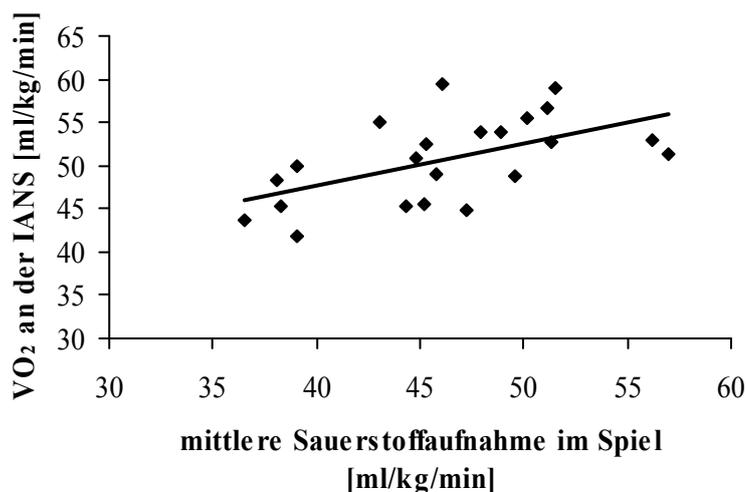


Abb. 29: Zusammenhang zwischen Sauerstoffaufnahme der Probanden ( $n=22$ ) an der individuellen anaeroben Schwelle und durchschnittlicher Sauerstoffaufnahme im Spiel. Der Zusammenhang war signifikant. Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,60$ ,  $p \leq 0,05$ )

Die ergometrisch ermittelte maximale Sauerstoffaufnahme stand in keinem weiteren sicheren Zusammenhang mit den durchschnittlichen Herzfrequenzen und durchschnittlichen Blutlaktatwerten im Spiel. Ein schwacher, aber nicht signifikanter negativer Zusammenhang, ergab sich zwischen der ergometrisch ermittelten maximalen Sauerstoffaufnahme der Spieler und der durchschnittlichen Blutlaktatkonzentration, die im

Spiel erreicht wurde ( $r = -0,40$ ), (Abb. 30). Je höher die im Leistungstest ermittelte maximale Sauerstoffaufnahme war, desto geringer fielen die durchschnittlichen Blutlaktatwerte im Spiel aus.

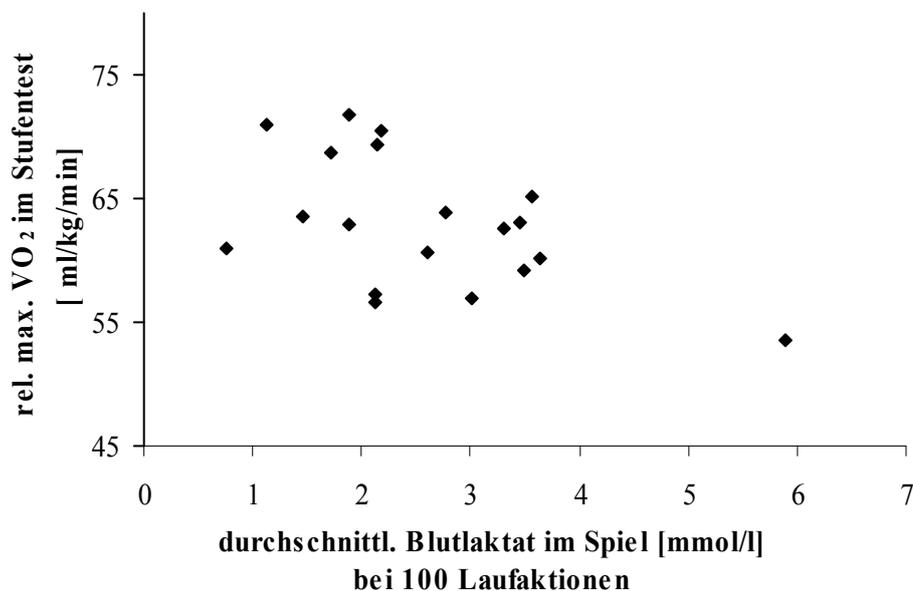


Abb. 30: Stufenenergetrisch ermittelte relative maximale Sauerstoffaufnahme in Zusammenhang mit durchschnittlichen Blutlaktatwerten im Spiel bei 100 Laufaktionen ( $n = 22$ ); Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = -0,4$ )

### 5.3.5 Einzelfallanalyse

Eine Analyse von 5 Spielen eines Spielers (22 Jahre, 178 cm, 76,3 kg), der gegen verschiedene Gegner gespielt hat, sollte orientierend Aufschluss über die unterschiedliche kardiale und metabolische Beanspruchung in Abhängigkeit vom Gegner geben.

Die Laufbandspiroergometrie ergab eine gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit des Spielers. Er erreichte eine maximale Geschwindigkeit von 16,7 km/h, wobei seine maximale relative Sauerstoffaufnahme 63,8 ml/kg/min betrug und seine maximale Herzfrequenz 186 Schläge/min. An seiner individuellen anaeroben Schwelle, die bei 3,09 mmol/l Blutlaktat lag, hatte der Spieler eine relative Sauerstoffaufnahme von 55,4 ml/kg/min und eine Herzfrequenz von 166 Schläge/min.

2 der 5 Spiele wurden in 3 Sätzen, 1 Spiel in 4 Sätzen und zwei Spiele in 5 Sätzen entschieden. Der Spieler gewann ein 3-Satz-Spiel, das 4-Satz-Spiel und ein 5-Satz-Spiel.

Die beim Spiel gemessenen Blutlaktatwerte und Herzfrequenzen zeigten keinen einheitlichen Verlauf. Sie differierten sowohl von Satz zu Satz innerhalb eines Spieles als auch zwischen den einzelnen Spielen (Abb. 31).

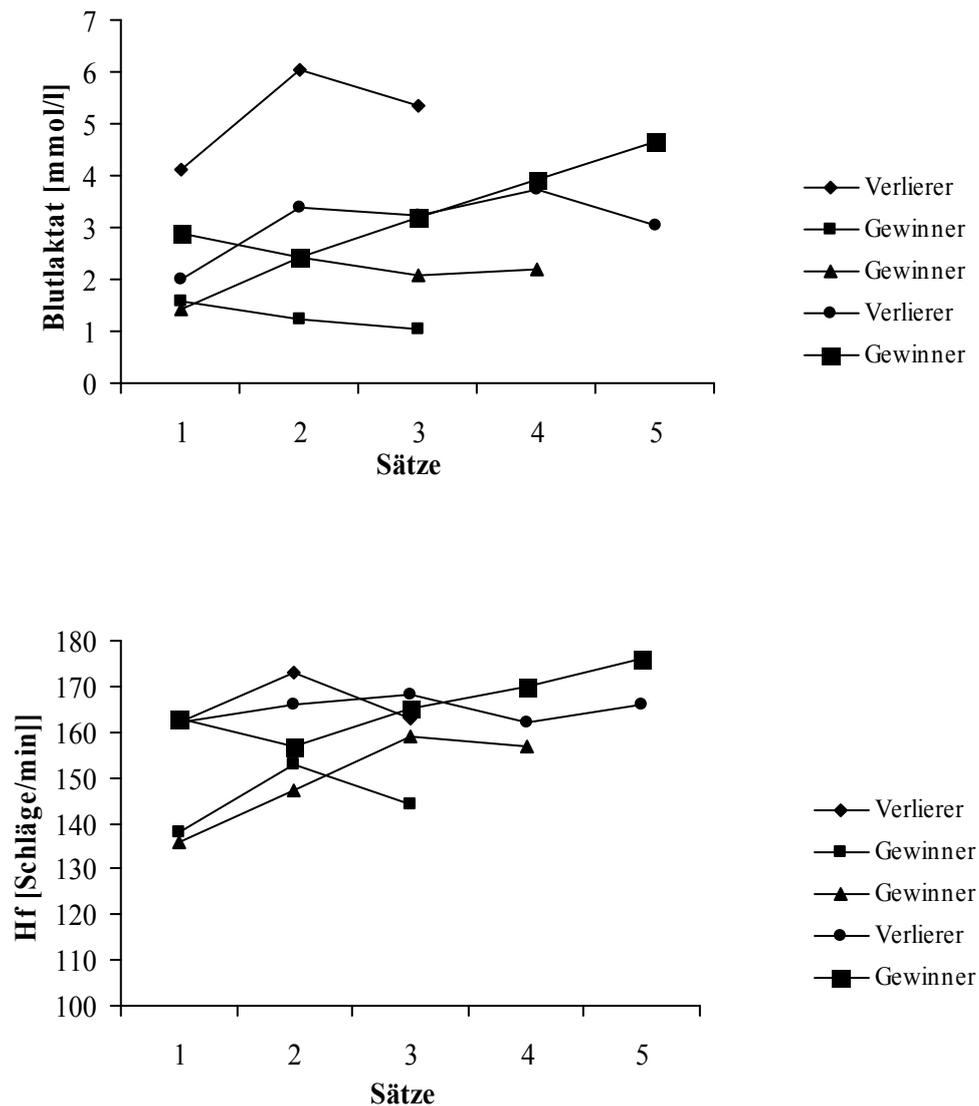


Abb. 31: oben: Blutlaktatwerte der 5 Spiele nach den einzelnen Sätzen; unten: durchschnittliche Herzfrequenzen der 5 Spiele während der einzelnen Sätze

In 5 Spielen hatte der Spieler einen durchschnittlichen Blutlaktatwert von 3,12 mmol/l. Die Herzfrequenz betrug 161 Schläge/min. Seinen maximalen Blutlaktatwert erreichte er in

einem 3-Satz-Spiel im 2. Satz mit 6,04 mmol/l. Minimal hatte er ebenfalls in einem 3-Satz-Spiel im 3. Satz einen Blutlaktatwert von 1,03 mmol/l. Die Herzfrequenz variierte von durchschnittlich 136 Schläge/min in einem 1. Satz bis 176 Schläge/min in einem 5. Satz.

Bei den gewonnenen 3-Satz- und 4-Satz-Spielen waren die Blutlaktatwerte niedrig (2,03 bzw. 1,28 mmol/l). In dem 3-Satz-Spiel, das der Spieler verloren hatte, war der durchschnittliche Blutlaktatwert (5,17 mmol/l) deutlich höher. In den beiden 5-Satz-Spielen, von dem eines gewonnen und eines verloren wurde, waren die Blutlaktatwerte im Bereich der individuellen anaeroben Schwelle (3,07 mmol/l bzw. 3,42 mmol/l). Die Tendenz, dass Verlierer und Gewinner von 5-Satz-Spielen Laktatwerte im Bereich der anaeroben Schwelle haben, bestätigte sich bei der Gegenüberstellung von Gewinner und Verlierer im nächsten Kapitel. Die Herzfrequenzen verhielten sich analog zu den Blutlaktatwerten.

### 5.3.6 Gewinner und Verlierer

Von Interesse war, ob sich die kardiale und metabolische Beanspruchung von Gewinner und Verlierer unterscheidet und ob sich Unterschiede zwischen den 3-Satz-, 4-Satz- und 5 Satz-Spielen ergeben. In 35 Einzelbegegnungen wurden über die Dauer des ganzen Spieles bei beiden Spielern die Herzfrequenz aufgezeichnet und nach jedem Satz Kapillarblut zur Bestimmung der Blutlaktatwerte entnommen. Sieben Spiele wurden in 3 Sätzen entschieden, 15 Spiele in 4 Sätzen und 13 Spiele dauerten 5 Sätze lang. In den 3-Satz- und 4-Satz-Spielen war die durchschnittliche kardiale und metabolische Beanspruchung der Verlierer höher als die der Gewinner.

Die Gewinner hatten in den 3-Satz- und 4-Satz-Spielen in allen Sätzen sowohl niedrigere Laktatwerte als auch niedrigere Belastungsherzfrequenzen und Pausenherzfrequenzen. Die Differenzen der Blutlaktatwerte der 3-Satz-Spiele in den ersten beiden Sätzen waren signifikant ( $p \leq 0,05$ ) und die der 4-Satz-Spiele in den letzten drei Sätzen. Die Belastungsherzfrequenzen unterschieden sich nur um wenige Schläge und waren in keinem Fall signifikant verschieden. Signifikante Messwertunterschiede zwischen Gewinner und Verlierer ergaben sich bei den Pausenherzfrequenzen bei den 3-Satz-Spielen nach dem 1. Satz ( $p \leq 0,05$ ) und bei den 4-Satz-Spielen nach dem 2. Satz. In den 5-Satz-Spielen hingegen war die Beanspruchung für beide Spieler annähernd gleich groß (Abb. 32, Abb. 33, Abb. 34). Die Beanspruchung für Verlierer und Gewinner der 5-Satz-Spiele lag im Bereich der anaeroben Schwelle. Die Gewinner der 3-Satz- und 4-Satz-Spiele hatten eine kardiale und metabolische Beanspruchung im Bereich der aeroben Schwelle (Tab. 11). In den 5 Satz-Spielen lagen die durchschnittlichen Herzfrequenzen und Blutlaktatwerte von Verlierer und Gewinner in allen 5 Sätzen nahe beieinander. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 11: Kardiale und metabolische Parameter von Gewinnern und Verlierern für 3-Satz-, 4 Satz- und 5-Satz-Spiele; U-Test von Mann-Whitney (\* =  $p \leq 0,05$ )

3-Satz Spiele (n = 5)				
		Herzfrequenz [Schläge/min]	Ruheherzfrequenz [Schläge/min]	Blutlaktat [mmol/l]
1. Satz	Gewinner	161 ± 15	109 ± 10*	2,17 ± 0,88*
	Verlierer	166 ± 7	121 ± 14	3,47 ± 1,30
2. Satz	Gewinner	165 ± 10	122 ± 11	2,03 ± 0,63*
	Verlierer	172 ± 5	123 ± 11	3,10 ± 1,37
3. Satz	Gewinner	165 ± 13		2,28 ± 0,73
	Verlierer	171 ± 8		2,90 ± 1,39
4-Satz Spiele (n = 11)				
		Herzfrequenz [Schläge/min]	Ruheherzfrequenz [Schläge/min]	Blutlaktat [mmol/l]
1. Satz	Gewinner	160 ± 14	113 ± 15	2,15 ± 0,94
	Verlierer	161 ± 9	119 ± 9	3,03 ± 1,44
2. Satz	Gewinner	167 ± 13	120 ± 10*	2,25 ± 0,95*
	Verlierer	170 ± 8	129 ± 12	3,72 ± 1,63
3. Satz	Gewinner	170 ± 12	122 ± 17	2,33 ± 1,14*
	Verlierer	173 ± 8	131 ± 15	4,00 ± 1,89
4. Satz	Gewinner	168 ± 12		2,43 ± 1,17*
	Verlierer	171 ± 8		4,02 ± 2,03
5-Satz Spiele (n = 6)				
		Herzfrequenz [Schläge/min]	Ruheherzfrequenz [Schläge/min]	Blutlaktat [mmol/l]
1. Satz	Gewinner	165 ± 8	118 ± 8	3,32 ± 1,97
	Verlierer	168 ± 9	122 ± 11	3,39 ± 2,14
2. Satz	Gewinner	168 ± 9	125 ± 14	3,30 ± 1,80
	Verlierer	168 ± 11	122 ± 6	3,35 ± 1,88
3. Satz	Gewinner	171 ± 8	126 ± 10	3,30 ± 1,94
	Verlierer	171 ± 8	125 ± 11	3,38 ± 2,08
4. Satz	Gewinner	174 ± 7	131 ± 9	3,86 ± 1,87
	Verlierer	177 ± 9	129 ± 9	4,24 ± 2,05
5. Satz	Gewinner	174 ± 9		3,69 ± 1,96
	Verlierer	175 ± 10		3,80 ± 2,08

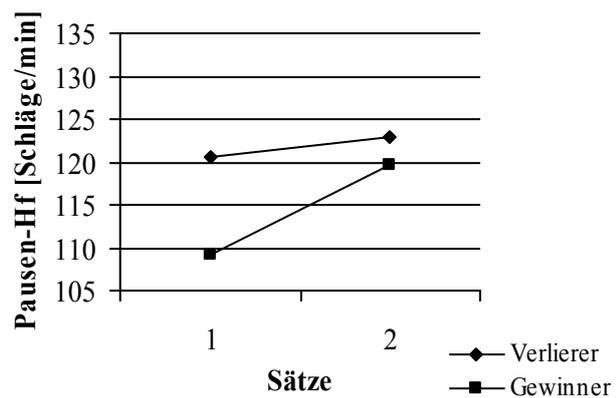
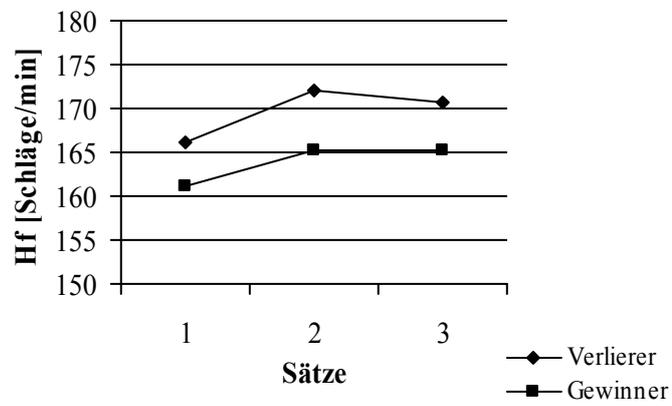
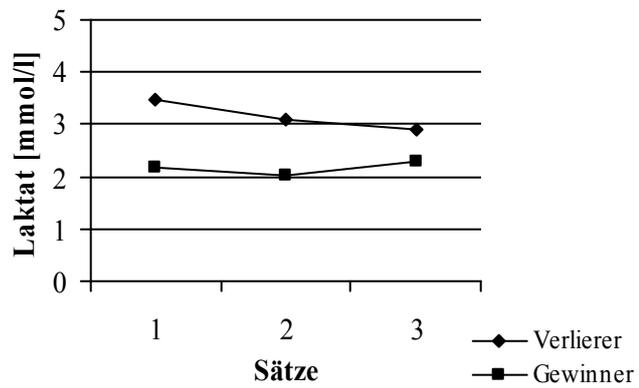


Abb. 32: Mittelwerte von Blutlaktat nach den Sätzen, Herzfrequenzen während den Sätzen und Pausenherzfrequenzen in 3-Satz-Spielen bei Verlierern und Gewinnern (n = 7 für Gewinner; n = 7 für Verlierer)

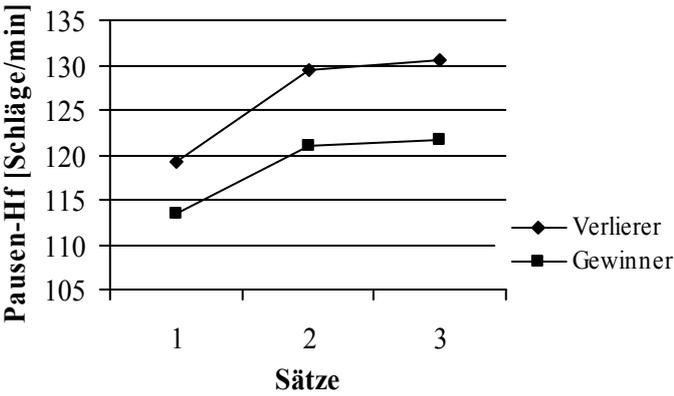
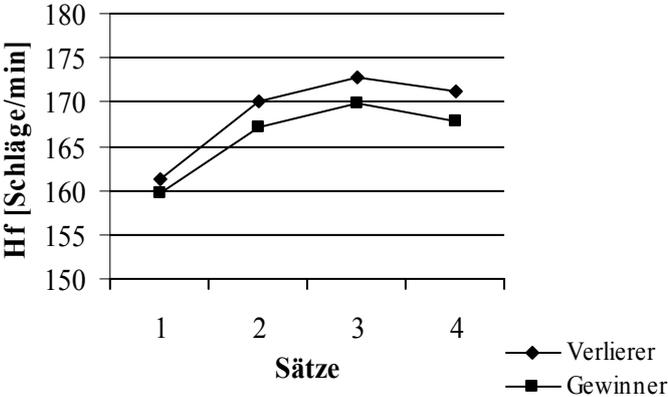
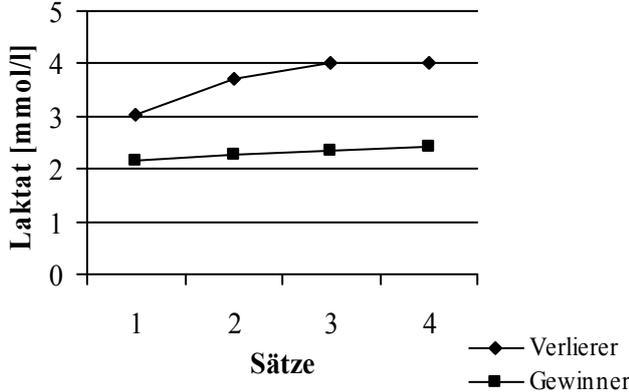


Abb. 33: Mittelwerte von Blutlaktat nach den Sätzen, Herzfrequenzen während den Sätzen und Pausenherzfrequenzen in 4-Satz-Spielen bei Verlierern und Gewinnern; (n = 15 für Gewinner, n = 15 für Verlierer)

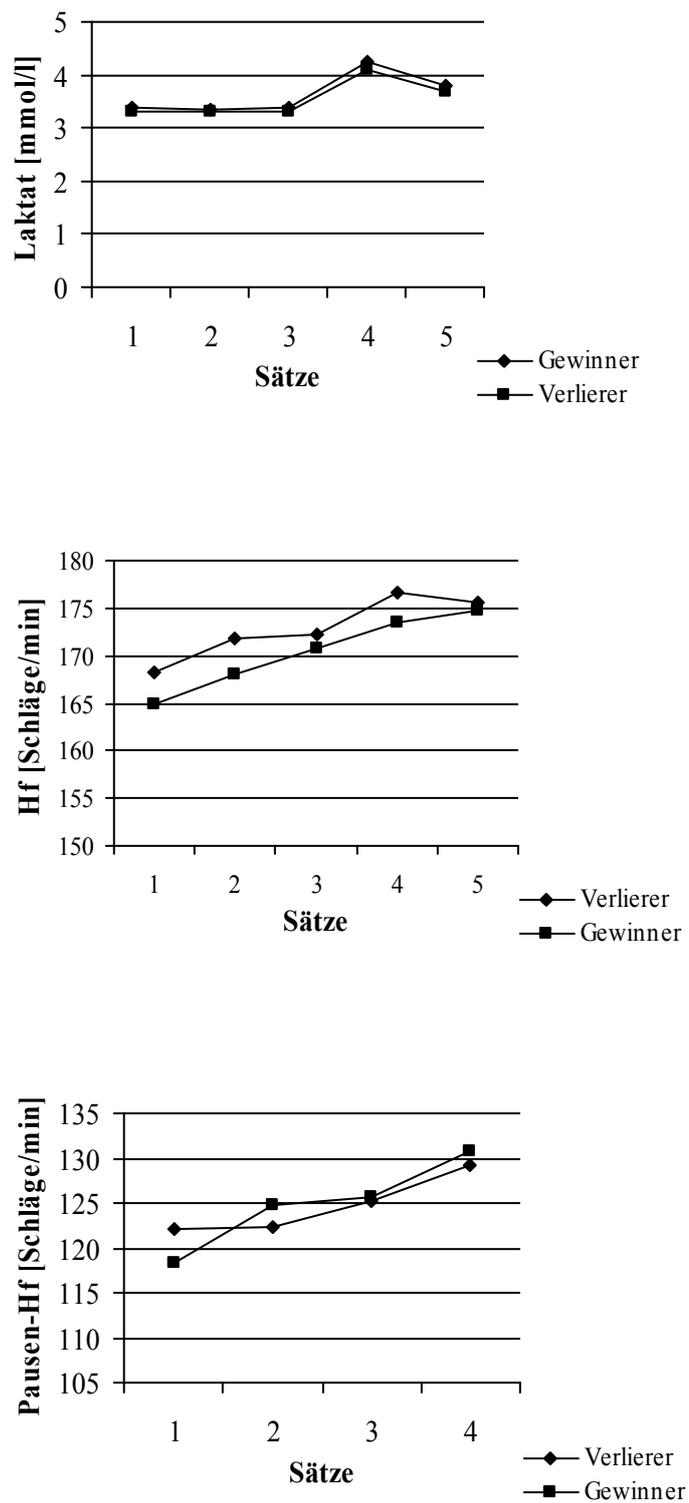


Abb. 34: Mittelwerte von Blutlaktat nach den Sätzen, Herzfrequenzen während den Sätzen und Pausenherzfrequenzen in 5-Satz-Spielen bei Verlierern und Gewinnern; (n = 13 für Gewinner, n = 13 für Verlierer)

## 5.4 Intervallförmige Belastung im Spiel

Das intervallförmige Belastungsprofil von Ballwechsel zu dazwischen liegenden Pausen wurde bei 22 Spielen analysiert. Der Charakter der intervallförmigen Belastung wurde im Verlauf des ganzen Spieles beobachtet. Von besonderem Interesse war die Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen dem intervallförmigen Belastungsprofil und der körperlichen Beanspruchung gibt, und ob die Spieler auf das Verhältnis von Ballwechseln zu dazwischen liegenden Pausen Einfluss nehmen.

Alle Spiele ( $n = 22$ ) wurden mit einer Videokamera aufgenommen und ausgewertet. Im Rahmen der Auswertung wurde die Gesamtspielzeit der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz- Spiele ermittelt. In den einzelnen Sätzen wurde die Dauer der Ballwechsel und der Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln bestimmt. Um eine Aussage über die Schnelligkeit in den einzelnen Ballwechseln machen zu können, wurde die Anzahl der Ballkontakte pro Ballwechsel gezählt. Bei der Auswahl der Gegner wurde darauf geachtet, dass möglichst gleichstarke Spieler gegeneinander spielten. Es wurden 6 Spiele in 5 Sätzen entschieden, 11 Spiele in 4 Sätzen und 5 Spiele in 3 Sätzen.

### 5.4.1 Dauer der Spiele und Sätze

Die 3-Satz-Spiele waren ohne die 90 Sekunden Pausen durchschnittlich am kürzesten (14 min ( $\pm 3,5$  min)). Die 4-Satz-Spiele dauerten durchschnittlich 19,6 min ( $\pm 3,4$  min). Die 5-Satz-Spiele waren mit durchschnittlich 25 min ( $\pm 2,8$  min) am längsten (Tab. 12).

Bei den 5-Satz-Spielen wurden auch mit durchschnittlich 5 min ( $\pm 0,6$  min) die längsten Sätze gespielt. Am kürzesten waren die Sätze der 3-Satz-Spiele mit durchschnittlich 4,7 min ( $\pm 1,2$  min). Der längste Satz, der gespielt wurde, dauerte 11 Minuten, der kürzeste Satz 1,8 Minuten. Die Differenzen zwischen der Dauer der Sätze der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele waren nicht signifikant.

Tab. 12: Dauer der einzelnen Sätze der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele in Sekunden [s]

Dauer eines Satzes [s]					
	1. Satz	2. Satz	3. Satz	4. Satz	5. Satz
3-Satz-Spiele	298 ± 68	234 ± 80	306 ± 200		
4-Satz-Spiele	257 ± 108	339 ± 71	271 ± 87	307 ± 138	
5-Satz-Spiele	310 ± 59	270 ± 125	292 ± 79	296 ± 111	333 ± 203

#### 5.4.2 Dauer und Häufigkeitsverteilung der Ballwechsel

In einem Spiel wurden durchschnittlich 84 Ballwechsel ( $\pm 22$  Ballwechsel) gespielt. Die größte Anzahl an Ballwechseln wurde in einem 5-Satz-Spiel gespielt (129). Minimal wurden 44 Ballwechsel pro Spiel gespielt.

Ein Ballwechsel dauerte durchschnittlich 5,1 s ( $\pm 3,4$  s). Der längste Ballwechsel war 30 Sekunden lang. Betrachtet man die 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele getrennt voneinander (Tab. 13), dauerten die Ballwechsel in den 3-Satz- und 5-Satz-Spielen durchschnittlich länger als 5 Sekunden (5,3 s, 5,4 s). Die Ballwechsel der 4-Satz-Spiele waren am kürzesten (4,9 s). Die Differenzen zwischen der Dauer der Ballwechsel der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele waren nicht signifikant.

Tab. 13: Dauer der Ballwechsel der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele

Dauer eines Ballwechsels [s]					
	1. Satz	2. Satz	3. Satz	4. Satz	5. Satz
3-Satz-Spiele	5,3 ± 0,5	5,2 ± 0,4	5,4 ± 1,3		
4-Satz-Spiele	4,7 ± 0,7	5,4 ± 1,0	4,9 ± 0,5	4,5 ± 0,6	
5-Satz-Spiele	5,4 ± 1,4	6,2 ± 1,5	5,2 ± 1,0	5,0 ± 0,6	5,4 ± 1,2

Bei der Häufigkeitsverteilung der Dauer aller Ballwechsel ergab sich folgendes Bild (Abb. 35). Am häufigsten wurden Ballwechsel gespielt, die 2-4 Sekunden dauerten (49 %). 86 % der Ballwechsel waren 1-8 Sekunden lang. 11% dauerten zwischen 9 und 13 Sekunden, und 3% der Ballwechsel waren länger als 14 Sekunden (Abb. 36).

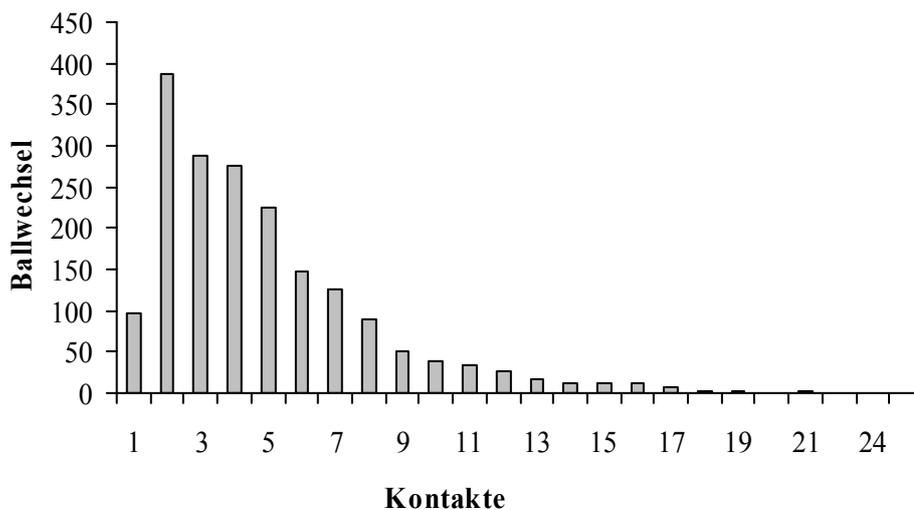


Abb. 35: Häufigkeitsverteilung der Dauer der Ballwechsel aller Spiele , n = 1858

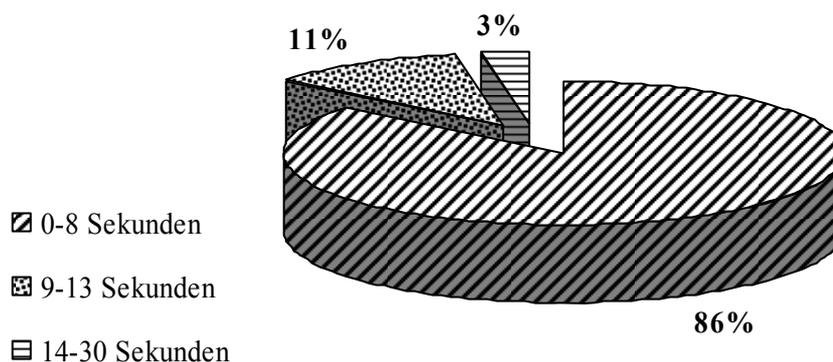


Abb. 36: Prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Dauer aller Ballwechsel. Ballwechsel die bis 8 Sekunden dauern kommen am häufigsten vor.

### 5.4.3 Dauer und Häufigkeitsverteilung der Pausen

Die Pausen zwischen den Ballwechseln betragen durchschnittlich 8,4 s ( $\pm 2,8$  s). Die längste Pause in einem Ballwechsel dauerte 36 Sekunden. In den 3-Satz-, 4-Satz- und 5 Satz-Spielen nahm die durchschnittliche Dauer der Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln kontinuierlich zu (Tab. 14). Die Differenz zwischen dem ersten und letzten Satz für alle Spiele zusammen stieg signifikant an ( $p \leq 0,05$  s).

Tab. 14: Dauer der durchschnittlichen Pausen zwischen den Ballwechseln der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele

Dauer der Pause zwischen zwei Ballwechseln [s]					
	1. Satz	2. Satz	3. Satz	4. Satz	5. Satz
3-Satz-Spiele	7,6 ± 0,8	8,3 ± 1,2	9,1 ± 1,7		
4-Satz-Spiele	7,7 ± 0,8	8,1 ± 0,9	8,4 ± 1,0	8,7 ± 0,8	
5-Satz-Spiele	8,1 ± 7,6	8,4 ± 1,1	8,8 ± 1,5	8,6 ± 1,9	9,3 ± 1,9

Die Betrachtung der Häufigkeitsverteilung unterschiedlich lang dauernder Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln ergab, dass 71 % aller Pausen zwischen 6 und 9 Sekunden dauerten (Abb. 37).

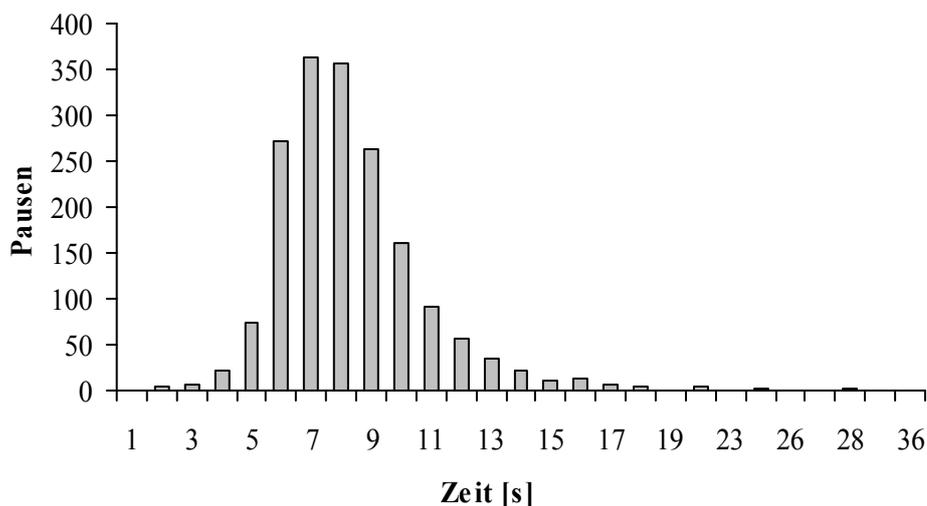


Abb. 37: Häufigkeitsverteilung unterschiedlich lang dauernder Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln, n = 1778

Die Pausendauer war abhängig von der Länge der Ballwechsel (Abb. 38). Bei einer Unterteilung der Ballwechsel, in Ballwechsel die 8 Sekunden und kürzer dauerten, und Ballwechsel die länger als 8 Sekunden dauerten, betrug die durchschnittliche Pausendauer bei den kürzeren Ballwechseln 8,2 s ( $\pm 0,97$  s) und bei den Ballwechseln die länger als 8 Sekunden dauerten 9,2 s ( $\pm 1,3$  s). Die Differenz zwischen der Dauer der Pausen war signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

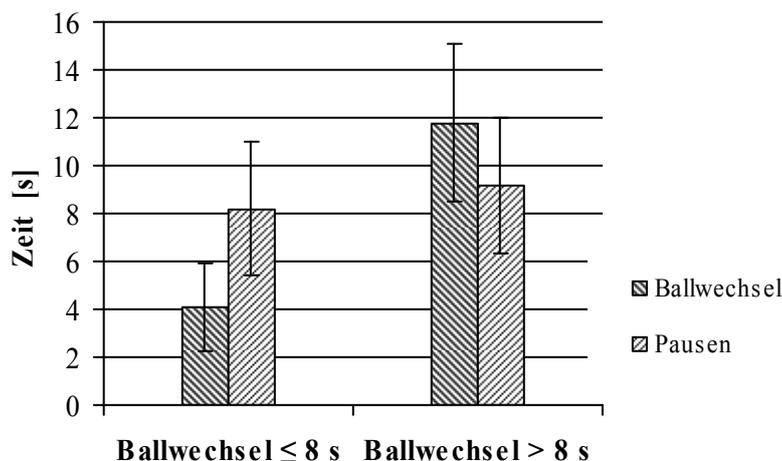


Abb. 38: Pausendauer bei Ballwechseln, die bis 8 Sekunden dauerten und Ballwechseln, die länger als 8 Sekunden dauerten für  $n = 22$ . Bei Ballwechseln, die länger als 8 Sekunden dauerten, verlängerte sich die anschließende Pause. U-Test von Mann-Whitney ( $p \leq 0,05$ )

#### 5.4.4 Effektive Spielzeit

Die effektive Spielzeit (Abb. 39), die als Summe der Ballwechsel ohne Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln definiert ist, war für alle Spiele zusammen durchschnittlich 39 % der Gesamtspielzeit. Sie unterschied sich in den 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spielen nur wenig (40 %; 39 %; 40 %). Die Abnahme der effektiven Spielzeit vom ersten zum letzten Satz ( $n = 22$ ) war signifikant ( $p < 0,01$ ).

Sie nahm in den 3-Satz-Spielen von 42 % im 1. Satz auf 37 % im 3. Satz ab. Bei den 4 Satz-Spielen war die effektive Spielzeit im 2. Satz mit 42 % am höchsten und nahm bis zum 4. Satz auf 36 % ab. Bei den 5-Satz Spielen war die effektive Spielzeit im 2. und 4. Satz am höchsten (43 %, 42 %).

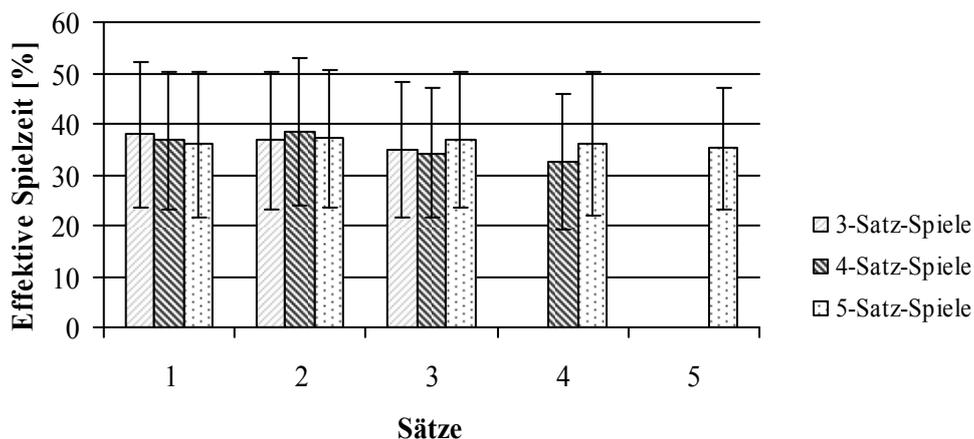


Abb. 39: Prozentuale effektive Spielzeit der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele in den einzelnen Sätzen

#### 5.4.5 Dauer und Häufigkeitsverteilung der Kontakte

Durchschnittlich kam es zu 4,9 Ballkontakten ( $\pm 3,4$  Ballkontakte) in einem Ballwechsel. Maximal wurde ein Ball in einem Ballwechsel 29mal getroffen. Die Schlagfrequenz, die sich aus Kontakten pro Dauer eines Ballwechsels ergab, betrug durchschnittlich 0,95 Schläge/s.

Betrachtet man die 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele getrennt voneinander (Tab. 15), ergab sich der gleiche Verlauf wie für die Dauer der Ballwechsel. In den 4-Satz- und 5-Satz-Spielen kam es jeweils im 2. Satz zu den meisten Kontakten pro Ballwechsel. Die Differenzen zwischen der Anzahl der Kontakte pro Ballwechsel der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele waren nicht signifikant. Am häufigsten wurden Ballwechsel gespielt, in denen es nur 2 Kontakte (20,8 %) gab (Abb. 40). In 23,8 % aller Ballwechsel kam es zu 7 und mehr Kontakten in einem Ballwechsel.

Tab. 15: Anzahl der Ballkontakte der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele

Kontakte in einem Ballwechsesl					
	1. Satz	2. Satz	3. Satz	4. Satz	5. Satz
3-Satz-Spiele	4,7 ± 0,6	5,1 ± 0,4	5,3 ± 1,1		
4-Satz-Spiele	4,4 ± 0,5	5,1 ± 0,9	5,0 ± 0,3	4,4 ± 0,6	
5-Satz-Spiele	5,0 ± 1,3	5,9 ± 1,5	4,9 ± 0,8	4,9 ± 0,4	5,1 ± 1,3

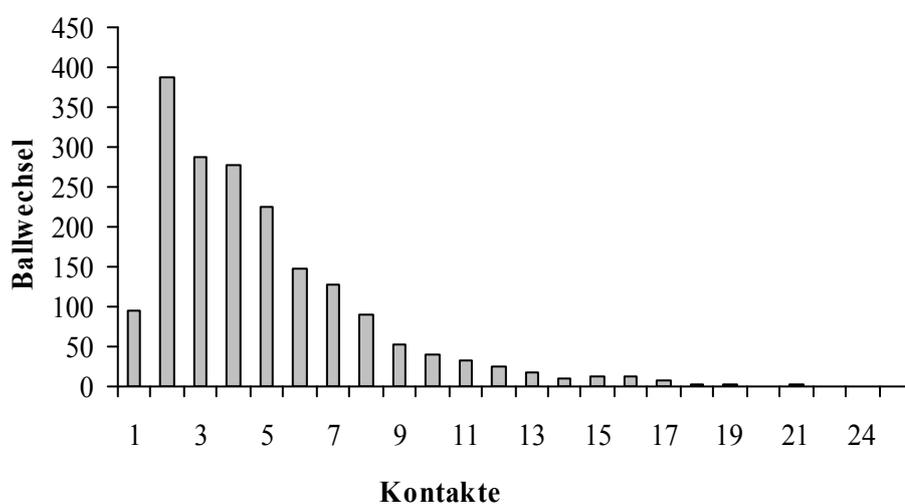


Abb. 40: Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Kontakte pro Ballwechsel , n = 1859

Im Hinblick auf die intervallförmige Belastung des Spiels ergab sich ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Anzahl an Kontakten und den kardialen und metabolischen Parametern. Je höher die Anzahl an Kontakten pro Ballwechsel war, desto höher waren die durchschnittlichen Blutlaktatwerte, die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme und die durchschnittliche Herzfrequenz ( $p \leq 0,05$ ), (Tab. 16).

Zwischen der durchschnittlichen Dauer der Ballwechsel und den kardialen und metabolischen Parametern bestand ein schwacher, positiver Zusammenhang, der nur für die Herzfrequenzen signifikant war ( $p \leq 0,05$ ).

Kein Zusammenhang bestand zwischen der Dauer der Pausen zwischen den Ballwechseln und den durchschnittlich beim Spiel gemessenen kardialen und metabolischen Parametern.

Ebenfalls kein Zusammenhang bestand zwischen der Gesamtdauer des Spieles und den Durchschnittsblutlaktatwerten.

Tab. 16: Zusammenhang zwischen den kardialen und metabolischen Parametern auf dem Spielfeld und der intervallförmigen Belastung der Spiele (n = 22); Korrelationskoeffizient nach Spearman (\* =  $p \leq 0,05$ )

	Blutlaktat	VO <sub>2</sub> [%]	Herzfrequenz [%]
Kontakte	0,46*	0,43*	0,43*
Ballwechsel	0,39	0,38	0,42*
Pausendauer	0,08	0,031	0,34
Schläge/s	0,26	0,21	0,06

## 5.5 Laifarbeit im Spiel

Eine Videoanalyse von aufgezeichneten Spielen (n = 19) sollte Aufschluss über die Häufigkeit von Laufaktionen eines Spielers geben. Die Spieler hatten durchschnittlich 132 Aktionen ( $\pm 38$  Aktionen) in den Umkehrpunkten auf dem Spielfeld. Laufwege mit Ausfallschritten am Netz und im Hinterfeld sowie Sidesteps bzw. Kreuzschritte mit abschließendem Chinasprung oder Umsprung auf der Vorhand- und Rückhandseite im Hinterfeld wurden getrennt ausgewertet. Seithandschläge wurden nur in die Gesamtzahl an Aktionen miteinbezogen. Das Verhältnis von Ausfallschritten zu Chinasprüngen und Umsprüngen war 67 % zu 33 % (Abb. 41). Der Anteil an Ausfallschritten ist also doppelt so hoch wie der Anteil an reaktiven Lauftechniken. 17 % der Techniken in den Umkehrpunkten waren Ausfallschritte im Hinterfeld.

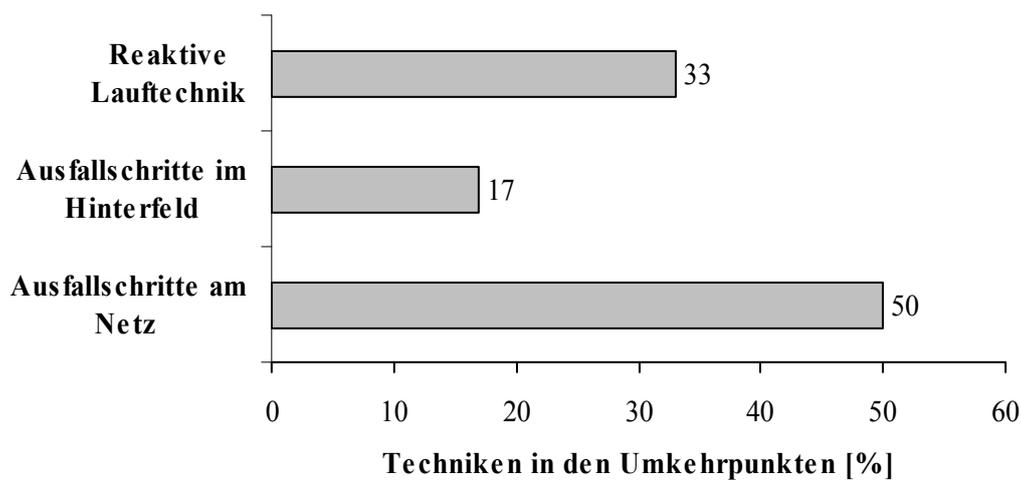


Abb. 41: Prozentualer Anteil an Ausfallschritten am Netz, Ausfallschritten im Hinterfeld und reaktiven Lauftechniken in den Umkehrpunkten. In 19 ausgewerteten Spielen wurden doppelt so viele Ausfallschritte wie Umsprünge und Chinasprünge gemacht

Der Einsatz der Lauftechnik in den Umkehrpunkten im Hinterfeld ist variabel. Spieler können entweder Ausfallschritte oder Umsprünge bzw. Chinasprünge machen. Bei dem Vergleich von 3 Vereinen, in welchen an der Studie teilnehmende Probanden trainierten, differierte die prozentuale Häufigkeit an Ausfallschritten im Hinterfeld (Abb. 42). In 2 Vereinen betrug der Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld 20 %, in einem Verein 10 %.

Zwischen der Anzahl der Aktionen auf dem Spielfeld über die Dauer eines Spieles und der Höhe der durchschnittlichen Blutlaktatwerte bestand ein signifikant positiver Zusammenhang ( $p \leq 0,05$ ), (Abb. 43). Je mehr Laufaktionen ein Spieler während eines Spieles hatte, desto höher war seine durchschnittliche Blutlaktatkonzentration ( $r = 0,54$ ). Kein Zusammenhang bestand zwischen der Gesamtspieldauer und der Höhe der Blutlaktatwerte.

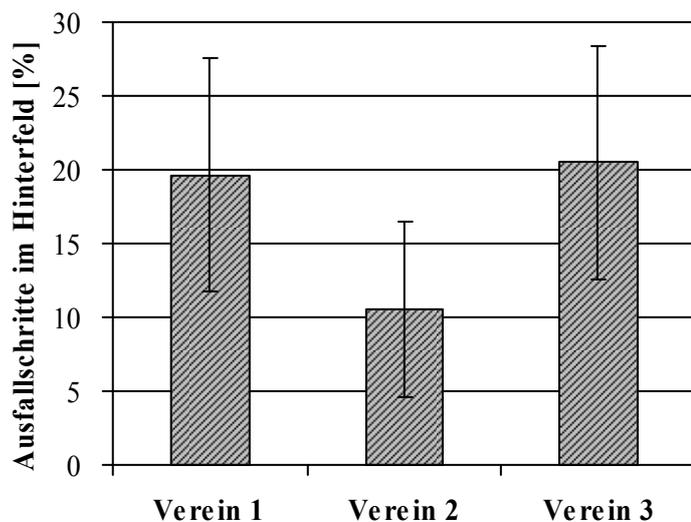


Abb. 42: Prozentualer Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld in 3 Vereinen. Verein 1 (n = 6); Verein 2 (n = 6); Verein 3 (n = 4)

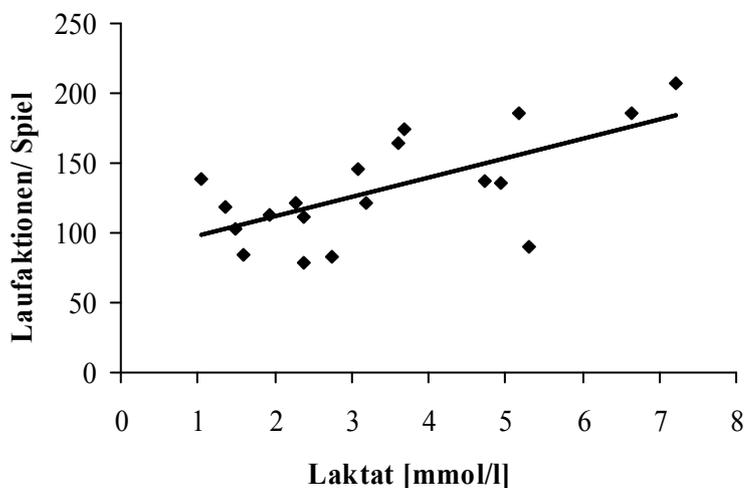


Abb. 43: Zusammenhang zwischen Laufaktionen während eines Spieles und durchschnittlicher Blutlaktatkonzentration. Der Zusammenhang war signifikant ( $p \leq 0,05$ ) für  $n = 19$ ; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,54$ ).

Ebenfalls ein Zusammenhang bestand zwischen dem prozentualen Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld in Bezug zur Gesamtzahl an Ausfallschritten und dem durchschnittlichen Blutlaktatwert im Spiel (Abb. 44). Es bestanden keine weiteren Zusammen-

hänge zwischen den im Spiel gemessenen kardialen und metabolischen Parametern und den Lauftechniken in den Umkehrpunkten.

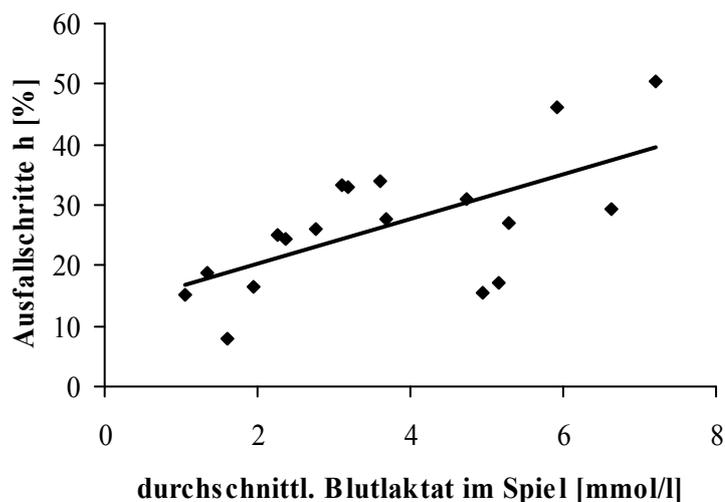
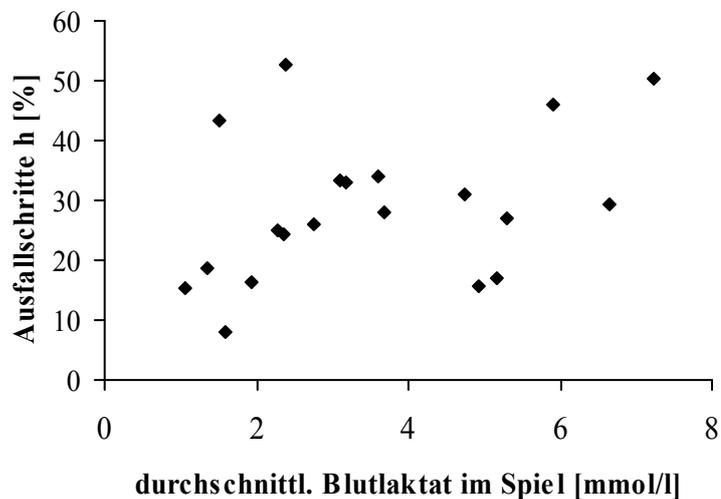


Abb. 44: Zusammenhang zwischen prozentualem Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld (in Bezug zur Gesamtzahl an Ausfallschritten) und durchschnittlichen Blutlaktatwerten im Spiel für  $n = 20$ . Oben: Alle 20 Spieler. Unten: Ausschluss von zwei Spielern, die ausschließlich Rückhand spielten und dadurch vermehrt Ausfallschritte machten. Der Zusammenhang war signifikant ( $p \leq 0,01$ ). Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,51$ ).

## 5.6 Dreidimensionale Bewegungsanalyse

Eine dreidimensionale Bewegungsanalyse sollte Erkenntnisse über kinematische Größen bei der Laufarbeit bringen. 57 Ballwechsel bei 20 der Probanden wurden quantitativ ausgewertet. Berücksichtigt wurden Ballwechsel mit hoher läuferischer Belastung, bei denen ein Spieler mindestens drei Ballkontakte hatte. Als Vorgabe hatten die Spieler, dass sie hohe Clears ohne Bedrängnis vermeiden sollten. Analysiert wurden die Laufwege, die Laufgeschwindigkeiten und die mittleren Beschleunigungen in Verbindung mit Techniken sowie die Stellung des Körperschwerpunktes (Abb. 45, Abb. 46, Abb. 47).

### 5.6.1 Einzelfallanalyse eines Ballwechsels

Um die Auswertung der gewonnenen Messdaten aus der dreidimensionalen Bewegungsanalyse zu veranschaulichen, wird im Folgenden der Weg- und Geschwindigkeits-Zeitverlauf von einem Ballwechsel eines Spielers A der 1. Bundesliga mit einem Spieler B der 2. Bundesliga dargestellt (Tab. 17). Der Laufweg des Spielers der 1. Bundesliga wurde mit zwei Kameras aufgezeichnet und anschließend dreidimensional ausgewertet.

Tab. 17: Schlagabfolge des Ballwechsels des Spielers A

Schlag Spieler B	Schlag Spieler A	Lauftechnik Spieler A zum Ball
Clear Vh h	Hoher Aufschlag in die Mitte	Kreuzschritte Ausfallschritt h
Netzdrop II	Drop II	Nachstellschritte Ausfallschritt v
Clear cr	Uh Clear cr	Chinasprung aus der Mitte
Uh Clear II	Drop II	Sidestep Chinasprung
Clear cr	Clear II	Malayenschritt Umsprung

Spieler A machte einen hohen Aufschlag diagonal in die Mitte des Spielfeldes an die Grundlinie und ging in die Ballerwartungshaltung. Spieler B spielte einen Angriffsclear in die Vorhandecke hinten und setzte damit Spieler A unter Druck. Spieler A lief zu diesem

Ball mit Kreuzschritten und abschließendem Ausfallschritt, bei dem er seinen Körperschwerpunkt um 27 cm senkte. Seine maximale Geschwindigkeit war dabei 2,9 m/s bei einer mittleren Beschleunigung von  $3,27 \text{ m/s}^2$ . Spieler A schlug einen Drop II in die Mitte des Spielfeldes an den Seitenrand. Seine Ballannahme war auf Schulterhöhe. Danach lief er mit einer mittleren Beschleunigung von  $3,28 \text{ m/s}^2$  in die Ballerwartungshaltung. Bis zur Ballerwartungshaltung lief er nur 49 cm bei einer maximalen Geschwindigkeit von 1,7 m/s. Spieler B schlug einen Netzdrop II und nahm den Ball dabei hoch an. Vom Schlag Spieler A bis zur Ballannahme Spieler B vergingen 0,82 s. Damit setzte Spieler B Spieler A weiter unter Druck. Spieler A lief mit Nachstellschritten und abschließendem Ausfallschritt zum Netz und senkte dabei seinen Körperschwerpunkt um 30 cm. Der Laufweg betrug 1,48 m bei einer maximalen Geschwindigkeit von 2,45 m/s. Spieler A spielte einen Unterhandclear cr und befreite sich damit aus der Drucksituation. Er hatte nun 1,26 s Zeit, um in die Ballerwartungshaltung zu gelangen. Spieler B spielte erneut einen Angriffsclear cr auf die Vorhand von Spieler A. Spieler A konnte diesen Ball mit einem Chinasprung aus der Ballerwartungshaltung abfangen und verschaffte sich damit einen Vorteil. Er hob dabei seinen Körperschwerpunkt um 36 cm an. Spieler A spielte erneut einen Drop II und setzte nun Spieler B unter Druck. Zwischen dem Schlag von Spieler B und der Ballannahme von Spieler A vergingen 0,7 s. Spieler B spielte ebenfalls einen Unterhandclear II als Befreiungsschlag. Spieler A hatte 1,32 s Zeit um den hoch gespielten Ball mit Sidesteps und abschließendem Chinasprung anzunehmen. Er erreichte eine maximale Geschwindigkeit von 2,82 m/s. Der Laufweg betrug 2,34 m. Er spielte einen Clear II und hob dabei seinen Körperschwerpunkt um 10 cm. Er brauchte 0,37 Sekunden vom Balltreffpunkt bis zum Zeitpunkt des tiefsten KSP. Nach dem Schlag lief er 2,46 m mit einer maximalen Geschwindigkeit von 3,04 m/s in die Ballerwartungshaltung. Spieler B spielte einen Clear cr und machte dabei einen Fehler.

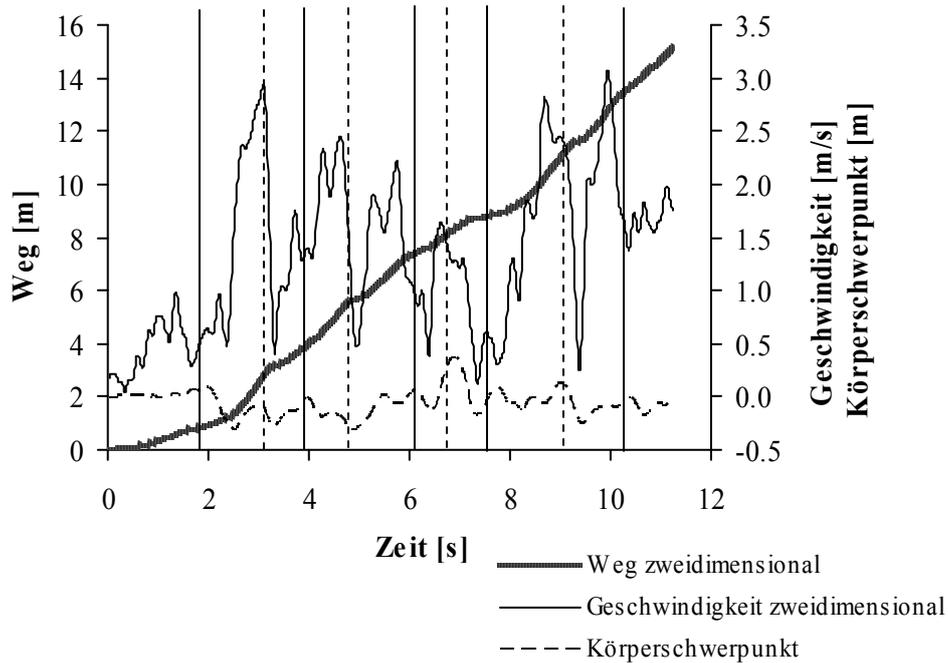


Abb. 45: Verlauf von Geschwindigkeit und Weg (zweidimensional) und das Verhalten des Körperschwerpunktes in einem Ballwechsel. — zeigt die Treffpunkte von Spieler B; ---- zeigt die Treffpunkte von dem analysierten Spieler A

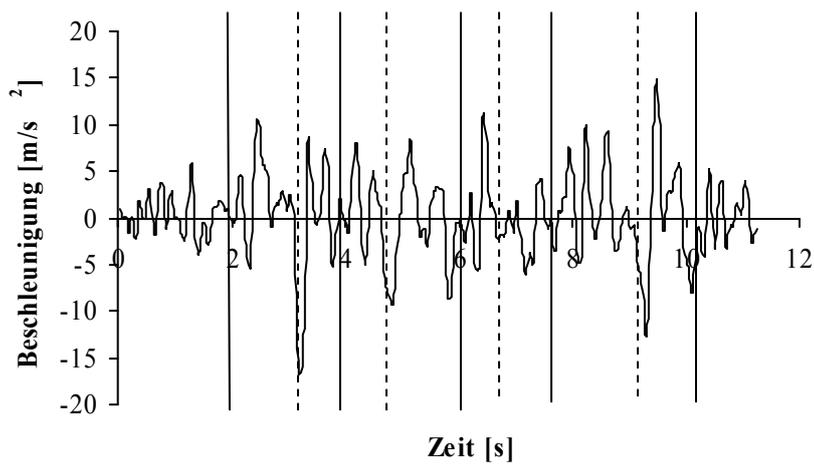


Abb. 46: Zweidimensionales Beschleunigungsverhalten in einem Ballwechsel. — zeigt die Treffpunkte von Spieler B, ---- zeigt die Treffpunkte von dem analysierten Spieler A

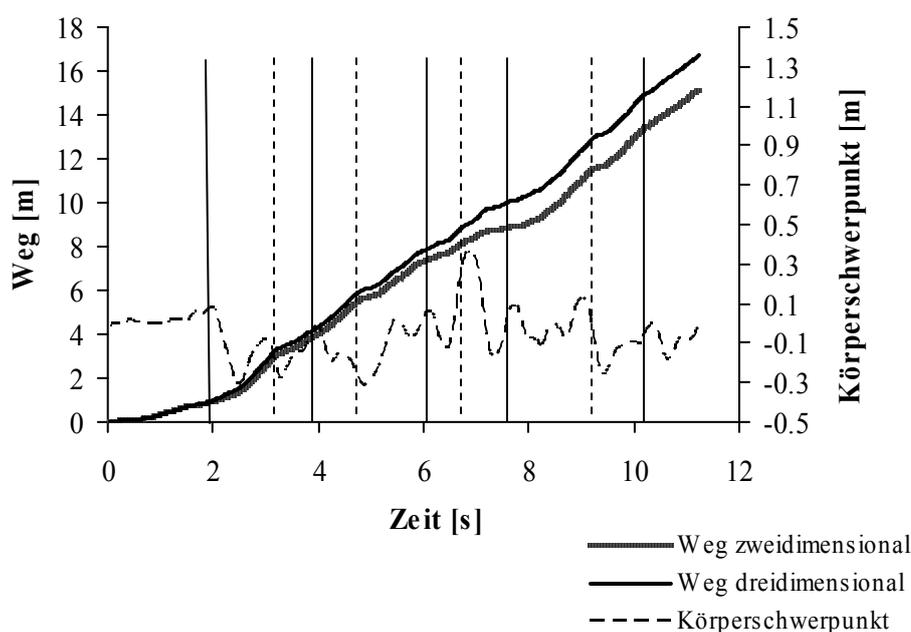


Abb. 47: Summe der Laufwege (zwei- und dreidimensional) sowie der Verlauf des Körperschwerpunktes — zeigt die Treffpunkte von Spieler B, ----- zeigt die Treffpunkte von dem analysierten Spieler A

Der Ballwechsel dauerte 10,38 Sekunden. Beginn des Ballwechsels war der Balltreffpunkt beim Aufschlag des Spielers. Ende des Ballwechsels war der letzte Balltreffpunkt des Gegners. Der Spieler A hatte ohne Einbezug des Aufschlags 4 Ballkontakte. Es wurden 0,96 Schläge/s gespielt, das heißt, alle 1,05 Sekunden wurde durchschnittlich der Ball getroffen. In den 10,38 Sekunden legte der Spieler in der Ebene 13,64 m zurück. Bezieht man die vertikale Bewegungsrichtung mit ein, waren es 15,19 m. In dieser Zeit musste er 8 Mal die Richtung wechseln, was ein Richtungswechsel durchschnittlich alle 1,3 s bedeutete.

Die Laufwege des Athleten A wurden in Wege zum Ball und Wege in die Ballerwartungshaltung unterteilt. Der Spieler hatte einen durchschnittlich längeren Laufweg zum Ball (1,87 m) als in die Ballerwartungshaltung (1,35 m). Die maximale durchschnittliche Geschwindigkeit (2,44 m/s) war zum Ball höher als in die Ballerwartungshaltung (2,07 m/s). Die höchste maximale Geschwindigkeit zum Ball (2,9 m/s) erreichte er am Anfang des Ballwechsels bei dem Laufweg zur Vorhandecke hinten mit Kreuzschritten und einem abschließenden Ausfallschritt. Die höchste Laufgeschwindigkeit in die Ballerwartungshaltung betrug 3,07 m/s nach Sidesteps mit abschließendem Chinasprung auf die Vorhand

hinten. Die mittlere Beschleunigung zum Ball ( $3,64 \text{ m/s}^2$ ) war höher als die mittlere Beschleunigung in die Ballerwartungshaltung ( $3,07 \text{ m/s}^2$ ).

Der Spieler senkte seinen Körperschwerpunkt in der Ballerwartungshaltung durchschnittlich um 18 cm. Im Umkehrpunkt senkte er den Körperschwerpunkt um durchschnittlich 25 cm. Dabei wurde der Körperschwerpunkt bei den Ausfallschritten im Durchschnitt um 29 cm gesenkt und bei den Umsprüngen und Chinasprüngen um 22 cm. Bei dem Chinasprung aus der Mitte heraus wurde der Körperschwerpunkt um 36 cm angehoben, bei dem Chinasprung in der Vorhandecke um 10 cm. In der Ballerwartungshaltung vergingen durchschnittlich 0,32 Sekunden vom Balltreffpunkt des Gegners bis zum Zeitpunkt des tiefsten Körperschwerpunktes des Spielers. Bei der Ballannahme vergingen 0,28 Sekunden vom Balltreffpunkt bis zum Zeitpunkt des tiefsten Körperschwerpunktes des Spielers.

Von Interesse war, ob sich die Ergebnisse der Einzelfallanalyse in der quantitativen Analyse von 59 Ballwechseln bestätigen würden.

### **5.6.2 Länge der Laufwege**

Der zurückgelegte Weg während eines Ballwechsels wurde durch das Auswertekriterium von mindestens 3 Ballkontakten des Probanden pro Ballwechsel beschränkt. Beginn des Ballwechsels war der Balltreffpunkt beim Aufschlag. Als Ende des Ballwechsels wurde bei einem Fehler des Probanden der letzte Balltreffpunkt des Probanden und bei einem Fehler des Gegenspielers der letzte Balltreffpunkt des Gegners genommen.

Betrachtet man das Spielfeld als zweidimensionale Fläche, auf der sich der Spieler in einer Ebene bewegt (Abb. 48), legten die Probanden in 57 Ballwechseln durchschnittlich 15,6 m ( $\pm 5,3 \text{ m}$ ) pro Ballwechsel zurück. Minimal wurden während eines Ballwechsels 7,4 m auf dem Spielfeld gelaufen. Der längste Laufweg betrug 32,7 m. Bei 517 Schlägen ergab die Schlagfrequenz  $0,97 \text{ Schläge/s}$  ( $\pm 0,29 \text{ Schläge/s}$ ).

Bezieht man die vertikale Bewegungsrichtung der Spieler mit ein und wechselt man von zweidimensionalen Laufwegen zu dreidimensionalen Ortsraumkurven, ist die Streckenlänge der Ortsraumkurven gegenüber der Laufweglänge erhöht (Abb. 48). Durchschnittlich wurde von den Spielern eine Strecke von 17,0 m ( $\pm 5,7 \text{ m}$ ) entlang der Ortsraumkurve zurückgelegt. Dies sind durchschnittlich 1,4 m mehr als der Laufweg in der Ebene. Prozen-

tual entspricht dies einem Anteil von 8 % in Form von Hebung und Senkung des Körperschwerpunktes.

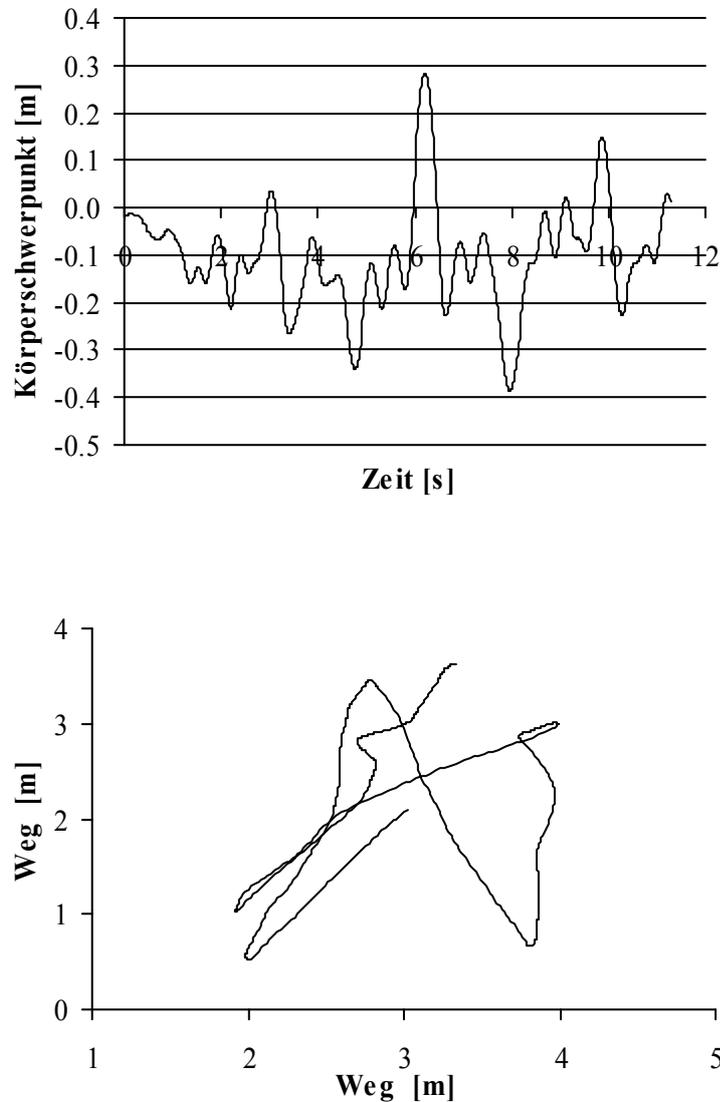


Abb. 48: oben: Laufweg eines Spielers in einem Ballwechsel in der vertikalen Bewegungsrichtung; unten: Laufweg während eines Ballwechsels in der horizontalen Bewegungsrichtung

Von Bedeutung für die körperliche Beanspruchung im Badminton sind die häufigen Richtungswechsel auf dem Spielfeld. Deshalb wurden die Ballwechsel in einzelne Aktionen unterteilt. Eine Aktion wurde als Weg von der Ballerwartungshaltung zum Umkehrpunkt und als Weg vom Umkehrpunkt zur Ballerwartungshaltung definiert. Ein Proband hatte durchschnittlich 8,9 Aktionen ( $\pm 3,5$  Aktionen) pro Ballwechsel. Das bedeutet, dass in

einem Ballwechsel, der durchschnittlich 10,6 s ( $\pm 3,5$  s) dauerte, alle 1,19 Sekunden ein Richtungswechsel vorgenommen wurde.

Betrachtet man die einzelnen Aktionen genauer, kann man sie unterteilen in Laufwege zum Ball und Laufwege in die Ballerwartungshaltung. Der Laufweg zum Ball wurde als Weg von der tiefsten Körperschwerpunktstellung des Spielers in der Ballerwartungshaltung bis zur tiefsten Körperschwerpunktstellung bei der Landung nach dem Schlag definiert. Analog dazu wurde der Laufweg in die Ballerwartungshaltung als Weg von der tiefsten Körperschwerpunktstellung des Spielers nach dem Schlag bis zur tiefsten Körperschwerpunktstellung in der Ballerwartungshaltung definiert.

Der durchschnittliche Laufweg zum Ball war mit 1,73 m ( $\pm 0,8$  m) länger als der Weg nach dem Schlag in die Ballerwartungshaltung 1,28 m ( $\pm 0,68$  m). Die Laufwege zum Ball waren also durchschnittlich um 45 cm länger als die Laufwege nach dem Schlag in die Ballerwartungshaltung. Die Differenz war signifikant ( $p \leq 0,01$ ).

Die Laufwege von der Ballerwartungshaltung zum Umkehrpunkt werden mit Kreuzschritten, Sidesteps, Nachstellschritten oder Laufschritten bewältigt. In den Umkehrpunkten kann man Ausfallschritte von Umsprüngen und Chinasprüngen unterscheiden.

In der vorliegenden Analyse wurden Laufwege mit abschließendem Ausfallschritt am Netz von den Laufwegen ins Hinterfeld getrennt betrachtet. Zusätzlich wurden bei Laufwegen ins Hinterfeld Ausfallschritte von Umsprüngen und Chinasprüngen unterschieden.

Bei allen Techniken war der Laufweg zum Ball signifikant länger als der Laufweg in die Ballerwartungshaltung ( $p \leq 0,05$ ) (Abb. 49).

Laufwege, die im Umkehrpunkt mit einem Umsprung oder Chinasprung verbunden wurden, waren im Vergleich zu anderen Techniken (1,93 m ( $\pm 0,7$  m)) am längsten. Signifikant war die Differenz zwischen der Länge der Laufwege ans Netz und der Länge der Laufwege mit einem anschließenden Chinasprung beziehungsweise Umsprung nach hinten ( $p \leq 0,05$ ).

Der Laufweg aus der Ballerwartungshaltung ans Netz auf die Vorhand- und Rückhandseite, der mit einem Ausfallschritt abgeschlossen wurde, war mit durchschnittlich 1,68 m

( $\pm 0,78$  m) ähnlich dem Laufweg mit abschließendem Ausfallschritt ins Hinterfeld (1,67 m ( $\pm 0,74$  m)).

Laufwege nach einem Ausfallschritt hinten in die Ballerwartungshaltung waren signifikant kürzer als Laufwege nach einem Ausfallschritt vorn und Laufwege nach einem Chinasprung beziehungsweise Umsprung in die Ballerwartungshaltung (s. Anhang, Tab. 20).

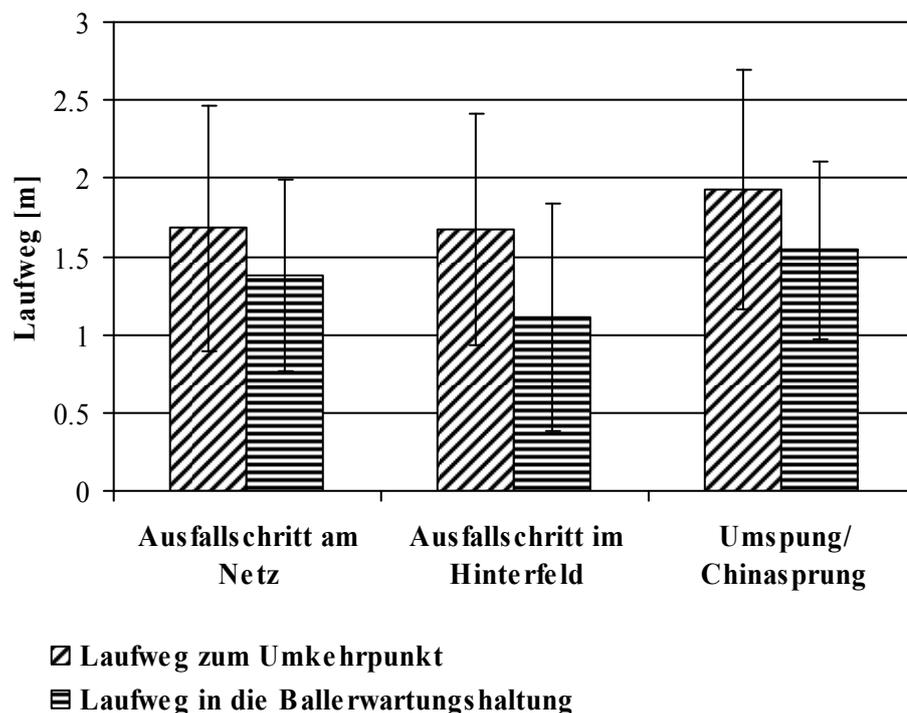


Abb. 49: Laufwege aus der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Ball und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung in unterschiedliche Lauftechniken unterteilt; Der Laufweg zum Ball war bei allen Techniken signifikant länger als der Laufweg in die Ballerwartungshaltung; U-Test von Mann-Whitney, ( $p \leq 0,05$ ); Ausfallschritt am Netz ( $n = 80$ ), Ausfallschritt im Hinterfeld ( $n = 43$ ), Umsprung/Chinasprung ( $n = 60$ )

### 5.6.3 Maximale Geschwindigkeit bei Laufwegen

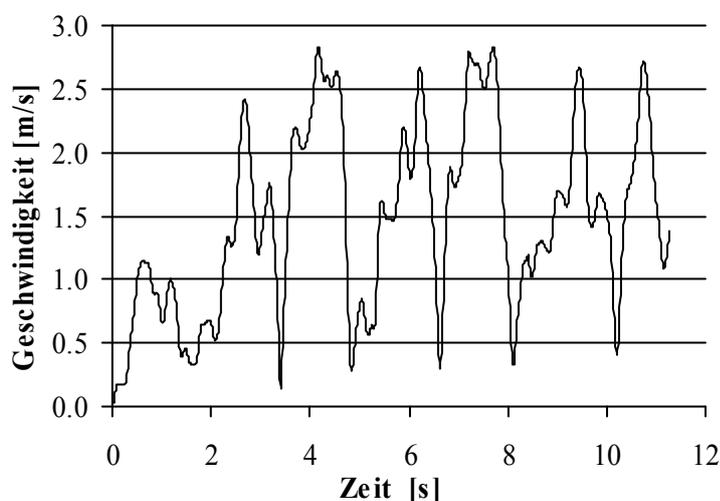


Abb. 50: Geschwindigkeitszeitverlauf eines Laufweges in einem Ballwechsel

Die Laufgeschwindigkeiten der Spieler wurden in Geschwindigkeiten zum Ball und Geschwindigkeiten vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung unterteilt. In Abb. 50 ist exemplarisch ein Geschwindigkeitszeitverlauf eines Laufweges in einem Ballwechsel dargestellt. Zum Ball erreichten die Spieler mit durchschnittlich 2,46 m/s ( $\pm 0,77$  m/s) signifikant ( $p \leq 0,01$ ) höhere maximale Geschwindigkeiten als in die Ballerwartungshaltung (1,82 m/s ( $\pm 0,65$  m/s)). Die höchste maximale Geschwindigkeit, die ein Spieler dabei erreichte, betrug 4,5 m/s.

Betrachtet man Ausfallschritte und Umsprünge beziehungsweise Chinasprünge getrennt voneinander, wurden die durchschnittlich höchsten maximalen Geschwindigkeiten bei den Laufwegen ans Netz gemessen (2,71 m/s ( $\pm 0,63$  m/s)), (Abb. 51).

Signifikant war die Differenz zwischen der Geschwindigkeit beim Laufweg ans Netz und beim Laufweg nach hinten mit abschließendem Chinasprung beziehungsweise Umsprung (s. Anhang, Tab. 21)

Bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung ins Hinterfeld zeigten sich bei Umsprünge und Ausfallschritten die gleichen durchschnittlichen maximalen Geschwindigkeiten (2,45 m/s ( $\pm 0,58$  m/s)); 2,45 ( $\pm 0,77$  m/s)). Die höchsten durchschnittlich gemessenen maximalen Geschwindigkeiten bei Laufwegen vom Umkehrpunkt in die

Ballerwartungshaltung wurden nach Chinasprünge und Umsprünge gemessen (2,17 m/s ( $\pm 0,58$  m/s)). Die Differenzen waren signifikant ( $p \leq 0,01$ ).

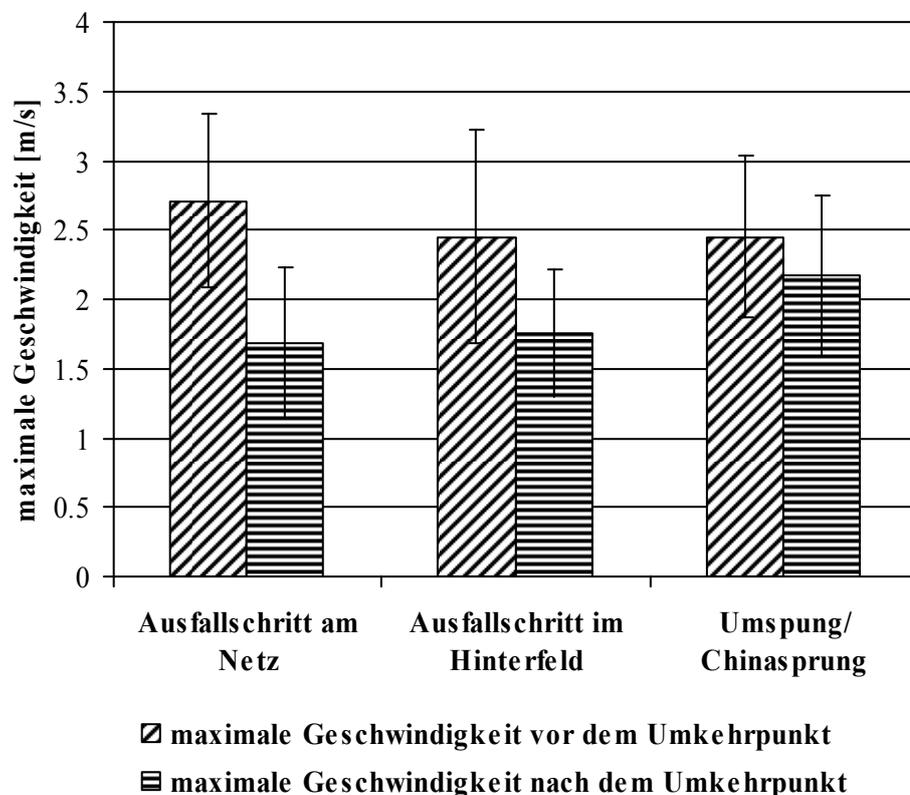


Abb. 51: Maximale Geschwindigkeiten bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP), unterteilt in unterschiedliche Lauftechniken in den Umkehrpunkten; Ausfallschritt am Netz ( $n = 80$ ), Ausfallschritt im Hinterfeld ( $n = 43$ ), Umsprung/Chinasprung ( $n = 60$ )

Zwischen der maximalen Geschwindigkeit, die ein Spieler während eines Laufweges von der Ballerwartungshaltung zum Umkehrpunkt erreichte, und der Länge des Weges, den er bis zur Ballannahme benötigte, bestand ein signifikant positiver Zusammenhang (Abb. 52). Je länger der Weg war, desto höher war die maximale Laufgeschwindigkeit ( $p \leq 0,01$ ). Dieser Zusammenhang bestand sowohl bei allen Wegen zum Ball als auch bei allen Wegen in die Ballerwartungshaltung. Am stärksten war der Zusammenhang beim Laufweg ins Hinterfeld mit abschließendem Ausfallschritt ( $r = 0,87$ ).

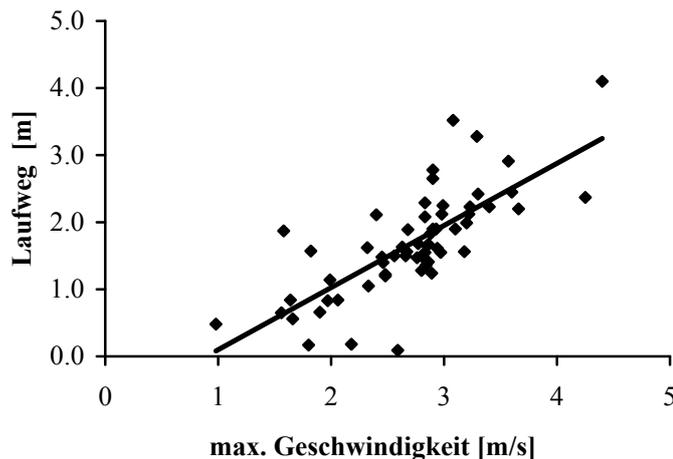


Abb. 52: Zusammenhang zwischen der Länge des Laufweges und der maximalen Geschwindigkeit ans Netz für  $n = 59$ ; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,79$ ;  $p \leq 0,01$ )

#### 5.6.4 Mittlere Beschleunigung bei Laufwegen

Als Berechnungsgrundlage für die mittlere Beschleunigung auf dem Spielfeld wurden die Anfangsgeschwindigkeit und die maximale Geschwindigkeit herangezogen. Die Messpunkte wurden ebenfalls über die Laufwege von der Ballerwartungshaltung zu den Umkehrpunkten und umgekehrt definiert. In Abb. 53 ist exemplarisch ein Beschleunigungsverlauf während eines Laufweges in einem Ballwechsel dargestellt. Die durchschnittlich gemessene mittlere positive Beschleunigung bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung zum Umkehrpunkt war mit  $3,14 \text{ m/s}^2 (\pm 1,5 \text{ m/s}^2)$  geringer als die durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung von den Umkehrpunkten in die Ballerwartungshaltung ( $3,45 \text{ m/s}^2 (\pm 1,78 \text{ m/s}^2)$ ). Die ermittelte durchschnittliche mittlere negative Beschleunigung in Richtung Umkehrpunkt war deutlich höher als die durchschnittliche mittlere negative Beschleunigung in die Ballerwartungshaltung ( $-5,24 \text{ m/s}^2 (\pm 2,71 \text{ m/s}^2)$ ;  $-1,77 \text{ m/s}^2 (\pm 1,35 \text{ m/s}^2)$ ), (Tab. 18).

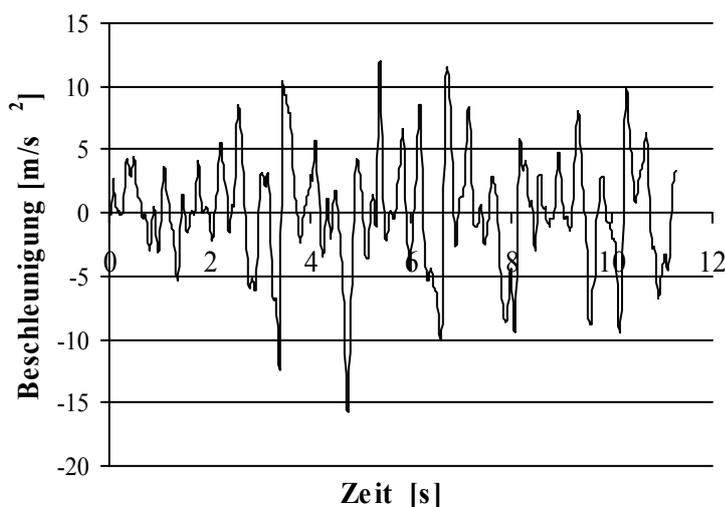


Abb. 53: Beschleunigungsverlauf eines Laufweges in einem Ballwechsel

Tab. 18: Durchschnittliche mittlere Beschleunigungswerte bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP)

Laufwege	mittl. pos. Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	mittl. neg. Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
ZP - Umkehrpunkt n = 183	3,14 ± 1,51	-5,24 ± 2,71
Umkehrpunkt - ZP n = 181	3,45 ± 1,78	-1,77 ± 1,35

Betrachtet man die Laufwege ins Hinterfeld und die Laufwege ans Netz getrennt von einander, war die durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung zum Ball bei Ausfallschritten ans Netz am größten (3,27 m/s<sup>2</sup> (± 1,64 m/s<sup>2</sup>)), (Abb. 54). Die Differenzen waren signifikant (s. Anhang, Tab. 22). Dahingegen war die durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung bei Laufwegen vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung bei Umsprüngen und Chinasprüngen signifikant größer als bei Ausfallschritten ans Netz und Ausfallschritten nach hinten (4,38 m/s<sup>2</sup> (± 1,75 m/s<sup>2</sup>)). Die durchschnittlich mittlere negative Beschleunigung bei Laufwegen zum Ball war bei Ausfallschritten ans Netz am größten (-6,06 m/s<sup>2</sup> (± 2 m/s<sup>2</sup>)). Die Differenzen zwischen der durchschnittlichen mittleren negativen Beschleunigung ans Netz und der durchschnittlichen mittleren negativen Beschleunigung bei Chinasprüngen beziehungsweise Umsprüngen war signifikant. Die mittlere negative Beschleunigung bei

Laufwegen in die Ballerwartungshaltung war nach den Laufwegen ins Hinterfeld am größten. Sie war bei Umsprüngen beziehungsweise Chinasprüngen und Ausfallschritten ins Hinterfeld annähernd gleich ( $-1,94 \text{ m/s}^2 (\pm 1,28 \text{ m/s}^2)$ ;  $-1,94 \text{ m/s}^2 (\pm 1,30 \text{ m/s}^2)$ ). Die Differenzen waren signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

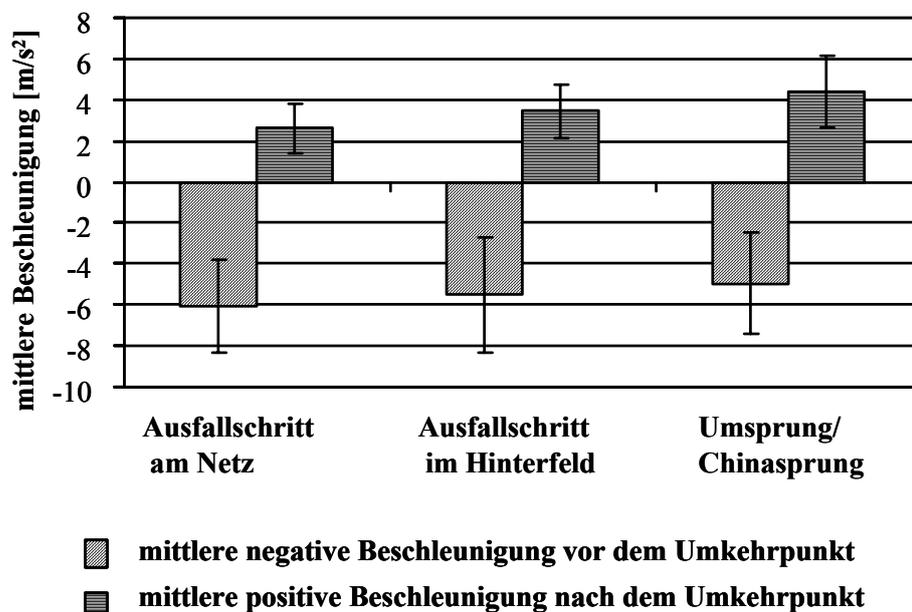


Abb. 54: Mittlere Beschleunigung bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP) unterteilt in die einzelnen Lauftechniken; Ausfallschritt am Netz ( $n = 80$ ), Ausfallschritt im Hinterfeld ( $n = 43$ ), Umsprung/Chinasprung ( $n = 60$ )

Ein signifikant positiver Zusammenhang bestand zwischen der maximalen Laufgeschwindigkeit, die auf dem Weg zum Ball erreicht wurde, und der anschließenden negativen Beschleunigung, die zum Abbremsen der Bewegung benötigt wurde. Je höher die Laufgeschwindigkeit war, desto größer war die anschließende mittlere negative Beschleunigung ( $p \leq 0,01$ ). Der Zusammenhang bestand bei allen Lauftechniken in den Umkehrpunkten, war aber bei Ausfallschritten am Netz am größten ( $r = 0,5$ ), (Abb. 55).

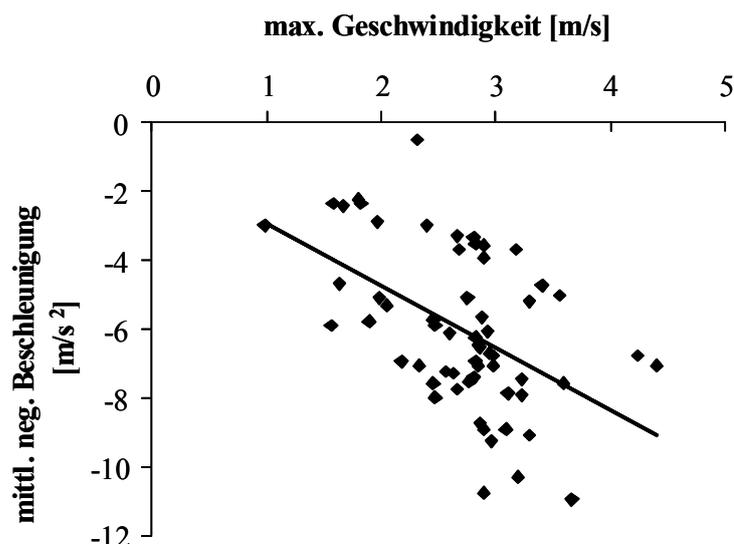


Abb. 55: Zusammenhang zwischen der maximalen Geschwindigkeit beim Laufweg ans Netz und der mittleren negativen Beschleunigung für  $n = 59$ ; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,5$ ;  $p < 0,01$ )

### 5.6.5 Verhalten des Körperschwerpunktes bei Laufbewegungen

Im Folgenden wird das Verhalten des Körperschwerpunktes in der Ballerwartungshaltung und in den Umkehrpunkten beschrieben. Der durchschnittliche Körperschwerpunkt der Spieler im aufrechten Stand betrug  $109 \text{ cm} (\pm 8 \text{ cm})$ . Die Spieler senkten den Körperschwerpunkt in der Ballerwartungshaltung direkt vor dem Abdruck in Richtung Ball um durchschnittlich  $18,79 \text{ cm} (\pm 5,5 \text{ cm})$ . Dies entspricht einer prozentualen Senkung des Körperschwerpunktes um  $17 \%$ . In den Umkehrpunkten war die Senkung des Körperschwerpunktes erwartungsgemäß größer ( $25,5 \text{ cm} (\pm 9 \text{ cm})$ ;  $23,5 \%$ ). Bei Chinasprüngen und Umsprüngen wurde der Körperschwerpunkt im Mittel um  $11 \text{ cm} (\pm 10 \text{ cm})$  angehoben.

Bei der Analyse des Verhaltens des Körperschwerpunktes differenziert in die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten wurde bei Ausfallschritten erwartungsgemäß der tiefste Körperschwerpunkt gemessen (Abb. 56). Bei Ausfallschritten am Netz beziehungsweise im Hinterfeld senkte sich der Körperschwerpunkt durchschnittlich um  $30,02 \text{ cm} (\pm 8,25 \text{ cm})$  beziehungsweise  $24,09 \text{ cm} (\pm 8,20 \text{ cm})$ . Dies entspricht einer prozentualen Senkung von  $30,3 \%$  beziehungsweise  $22,1 \%$ . Nach Umsprüngen und Chinasprüngen senkte sich der Körperschwerpunkt um durchschnittlich  $20,80 \text{ cm} (\pm 5,82 \text{ cm})$ , was einem

prozentualen Wert von 19,2 % entspricht. Die Differenz zwischen der Senkung des Körperschwerpunktes bei Ausfallschritten am Netz und der Senkung des Körperschwerpunktes bei Umkehrpunkten im Hinterfeld war signifikant (Tab. 19).

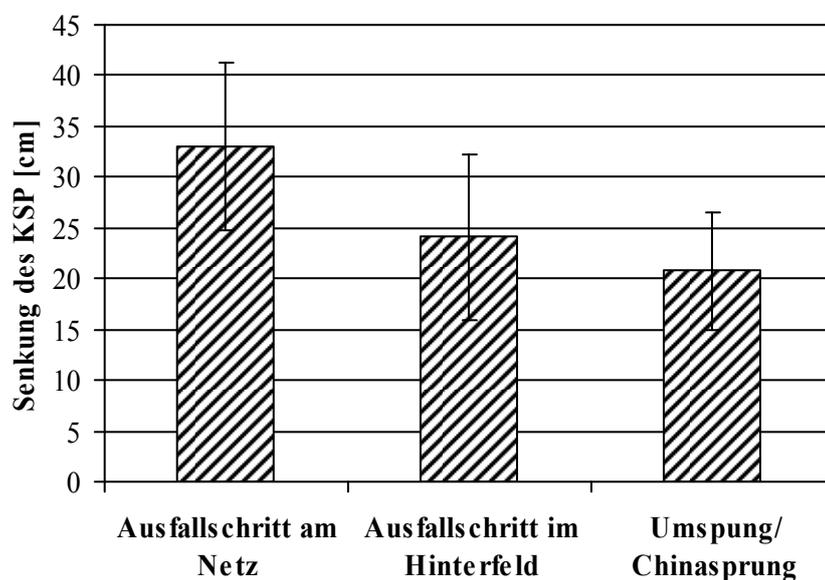


Abb. 56: Senkung des Körperschwerpunktes in den Umkehrpunkten; Ausfallschritt am Netz (n = 80), Ausfallschritt im Hinterfeld (n = 43), Umsprung/Chinasprung (n = 60)

Von Interesse war, in wie weit sich der Körperschwerpunkt in den Umkehrpunkten und der Ballerwartungshaltung in Abhängigkeit von der maximalen Laufgeschwindigkeit und der mittleren Beschleunigung bei Laufbewegungen senkt.

In der Ballerwartungshaltung bestand nur ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Tiefe des Körperschwerpunktes und dem anschließenden Laufweg zum Ausfallschritt am Netz ( $p \leq 0,01$ ). Je tiefer der Körperschwerpunkt in der Ballerwartungshaltung war, desto höher war die mittlere Beschleunigung zum Ball ( $r = -0,4$ ). In den Umkehrpunkten bestand ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen der maximalen Laufgeschwindigkeit und der Tiefe des Körperschwerpunktes beim anschließenden Ausfallschritt ( $p \leq 0,01$ ). Bei Ausfallschritten im Hinterfeld war der engste negative Zusammenhang ( $r = -0,65$ ). Je höher die maximale Laufgeschwindigkeit war, desto tiefer war der anschließende Ausfallschritt (Abb. 57). Zwischen Chinasprüngen beziehungsweise Umsprüngen und der Tiefe des Körperschwerpunktes bestand kein Zusammenhang. Ein signifikant positiver Zusammenhang ( $p \leq 0,05$ ) bestand auch zwischen der mittleren negativen Beschleunigung und

der Tiefe des anschließenden Ausfallschrittes. Je höher die mittlere negative Beschleunigung war, desto tiefer war der anschließende Ausfallschritt (Abb. 58).

Tab. 19: Senken des Körperschwerpunktes bei den unterschiedlichen Techniken in den Umkehrpunkten; U-Test von Mann–Whitney

Lauftechnik im Umkehrpunkt		Senkung des KSP [cm]	Senkung des KSP [%]
Ausfallschritt am Netz (n = 60)	ZP	19,47 ± 5,56	17,85 ± 4,96
	Umkehrpunkt	33,02 ± 8,25	30,32 ± 7,70
Umsprung/ Chinasprung (n= 80)	ZP	17,63 ± 5,31	16,32 ± 5,01
	Umkehrpunkt	20,80 ± 5,82	19,21 ± 5,50
Ausfallschritt h (n = 43)	ZP	20,00 ± 5,59	18,46 ± 5,46
	Umkehrpunkt	24,09 ± 8,20	22,16 ± 7,52

#### KSP im Umkehrpunkt

Differenzen (zum Umkehrpunkt)		Signifikanzniveau
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h	$p \leq 0,01$
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h	-
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h	$p \leq 0,05$

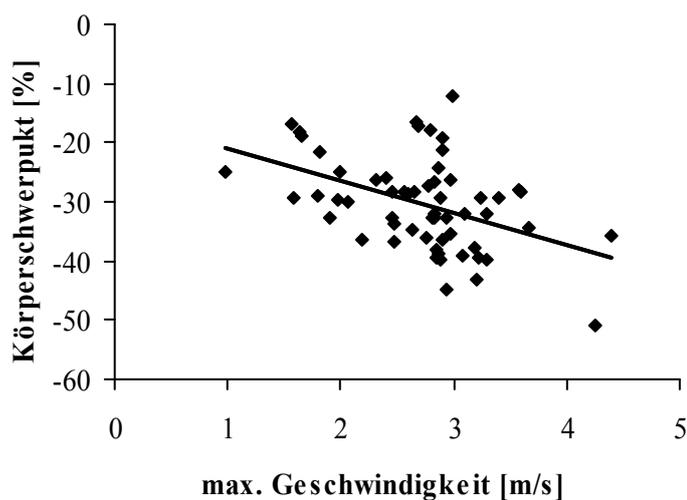


Abb. 57: Prozentuale Senkung des Körperschwerpunktes in Zusammenhang mit der maximalen Geschwindigkeit für n = 60; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $p \leq 0,01$ ;  $r = -0,65$ )

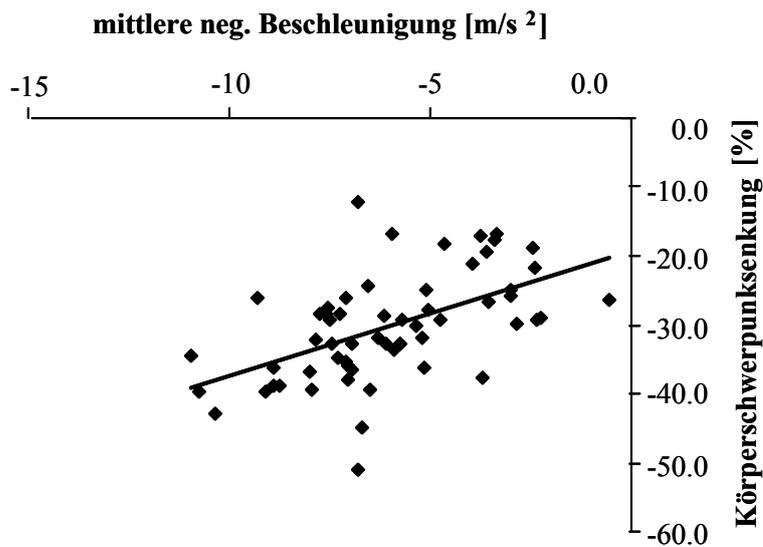


Abb. 58: Prozentuale Senkung des Körperschwerpunktes im Zusammenhang mit der mittleren negativen Beschleunigung für  $n = 60$ ; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $p \leq 0,01$ ;  $r = 0,54$ )

### 5.6.6 Reaktionszeit und Vor- und Nachbereitung eines Schlages

Im Badminton sind kurze Reaktionszeiten mit adäquatem Bewegungsverhalten in der Ballerwartungshaltung und schnelles Umkehren nach dem Schlag entscheidend für den Gewinn des Ballwechsels. Die beiden Situationen werden als Vorbereitung und Nachbereitung des Schlages bezeichnet. Die Reaktionszeit wurde definiert als Zeit vom Treffpunkt des Gegners beziehungsweise des Spielers bis zum Zeitpunkt des tiefsten Körperschwerpunktes im Umkehrpunkt beziehungsweise in der Ballerwartungshaltung. Die Dauer der Vor- und Nachbereitung hingegen, beinhaltet zusätzlich die Abdruckposition in Bewegungsrichtung. In Abb. 59 und Abb. 60 werden Beispiele einer schlechten Vor- bzw. Nachbereitung dargestellt.

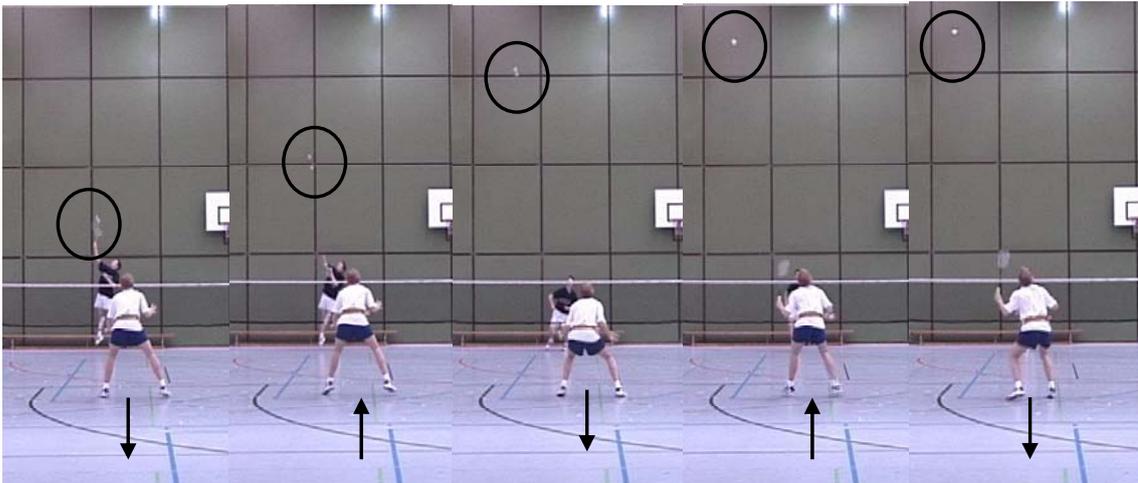


Abb. 59: Beispiel einer schlechten Vorbereitung in der Ballerwartungshaltung. Nachdem der Gegner den Ball getroffen hat, hüpft der Spieler noch zweimal auf und ab bevor er sich in Laufrichtung zum Ball abdrückt.

Werden alle Aktionen der Spieler ( $n = 183$ ) in der Ballerwartungshaltung betrachtet, dauerte die erste Reaktion der Spieler durchschnittlich  $0,25 \text{ s}$  ( $\pm 0,09 \text{ s}$ ). Eine gezielte Bewegung in die richtige Richtung fand nach durchschnittlich  $0,29 \text{ s}$  ( $\pm 0,11 \text{ s}$ ) statt.

Die Zeit, die ein Spieler durchschnittlich benötigte, um sich nach dem Schlag abzudrücken, betrug  $0,21 \text{ s}$  ( $\pm 0,16 \text{ s}$ ). Die Zeit der Nachbereitung dauerte durchschnittlich  $0,27 \text{ s}$  ( $\pm 0,19 \text{ s}$ ).

Betrachtet man das Reaktionsverhalten und die Dauer der Vor- und Nachbereitung des Schlages getrennt nach den einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten, wurde die durchschnittlich geringste Reaktionszeit und auch Vorbereitungszeit beim Laufweg ans Netz mit anschließendem Ausfallschritt gemessen ( $0,23 \text{ s}$  ( $\pm 0,10 \text{ s}$ );  $0,24 \text{ s}$  ( $\pm 0,11 \text{ s}$ )). Während die Reaktionszeiten bei Laufwegen ans Netz und Laufwegen ins Hinterfeld annähernd gleich waren, unterschieden sich die Vorbereitungszeiten zwischen dem Laufweg ans Netz und dem Laufweg ins Hinterfeld signifikant voneinander ( $p \leq 0,01$ ), (s. Anhang, Tab. 23).

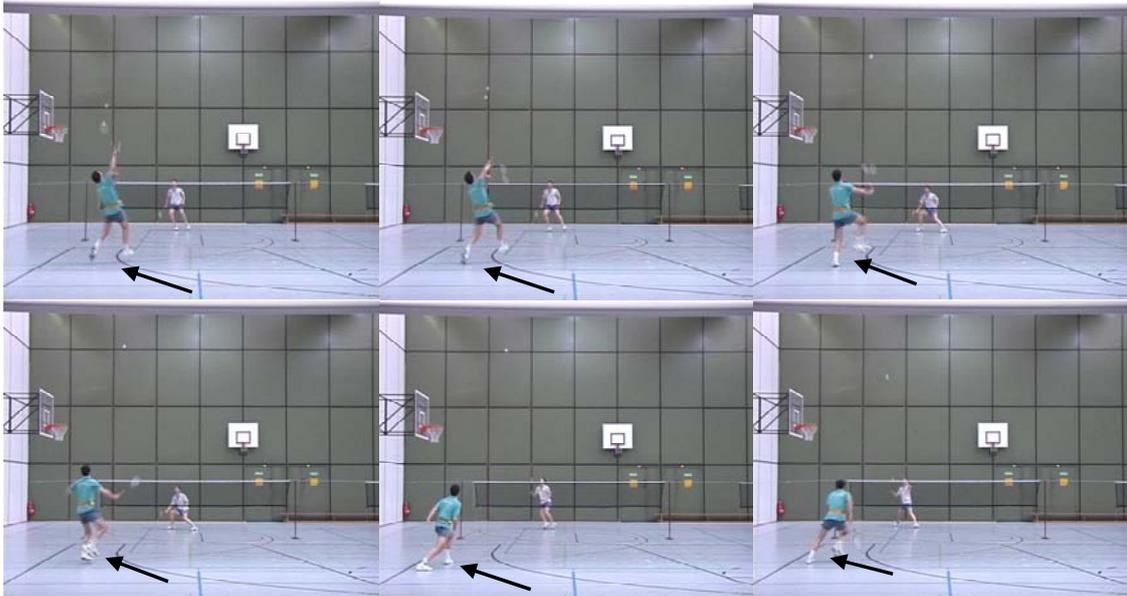


Abb. 60: Beispiel einer schlechten Nachbereitung eines Schlates nach einem Umsprung auf der Rückhandseite im Hinterfeld. Der Spieler schafft es nicht, das „Prinzip der integrierten Rückkehr“ umzusetzen. Er braucht einen zusätzlichen Schritt, um sich aus der Ecke abzudrücken.

Auch die Zeit bis zum Abdruck nach dem Schlag und die Nachbereitung waren nach Ausfallschritten am Netz am geringsten ( $0,11\text{ s} (\pm 0,10\text{ s})$ ;  $0,12\text{ s} (\pm 0,10\text{ s})$ ). Die längste durchschnittliche Nachbereitungszeit wurde bei Umsprüngen und Chinasprüngen gemessen ( $0,34\text{ s} (\pm 0,15\text{ s})$ ). Die Differenz zwischen der durchschnittlichen Dauer der Nachbereitung in Umkehrpunkten am Netz und Umkehrpunkten im Hinterfeld war signifikant ( $p \leq 0,01$ ).

Bei Ausfallschritten im Hinterfeld war die größte Zeitspanne zwischen der Dauer der Vor- und Nachbereitung und dem jeweils ersten Abdruck (Abb. 61).

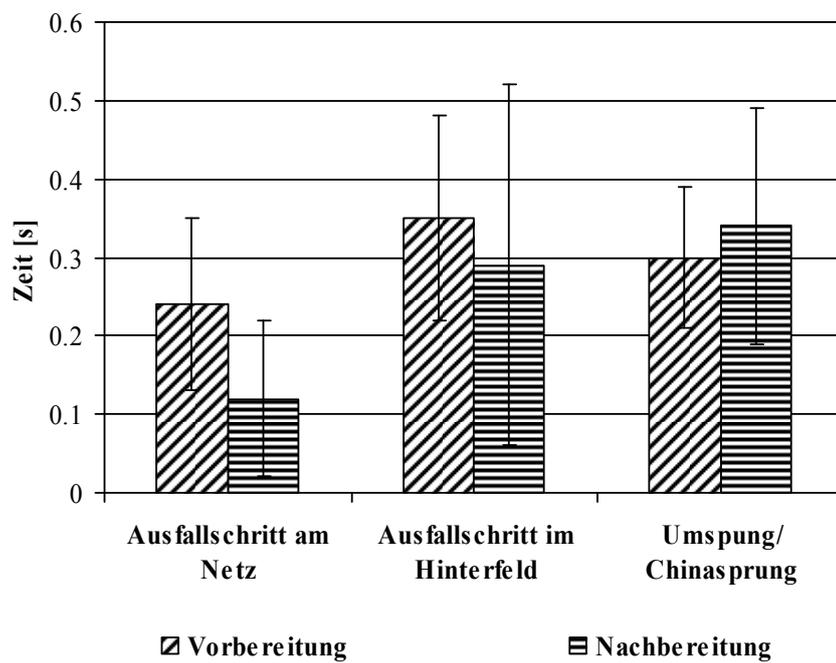
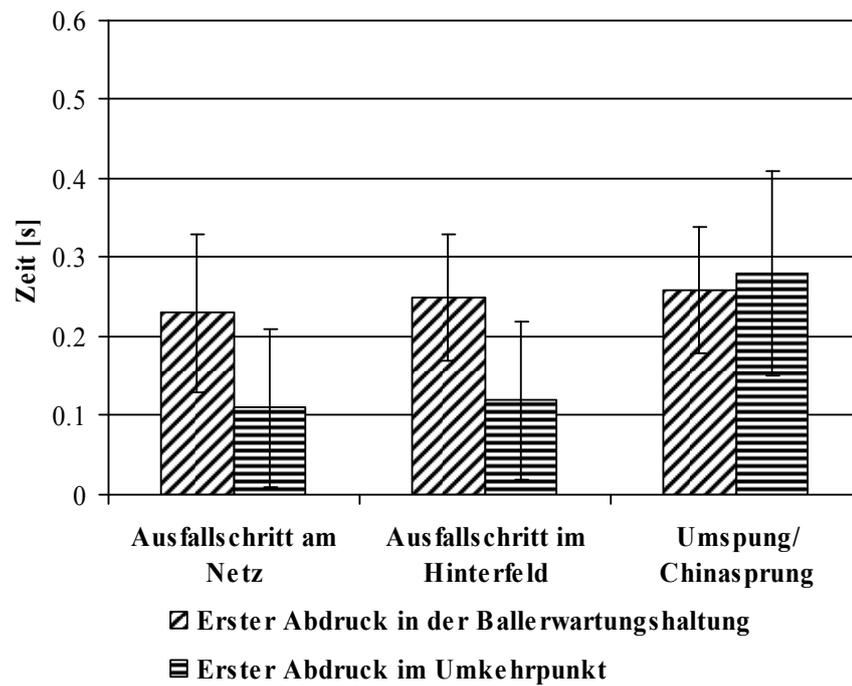


Abb. 61: Erster Abdruck und Dauer der Vor- und Nachbereitung von Schlägen, unterteilt in die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten; Ausfallschritt am Netz (n = 80), Ausfallschritt im Hinterfeld (n = 43), Umsprung/Chinasprung (n = 60)

Von Interesse war die Frage, ob Zusammenhänge zwischen der Reaktionszeit beziehungsweise der Dauer der Vor- und Nachbereitung von Schlägen und dem anschließenden Bewegungsverhalten bestanden.

Beim Laufweg von der Ballerwartungshaltung zum Netz bestand sowohl zwischen der Reaktionszeit ( $r = -0,34$ ) als auch der Dauer der Vorbereitung ( $r = -0,29$ ) und der anschließenden maximalen Geschwindigkeit ein signifikant negativer Zusammenhang ( $p \leq 0,01$ ;  $p \leq 0,05$ ). Ebenfalls signifikant negativ ( $p \leq 0,01$ ) war der Zusammenhang zwischen der Länge des Laufweges von der Ballerwartungshaltung zum Netz und der Reaktionszeit ( $r = -0,46$ ) beziehungsweise der Dauer der Vorbereitung ( $r = -0,39$ ).

Bei Ausfallschritten ins Hinterfeld bestand ein signifikant positiver Zusammenhang ( $p \leq 0,01$ ) zwischen der Vorbereitungszeit und der maximalen Geschwindigkeit beziehungsweise der Länge des Laufweges ( $r = 0,34$ ;  $r = 0,4$ ). Zwischen der Reaktionszeit alleine und der maximalen Geschwindigkeit bei Laufwegen ins Hinterfeld mit anschließendem Ausfallschritt bestand kein Zusammenhang.

Die Dauer der Nachbereitung stand nur in einem signifikant negativen Zusammenhang mit der Länge des Weges zur Ballerwartungshaltung nach Ausfallschritten ins Hinterfeld. Je länger die Nachbereitungszeit dauerte, desto kürzer war der Laufweg in die Ballerwartungshaltung ( $p \leq 0,01$ ,  $r = -0,52$ ).

Kein Zusammenhang bestand zwischen China- und Umsprüngen und der Reaktionszeit beziehungsweise der Dauer der Vor- und Nachbereitung.

### **5.6.7 Prinzip der integrierten Rückkehr in den Umkehrpunkten**

Um eine Aussage über die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten in Bezug auf das Prinzip der integrierten Rückkehr machen zu können, wurden die einzelnen Techniken dreidimensional betrachtet. Der Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit vor dem Abbremsen wurde als T1 definiert. T2 war der Zeitpunkt der Geschwindigkeit im Umkehrpunkt und T3 der Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit nach dem ersten Abdruck.

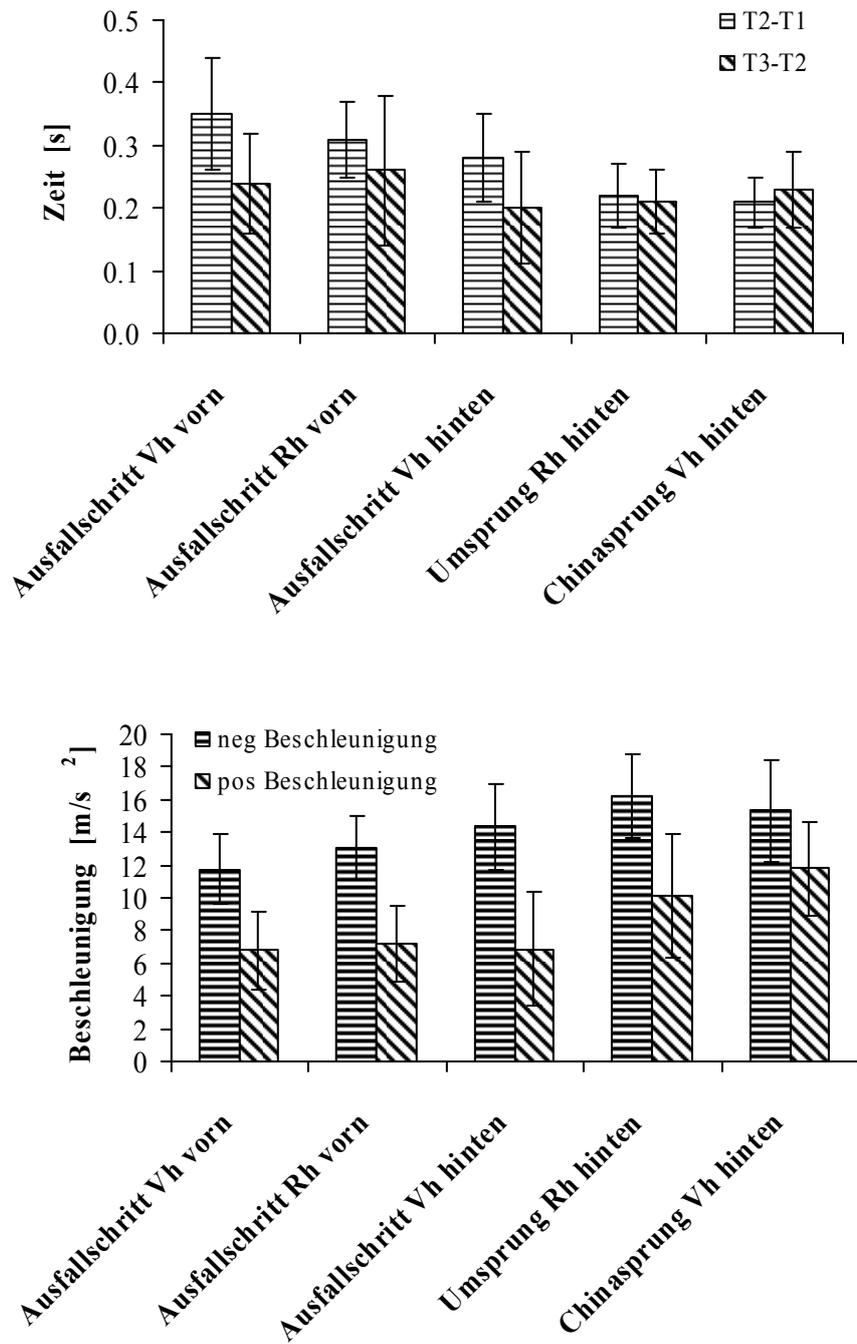


Abb. 62: oben: Dauer für den Abbremsvorgang und die erste Beschleunigung im Umkehrpunkt bei unterschiedlichen Techniken im Umkehrpunkt; unten: Negative und positive Beschleunigung in den Umkehrpunkten bei unterschiedlichen Techniken im Umkehrpunkt; Mittelwerte von n = 20

Umsprünge und Chinasprünge hatten die durchschnittlich geringste Zeitspanne im Umkehrpunkt (Abb. 62). Das Abbremsen und Wiedererlangen der Geschwindigkeit dauerte durchschnittlich 0,43 s. Die Dauer für das Abbremsen und die anschließende Beschleunigung waren annähernd gleich. Für einen Umsprung brauchten die Spieler durchschnittlich 0,22 s ( $\pm 0,05$  s) zum Abbremsen und 0,21 s ( $\pm 0,05$  s) für den ersten Beschleunigungsschub. Ähnlich verhielt es sich bei Chinasprüngen (0,21 s ( $\pm 0,04$  s); 0,23 s ( $\pm 0,06$  s)).

Bei Ausfallschritten dauerte der Abbremsvorgang deutlich länger. Für Ausfallschritte ans Netz war T2-T1 durchschnittlich 0,35 s ( $\pm 0,09$  s) in der Vorhandecke und 0,31 ( $\pm 0,12$  s) in der Rückhandecke. Die anschließende Zeit für die erste Beschleunigung war deutlich kürzer (0,24 s ( $\pm 0,09$  s); 0,26 s ( $\pm 0,08$  s)). Für Ausfallschritte auf die Vorhandecke hinten war T2-T1 durchschnittlich 0,28 s ( $\pm 0,07$  s) und T3-T2 0,20 s ( $\pm 0,09$  s). Die Differenzen der Dauer T2-T1 zwischen Ausfallschritten und Chinasprüngen beziehungsweise Umsprüngen waren signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Die Geschwindigkeitsdifferenz bei Chinasprüngen und Umsprüngen vor und nach dem Umkehrpunkt war bei den höchsten Beschleunigungswerten im Mittel am geringsten (0,5 m/s). Bei Ausfallschritten betrug die Differenz durchschnittlich 1,5 m/s. Die Differenzen bei Messwerten der positiven Beschleunigung zwischen Ausfallschritten und Chinasprüngen beziehungsweise Umsprüngen waren signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

## **6 Diskussion**

### **6.1 Methodenkritik**

#### **6.1.1 Probanden**

Die Kriterien für die Auswahl der Probanden beschränkten sich auf den Trainingsumfang sowie die Beherrschung der Lauftechnik. Es wurden nur Probanden der oberen vier Klassen Deutschlands ausgewählt. In einer komplexen Sportart wie Badminton unterscheiden sich ältere Spieler auf Grund ihrer Spielerfahrung trotz geringerem Trainingsumfang und damit verbundenen schlechteren physischen Leistungsparametern von jüngeren Spielern in der Leistungsstärke nicht. Deshalb sind die Mannschaften in Bezug auf das Alter häufig inhomogen. In der vorliegenden Studie führte dies zu einem Altersunterschied der Probanden von 20 Jahren. Die älteren Probanden hatten einen geringeren badmintonspezifischen Trainingsumfang als die jüngeren Probanden. Zudem bestand ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen der ergometrisch ermittelten relativen maximalen Sauerstoffaufnahme und dem Alter. Die geringere relative maximale Sauerstoffaufnahme der älteren Probanden kam auf Grund des höheren Gewichtes und dem damit verbundenen höheren Fettgehalt der älteren Probanden zustande.

Bei Untersuchungen an sporttreibenden Menschen ist es schwierig, Versuchsbedingungen und Untersuchungsabläufe zu standardisieren. Zudem muss der Umfang der zu messenden Parameter auf ein zumutbares Maß für die Probanden beschränkt sein. Die Datenerhebung verlief auf Grund der sehr kooperativen Probanden und deren Vereine sowie der Unterstützung der Sportmedizin und des Lehrstuhls für Trainingslehre und Biomechanik problemlos.

Die Anzahl der Probanden betrug zu Anfang der Studie 24. Zwei Probanden konnten aus beruflichen Gründen nicht alle Messtermine wahrnehmen. Es wurden deshalb nur 22 Probanden in die Auswertung einbezogen. Geringe Probandenzahlen können bei einer statistischen Auswertung Probleme verursachen, besonders wenn Parameter gemessen werden, die von Individuum zu Individuum differieren und von äußeren Einflüssen beeinflusst werden. So werden Laktatwerte beispielsweise durch die Ernährung sowie vom vorangegangenen Training beeinflusst.

Auf Grund der geringen Probandenzahl und der stark schwankenden Messwerte war nicht von einer Normalverteilung auszugehen. Deshalb wurde ein Signifikanztest für ein ordinales Skalenniveau angewendet. Bei geringen Probandenzahlen ergaben sich zudem nur wenige signifikante Veränderungen, sodass eventuelle Effekte durchaus unentdeckt geblieben sind. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie erheben deshalb nicht den Anspruch, allgemeingültig zu sein. Weitere Untersuchungen sind nötig, um die Ergebnisse zu bekräftigen.

### **6.1.2 Gütekriterien**

Eine wissenschaftliche Aussage entsteht nur dann, wenn Methoden angewendet werden, die bestimmten Gütekriterien entsprechen. Zu den Gütekriterien einer Messung gehören die Validität, Objektivität und die Reliabilität. Es wurden für die Datenerhebung ausschließlich standardisierte Messverfahren angewendet. Die Daten der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik sowie der dreidimensionalen Bewegungsanalyse wurden ausschließlich in der ZHS erhoben. Es wurde darauf geachtet, dass bei Mehrfachmessungen, wie bei der dreidimensionalen Bewegungsanalyse, immer dieselbe Sporthalle gewählt wurde. Die Daten der Spielanalyse wurden in den Vereinsturnhallen der einzelnen Vereine erhoben. Dies erfolgte während der Wettkampfphase, damit die Messwerte nicht durch eine längere Trainingspause verfälscht wurden. Klimatische Umfeldbedingungen waren nur bei der ergometrischen Diagnostik konstant zu halten. Störeinflüsse, durch z. B. unterschiedliche Raumtemperatur, sind bei den weiteren Analysen nicht auszuschließen.

Erklärungen der einzelnen Tests wurden immer von derselben Person durchgeführt. Die Probanden absolvierten alle Tests nach einer Aufwärmphase. Messgeräte und Messstationen wurden bedarfsgerecht kalibriert. Die Entnahme von Kapillarblut erfolgte nach defi-

nierten Kriterien und wurde immer von derselben Person vorgenommen. Die Proben wurden bedarfsgerecht transportiert, gelagert und gemessen.

### 6.1.3 Laufbandergometrie

Bei der Laufbandbelastung wurde darauf geachtet, dass die Probanden alle auf demselben Laufband laufen. Zu Anfang der Studie wurden die Stufenergometrie und der Vita-Max-Test mit einer am sportmedizinischen Institut üblichen Pause von einer Stunde hintereinander absolviert. Die maximale Sauerstoffaufnahme, die bei der stufenweise ansteigenden Spiroergometrie und dem Vita-Max Test von den einzelnen Probanden erreicht wurde, unterschied sich kaum. Die Maximalwerte der Spiroergometrie waren zum Teil höher als die beim Vita-Max Test gemessenen Werte der Sauerstoffaufnahme. Es wurde vermutet, dass die Erholungsphase zwischen den Tests nicht ausreichte. Deshalb wurde im Verlauf der Studie der Vita-Max Test auf einen zweiten Messtermin gelegt. Trotz der Verlegung des Vita-Max Tests auf einen anderen Tag, war die maximale Sauerstoffaufnahme in der Spiroergometrie und dem Vita-Max Test fast identisch. Als maximale Sauerstoffaufnahme wurde deshalb der jeweils höhere Wert der beiden Tests genommen. Eine mögliche Erklärung für die nahezu gleich hohe maximale Sauerstoffaufnahme bei der Spiroergometrie wie beim Vita-Max Test, war die durchschnittliche Belastungsdauer. Maximale Sauerstoffaufnahmewerte können in einer Stufenergometrie mit einer dreiminütigen Stufendauer nicht erreicht werden, wenn die gesamte Belastungsdauer größer als 20 Minuten ist (Astrand 1987). Bei einer Stufendauer von 3 Minuten und einer durchschnittlichen aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, wie sie unsere Probanden hatten, war auch in der Spiroergometrie, die unter 20 Minuten dauerte, die maximale Sauerstoffaufnahme erreicht worden.

Bei der Laufbandstufenergometrie können einige Faktoren die Ergebnisse verfälschen. Koordinative Probleme auf dem Laufband führen zu einer schnelleren Ermüdung und einem schnellen Anstieg der Laktatwerte (De Marees 2002). Bei einer kohlenhydratarmen Ernährung werden niedrigere Laktatwerte gemessen (De Marees 2002). Eine unfachgerechte Abnahme von Kapillarblut führt zu falschen Laktatwerten.

Die Vergleichbarkeit der Literaturdaten von Laufbandergometrien mit den Ergebnissen der Studie ist nur unter der Bedingung gegeben, dass die Belastungsprotokolle identisch waren.

#### 6.1.4 Datenerhebung in den Vereinsturnhallen

Die Datenerhebung bei den einzelnen Spielen in den Sporthallen der Vereine verlief problemlos. Jeweils zu Beginn des Spieles und am Ende eines Satzes wurde Kapillarblut zur Bestimmung der Laktatwerte abgenommen. Ein Problem liefert die Interpretation der Laktatwerte nach den einzelnen Sätzen, weil Laktat nach der Bildung in der Muskulatur durch Diffusion und aktiven Transport 1-10 min braucht, um ins Blut zu gelangen. Ursache ist der Konzentrationsgradient zwischen Muskel- und Blutlaktatkonzentration (De Marees 2002). Hohe Laktatwerte, die am Ende eines Satzes im Muskel entstanden sind, kämen unter Umständen erst am Ende des nächsten Satzes im Blut zum Tragen.

Die Laktatbildung im Badminton ist situationsabhängig. Eine Diskussion der Werte kann deshalb nur in Zusammenhang mit einer differenzierten Spielanalyse, zur der die Dauer der Ballwechsel, die Dauer der Pausen zwischen den Ballwechseln sowie die Anzahl der Kontakte pro Ballwechsel gehören, geführt werden.

Das Tragen der zur Messung spirometrischer Parameter notwendigen Atemmaske beim Spiel, gestaltete sich weitaus weniger problematisch als dies im Vorfeld der Studie angenommen wurde. Die Probanden versicherten, dass sie sich nicht eingeschränkt gefühlt hatten. In einer Studie von Siler (Siler 1993) hatte die Atemmaske bei Läufern keinen Einfluss auf die Bewegungsökonomie. Vor dem Spiel hatten die Probanden eine Gewöhnungsphase an die Maske. Direkt vor dem Spiel wurde noch einmal überprüft, ob die Maske mit der Gesichtshaut dicht schließt, und das Aufnahmegerät fest am Körper sitzt. Die ebenfalls zu tragende transportable Einheit von Cosmed K4b2, mit einem Gewicht von 600 g, war mit Rucksackträgern am Rumpf befestigt. Cureton et al. (Cureton, Sparling et al. 1978) kamen zu dem Schluss, dass ein zusätzlich zu tragendes Gewicht, das 10 % des Körpergewichtes nicht überschreitet, keinen Einfluss auf die Bewegungsökonomie hat.

Bei der Diskussion der Sauerstoffaufnahme und der Herzfrequenzen ist zu bedenken, dass die Messintervalle der Sauerstoffaufnahme und der Herzfrequenz unterschiedlich waren. Die Sauerstoffaufnahme wurde bei jedem Atemzug gemessen. Dies entsprach bei Belastung einer Messfrequenz von etwa alle zwei Sekunden. Die Herzfrequenz wurde alle 5 s aufgezeichnet.

### **6.1.5 Dreidimensionale Bewegungsanalyse**

Beim Aufbau der Messstation für die dreidimensionale Bewegungsanalyse wurde nach allgemeinen Qualitätskriterien vorgegangen. Die Entscheidung für ein vereinfachtes Körperschwerpunktmodell, das den Darmbeinstachel als Körperschwerpunkt annimmt, kann allerdings bei wenigen Bewegungen zu falschen Werten führen, zum Beispiel, wenn ein Spieler beim Ausfallschritt mit dem Oberkörper nach vorn klappt. In diesem Fall wäre der Körperschwerpunkt nach vorn verschoben und entspräche nicht mehr dem Darmbeinstachel. Probleme gab es auch beim Abtasten der Punkte am Gürtel, wenn einerseits der Gummigürtel mit den Tennisbällen nach oben verrutscht war oder andererseits nur eine der beiden Kameras einen Tennisball erfasste. Die Erfassung der Punkte am Bildschirm erfolgte immer von derselben Person.

Die Spieler hatten die Vorgabe, hohe Abwehrschläge in druckfreien Spielsituationen zu vermeiden. Dies führte dazu, dass der Ball häufiger flach und schnell gespielt wurde als dies vermutlich in einem Wettkampf der Fall gewesen wäre. Die Bewegung des Körperschwerpunkts in der vertikalen Bewegungsrichtung fiel dadurch möglicherweise geringer aus.

## **6.2 Leistungsdiagnostik und wettkampfähnliche Spiele**

### **6.2.1 Allgemeine aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit der Probanden**

Die im Labor mittels eines spiroergometrischen Stufentests erhobene maximale Sauerstoffaufnahme als ein Parameter für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit zeigte, dass die Probanden eine gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit hatten, und diese die Spielstärke beeinflusste.

Die gemessenen maximalen Parameter der Laufbandbelastungen, Stufenergometrie und Vita-Max Test, wurden auf Ausbelastung geprüft (De Marees 2002), um eine exakte Aussage über die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit machen zu können. Bei allen 22 Probanden konnte sowohl bei der Stufenergometrie als auch beim Vita-Max Test von einer Ausbelastung ausgegangen werden. Bei der Beurteilung der allgemeinen aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, wurde die auf das Körpergewicht bezogene relative Sauerstoffaufnahme

mefähigkeit herangezogen, um die Werte der Probanden vergleichen zu können (Zintl und Eisenhut 2001).

Die bei den 22 Probanden gemessene durchschnittliche relative maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit von 61,0 ml/kg/min ( $\pm$  5,9 ml/kg/min) entspricht einer aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit für Ausdauertrainierte (Hollmann und Hettinger 1990; Zintl und Eisenhut 2001) und ist für Sportspielarten im oberen Bereich anzusiedeln (Neumann und Schüler 1989). Für Badmintonspieler entspricht dies einer mittleren aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit. Von Spielern der nationalen und internationalen Spitze werden Werte in einem Bereich von 55,7 bis 65 ml/kg/min berichtet (Faccini und Dal Monte 1996; Omosegaard 1996; Cabello und Gonzales-Badillo 2003).

Die Leistungen und kardialen und energetischen Parameter, die an der individuellen aeroben und anaeroben Schwelle gemessen wurden, unterstützen die Einstufung der Probanden in Ausdauertrainierte (Kindermann 1978; Zintl und Eisenhut 2001). Die individuelle aerobe Schwelle lag bei 64 % und die individuelle anaerobe Schwelle bei 81 % der maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit. Trainierte haben die aerobe Schwelle zwischen 60 und 65 % ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit und die anaerobe Schwelle in einem Bereich zwischen 70 und 80 % (Kindermann 1978). Speziell für Badmintonspieler liegen die ermittelten Werte der anaeroben Schwelle in einem durchschnittlichen Bereich (Vistisen 1987).

Die Herzfrequenz an der aeroben Schwelle betrug 152 Schläge/min ( $\pm$  11 Schläge/min) und an der anaeroben Schwelle 176 Schläge/min ( $\pm$  9 Schläge/min). Kindermann (Kindermann 1978) geben für durchschnittlich Trainierte 150-160 Schläge/min an der aeroben Schwelle und die anaerobe Schwelle in einem Bereich von 170 -175 Schläge/min an.

Auch die ermittelten Blutlaktatwerte an der individuellen anaeroben Schwelle (3,55 mmol/l ( $\pm$  0,46 mmol/l)) sprechen für eine gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit der Probanden. Ausdauerathleten haben an der anaeroben Schwelle einen Blutlaktatwert unter 4 mmol/l (De Marees 2002).

Zwischen der Leistungsstärke der Spieler und der maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit beziehungsweise der Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle bestand

ein Zusammenhang. Je höher die relative maximale Sauerstoffaufnahme eines Spielers war, desto höher war seine Spielstärke. Der Einfluss auf die Spielstärke, der sich in der Ordinalen Regression als signifikant erwies, hatte jedoch keine Auswirkungen auf die im Spiel gemessenen Blutlaktatwerte, weil sich die Spielpaarungen in der vorliegenden Studie aus annähernd gleichstarken Gegnern zusammensetzten. Wie man in der Einzelfallanalyse und der Analyse der Gewinner und Verlierer sehen konnte, ist die körperliche Beanspruchung für einen Spieler sehr stark von der Spielstärke des Gegners abhängig.

## **6.2.2 Durchschnittliche energetische und kardiale Beanspruchung im Spiel**

Die Messung der kardialen und metabolischen Parameter auf dem Spielfeld ergab, dass die durchschnittliche körperliche Beanspruchung in einem Herreneinzel über die Dauer des ganzen Spieles im Bereich der individuellen anaeroben Schwelle liegt, die Beanspruchung für den Einzelnen allerdings sehr variabel und vom Gegner abhängig ist.

### **6.2.2.1 Sauerstoffaufnahme**

Die durchschnittliche Beanspruchung der 22 Probanden im Spiel lag bei 74 % ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme und leicht unter der im Stufentest ermittelten anaeroben Schwelle (91 %). Bei Betrachtung einzelner Spiele kann man jedoch eine große Variabilität der individuellen Beanspruchung feststellen. In zwei verschiedenen 5-Satz-Spielen betrug die Beanspruchung für einen Spieler 61 % seiner maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit und für einen anderen Spieler 95 %. Durchschnittlich blieben die gemessenen Werte der Sauerstoffaufnahme bei 18 der 22 Spieler unter ihren in der Spiroergometrie ermittelten individuellen anaeroben Schwellenwerten.

Die Kurvenverläufe der atemzugsweise gemessenen Sauerstoffaufnahme zeigten, dass es während des Spieles zu Belastungsspitzen kommt. Die einzelnen Ballwechsel konnten Belastungsanstiegen zugeordnet werden. Da die Sauerstoffaufnahme in den Pausen zwischen den Ballwechseln schnell abnahm, kann man davon ausgehen, dass die Beanspruchung bei schnellen Ballwechseln höher war als die gemessenen Durchschnittswerte dies widerspiegeln.

Die durchschnittliche relative maximale Sauerstoffaufnahme (56,3 ml/kg/min ( $\pm$  6,3 ml/kg/min)) im Spiel lag deutlich über den Messwerten der individuellen anaeroben Schwelle.

Ein Spieler z. B. hatte eine in der stufenweise ansteigenden Spiroergometrie ermittelte relative maximale Sauerstoffaufnahme von 63,8 ml/kg/min, kann also als ausdauertrainierter Athlet bezeichnet werden. Seine durchschnittliche Sauerstoffaufnahme im Spiel lag unterhalb seiner Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle. Die Werte der einzelnen Ballwechsel im zweiten Satz seines Spieles waren jedoch zum Teil bei 94 % seiner relativen maximalen Sauerstoffaufnahme. Entsprechend dazu lagen die durchschnittliche Herzfrequenz im zweiten Satz und der am Ende des zweiten Satzes gemessene Blutlaktatwert ebenfalls über dem anaeroben Schwellenwert.

Faude et al. (Faude, Meyer et al. 2007) fanden bei 4 männlichen Badmintonspielern bei einem 30 Minuten lang dauernden Badmintonspiel bei einer ähnlichen, im Stufentest ermittelten, relativen maximalen Sauerstoffaufnahme (61,8 ml/min/kg), die gleiche prozentuale Sauerstoffaufnahme (74 %). In einer Untersuchung von Faccini et al. (Faccini und Dal Monte 1996), die zur Messung der Sauerstoffaufnahmewerte ebenfalls Cosmed K4b2 (Cosmed K4b2 der Firma COSMED S.r.l., Italien) verwendeten, wurde bei Spielern nationaler Ebene mit einer vergleichbaren relativen maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit (59,8 ml/kg/min ( $\pm$  4,4 ml/min/kg)) eine niedrigere Sauerstoffaufnahme im Spiel gemessen, durchschnittlich (60,4 %) und maximal (85,8 %). Omosegaard (Omosegaard 1996) berichtet hingegen von einer Sauerstoffaufnahme während einem Einzelspiel, die zwischen 80 und 100 % der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit lag. In anderen Studien wurde die Sauerstoffaufnahme anhand der gemessenen Herzfrequenzen geschätzt, was bei der Annahme einer kontinuierlichen Herzfrequenz-Sauerstoffbeziehung jedoch zu falschen Werten führen kann (Baum, Leyk et al. 1997). Die von Majumdar et al. (Majumdar, Khanna et al. 1997) geschätzte Sauerstoffaufnahme im Spiel betrug beispielsweise 57,1 ml/kg/min und lag damit über der im Stufentest gemessenen Sauerstoffaufnahme (55,7 ml/kg/min).

Der Einfluss der relativen maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit auf die Spielstärke hatte, wie bereits diskutiert, keine Auswirkung auf die im Spiel gemessenen Blutlaktatwerte. Thoden (Thoden 1991) vermutet, dass bei gleicher intervallförmiger Belastung eine

gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit die anaerobe Energiebereitstellung hinauszögern kann. Diese Annahme unterstützt eine Untersuchung von Tomlin (Tomlin 1998), in welcher Ausdauertrainierte bei einer intervallförmigen Belastung mit 6 Sekunden lang dauernden Sprints bei gleicher Leistung eine höhere Sauerstoffaufnahme hatten als Untrainierte. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diese Untersuchung. Es bestand ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der im Stufentest ermittelten relativen Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle und der im Spiel gemessenen durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme der Spieler. Das bedeutet, dass Spieler mit einer besseren aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit ein größeres Potential zum Ausschöpfen haben.

#### **6.2.2.2 Herzfrequenz**

Die Herzfrequenz der Spieler betrug während der einzelnen Sätze durchschnittlich 170 Schläge/min ( $\pm 8$  Schläge/min). Dies entsprach 86 % ihrer maximalen Herzfrequenz und 97 % der durchschnittlichen Herzfrequenz an ihrer individuellen anaeroben Schwelle.

Die im Spiel gemessene durchschnittliche maximale Herzfrequenz lag bei 185 Schläge/min ( $\pm 9$  Schläge/min), was prozentual 93 % der im Stufentest ermittelten maximalen Herzfrequenz entsprach. Sieben Spieler hatten eine durchschnittliche Herzfrequenz, die über der Herzfrequenz an ihrer individuellen anaeroben Schwelle lag. Andere Untersuchungen kamen zu ähnlichen Ergebnissen (Mikkelsen 1978; Docherty 1982; Faccini und Dal Monte 1996; Liddle, Murphy et al. 1996; Majumdar, Khanna et al. 1997; Cabello und Gonzales-Badillo 2003). Faccini et al. (Faccini und Dal Monte 1996) hatten eine durchschnittliche Herzfrequenz von 160,9 Schläge/min ( $\pm 10,1$  Schläge/min) (82,6 %) und eine durchschnittliche maximale Herzfrequenz von 188 Schläge/min ( $\pm 8,6$  Schläge/min) (97 %) gemessen. Majumdar et al. (Majumdar, Khanna et al. 1997) geben eine durchschnittliche Herzfrequenz von 157 Schläge/min ( $\pm 11$  Schläge/min) (85 %) an. Die durchschnittliche maximale Herzfrequenz lag in dieser Untersuchung bei 183 Schläge/min ( $\pm 9$  Schläge/min), was der im Stufentest ermittelten durchschnittlichen maximalen Herzfrequenz entsprach.

In Relation zu den im Stufentest ermittelten Maximalwerten von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme, lagen die im Spiel durchschnittlich gemessenen Herzfrequenzen im Ver-

gleich zu den Werten der Sauerstoffaufnahme um 12 % höher. In anderen Studien wurde die gleiche Beobachtung gemacht (Faccini und Dal Monte 1996; Majumdar, Khanna et al. 1997). Dabei werden unterschiedliche Erklärungen angeführt. Baum et al. (Baum, Leyk et al. 1997) haben bei einer Dauer- und einer Intervall- Laufbandbelastung (10 Sekunden Belastung/10 Sekunden Pause) die Herzfrequenzen und die Sauerstoffaufnahme gemessen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass man mit Hilfe der kontinuierlich ermittelten Herzfrequenz-Sauerstoffaufnahme-Beziehung die Sauerstoffaufnahme der Intervallbelastung um 0,5 l/min überschätzt. Omosegaard (Omosegaard 1996) erklärt die im Verhältnis niedrigeren Sauerstoffaufnahmewerte bei intervallförmigen Belastungen mit der Funktion des Myoglobin als Sauerstoffspeicher. Astrand et al. (Astrand und Rodahl 1968) und Parker et al. (Parker, Hurley et al. 1989) nehmen dagegen an, dass die im Verhältnis hohen Herzfrequenzen im Spiel mit einer erhöhten Aktivität des Sympathikus bei Armarbeit über dem Kopf zusammenhängen.

### 6.2.2.3 Blutlaktat

Der Blutlaktatwert vor dem Spiel lag durchschnittlich bei 1,21 mmol/l ( $\pm$  0,40 mmol/l). Werte von 0,8-1,5 mmol/l sind im Ruhezustand als normal anzusehen (Bergeron, Kraemer et al. 1991; De Marees 2002). Dies zeigt, dass die Einspielphase für die Spieler nicht zu intensiv war. Über die Dauer des ganzen Spieles lag der durchschnittliche Blutlaktatwert bei 3,64 mmol/l ( $\pm$  1,8 mmol/l) und damit leicht über dem Wert der ermittelten anaeroben Schwelle. Es ergab sich allerdings eine große Variabilität zwischen den einzelnen Spielen (1,05-7,22 mmol/l). Der im Stufentest ermittelte Blutlaktatwert an der individuellen anaeroben Schwelle betrug 3,55 mmol/l ( $\pm$  0,46 mmol/l). Bei 10 von 22 Spielen wurde dieser Wert überschritten.

Die durchschnittlichen Blutlaktatwerte sind in einem Bereich, der den Angaben der Literatur von anderen Studien entspricht (Mikkelsen 1978; Faccini und Dal Monte 1996; Weiler, Urhausen et al. 1997; Cabello und Gonzales-Badillo 2003). Die Einzelwerte weisen eine ähnlich große Variabilität auf (Weiler, Urhausen et al. 1997). In einer Untersuchung von Weiler et al. (Weiler, Urhausen et al. 1997) variierten die Blutlaktatwerte von 2,1-8,8 mmol/l bei einem Durchschnittswert von 4,5 mmol/l. Faccini et al. (Faccini und Dal Monte 1996) beobachteten etwas geringere Durchschnittswerte (2,9 mmol/l ( $\pm$  0,7 mmol/l)). Cabello et al. (Cabello und Gonzales-Badillo 2003) hatten einen

durchschnittlichen Laktatwert von 3,8 mmol/l Laktat gemessen, der zwischen 2,4 mmol/l und 5,1 mmol/l lag.

Im Gegensatz zu den durchschnittlich gemessenen Herzfrequenzen und der Sauerstoffaufnahme lagen die in dieser Studie gemessenen Blutlaktatwerte leicht über den anaeroben Schwellenwerten. Dies kann auf einen Anstieg der Blutlaktatwerte durch einzelne intensive Ballwechsel zurückgeführt werden. Ein Ballwechsel kann bis zu 40 Sekunden dauern und wird von Anfang bis zum Ende mit annähernd gleicher Intensität gespielt (Kollath, Bochow et al. 1987). Bei aufeinander folgenden intensiven Ballwechseln mit kurzer Pause zwischen den Ballwechseln, kann es zu einer Akkumulation von Blutlaktat kommen (De Marees 2002).

Die hohe kardiale und metabolische Beanspruchung bei langen Ballwechseln könnte vermuten lassen, dass die durchschnittlichen Blutlaktatwerte noch höher ausfallen. Omosegaard (Omosegaard 1996) erklärte die niedrigen Blutlaktatwerte mit dem Charakter der Intervallbelastung. Er hat bei gleicher körperlicher Arbeit Blutlaktatwerte von Dauer- und Intervallbelastung gemessen. Bei der Dauerbelastung lag die 4 mmol/l Schwelle bei 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit, wohingegen bei einem Wechsel von 10 Sekunden Belastung/10 Sekunden Pause die 4 mmol/l - Schwelle 85 % der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit entsprach. Dies zeigt, dass bei gleicher Belastung die Blutlaktatkonzentration bei Intervallarbeit geringer ist als bei einer Dauerbelastung. Omosegaard (Omosegaard 1996) erklärt die niedrigeren Blutlaktatwerte bei Intervallbelastungen mit der Funktion von Myoglobin als Sauerstoffspeicher. Astrand (Astrand 1987) untersuchte unterschiedliche Verhältnisse von intensiver Belastung und Pausen. Sie kam zu dem Schluss, dass bei kurzen hochintensiven Belastungen mit kurzen Pausen der Grad der Beanspruchung niedrig bleibt. Eine Person, die mit hoher Intensität für eine kurze Periode arbeitet, hat trotz eines unzureichenden Sauerstofftransportes während der Arbeit eine adäquate Sauerstoffzufuhr. Die Milchsäurekonzentration steigt nicht. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Funktion von Myoglobin. Myoglobin versorgt die Muskulatur am Anfang jeder Arbeitsperiode mit Sauerstoff. Myoglobin befindet sich in den Muskelzellen, ist nahe verwandt mit Hämoglobin und hat das Vermögen, Sauerstoff zu binden. Das am Myoglobin gebundene Volumen Sauerstoff muss daher von der Größenordnung sein, dass der Sauerstoff am Anfang einer Arbeit daraus gedeckt wird, wenn diese Periode nicht zu lang ist,

das heißt höchstens 30 s dauert. Während der Ruhephase wird das Myoglobin in wenigen Sekunden wieder mit Sauerstoff geladen.

Eine weitere Erklärung für die geringen Blutlaktatwerte ist die permanente Verstoffwechslung des anfallenden Blutlaktates während des Spiels. Die Halbwertszeit für Blutlaktat in einem Bereich von 5 mmol/l beträgt etwa 10 min (De Marees 2002). Aktive Erholung verkürzt die Verstoffwechslung von Blutlaktat erheblich. Die Annahme unterstützend, dass Blutlaktat eliminiert wird, ist der signifikant positive Zusammenhang zwischen der Höhe der Pausenherzfrequenzen und der Höhe der durchschnittlichen Blutlaktatwerte.

### **6.2.3 Energetische und kardiale Beanspruchung über die Dauer des ganzen Spieles**

Die Pausenherzfrequenz, die am Ende jeder Pause gemessen wurde, ist ein Parameter, der Aufschluss über eine gleich bleibende oder steigende Beanspruchung für den Spieler geben kann. Die Pausenherzfrequenz in den einheitlich 90 Sekunden dauernden Pausen betrug durchschnittlich 126 Schläge/min ( $\pm 9$  Schläge/min). Dies entsprach 64 % der maximalen Herzfrequenz. Die Pausenherzfrequenz stieg in den 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spielen kontinuierlich an. Die Differenz von 6 % zwischen der ersten Pause und der Pause vor dem letzten Satz war signifikant ( $p < 0,05$ ). Die steigende Pausenherzfrequenz lässt auf eine steigende körperliche Belastung schließen, da das Herzfrequenzverhalten nach Belastung von der Schwere der vorher geleisteten Arbeit und der Größe des anaerob bereitgestellten Energieanteils abhängt (De Marees 2002). Betrachtet man die kardialen und metabolischen Parameter zusammenhängend über den Verlauf eines ganzen Spieles hinweg, kann man aber nicht von einer steigenden Belastung ausgehen. Der 2. Satz war in den 4-Satz- und 5-Satz-Spielen der intensivste. Sowohl die Sauerstoffaufnahme als auch die Blutlaktatwerte hatten im 2. Satz einen Anstieg, der im 3. Satz wieder zurückging. Unterstützend für diese Beobachtung wurden im 2. Satz die durchschnittlich längsten Ballwechsel und häufigsten Kontakte pro Ballwechsel gespielt. Bei den 4-Satz-Spielen senkten sich die durchschnittlichen Blutlaktatwerte und die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme im 4. Satz geringfügig, bei den 5-Satz-Spielen hingegen stiegen die Blutlaktatwerte bei leicht fallender Sauerstoffaufnahme im 4. und 5. Satz wieder etwas an. Die Schwankungen der Blutlaktatwerte waren von Satz zu Satz nie höher als 0,5 mmol/l. Bei einigen Spielern konnte man ein „Laktat-Steady-State“ oberhalb der anaeroben Schwelle erkennen, wie es bei Rückschlagsportarten

mit intervallförmigen Belastungen in der Literatur beschrieben wird (Astrand, Astrand et al. 1960; Baum, Kerst et al. 1996; Leyk, Baum et al. 1996). Die durchschnittliche Herzfrequenz schwankte nach dem Anstieg im 2. Satz der 4-Satz- und 5-Satz-Spiele ebenfalls nur um 1 %.

Die signifikant steigenden Pausenherzfrequenzen sind demnach nicht auf eine steigende Belastung zurückzuführen. Sie können teilweise mit einem Anstieg der Körperkerntemperatur erklärt werden. Bei einer Beanspruchung, die 70 % der maximalen Sauerstoffaufnahme beträgt, erhöht sich die Körperkerntemperatur auf ca. 38,5 °C (De Marees 2002). Andererseits ist eine Erklärung der steigenden Pausenherzfrequenzen die Elimination von Blutlaktat. Es bestand ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der Höhe der durchschnittlichen Blutlaktatwerte und der Höhe der Pausenherzfrequenzen. Das Sauerstoffdefizit muss am Ende der Belastung durch eine Sauerstoffmehraufnahme wieder ausgeglichen werden. In dieser Phase wird Blutlaktat eliminiert, die energiereichen Speicher ATP und Kreatinphosphat werden ebenso aufgefüllt wie die Myoglobin-Sauerstoffspeicher und das Hämoglobin. Das venöse Blut weist am Arbeitsende einen verringerten O<sub>2</sub>-Gehalt auf, da von der Muskulatur vermehrt O<sub>2</sub> entnommen wurde. Die erhöhte arterio-venöse Sauerstoffdifferenz wird nach Arbeitsende rasch ausgeglichen (Weicker 1994; Schmidt und Thews 1995).

Die Ergebnisse aller Messwerte kardialer und energetischer Parameter im Verlauf lassen darauf schließen, dass die energetische Beanspruchung während eines Spieles für den einzelnen Spieler beinahe konstant bleibt und im Mittel im Bereich der anaeroben Schwelle liegt. Es gibt allerdings auch Spieler, deren Blutlaktatplateau sich weit oberhalb der anaeroben Schwelle bewegt. Der signifikante Zusammenhang zwischen kardialen und metabolischen Parametern und der intervallförmigen Belastung zeigte außerdem, dass geringfügige Veränderungen in der Dauer der Ballwechsel sich auf kardiale und metabolische Parameter auswirken. Bei langen intensiven Ballwechseln wird die Energie anaerob laktazid bereitgestellt. Es kommt zum Anstieg der Blutlaktatwerte. Eine Akkumulierung der Blutlaktatwerte über die Dauer des Spieles hinweg findet jedoch nur in geringem Maße statt, was bedeutet, dass die Spieler während des Spieles Blutlaktat abbauen. Hohe Blutlaktatwerte können die Koordination negativ beeinflussen (Urhausen, Coe et al. 1990). Die signifikant ansteigende Pausenherzfrequenz lässt auf eine Wiederauffüllung der energiereichen Speicher und einen Abbau der Blutlaktatwerte schließen. Der zeitweilige Abbau

der Blutlaktatwerte und die leicht sinkende Sauerstoffaufnahme verstärken die Annahme, dass die Spieler nach intensiven Spielabschnitten bewusst die intervallförmige Belastung mit längeren Pausen oder kürzeren Ballwechseln umgestalten.

Spieler mit einer guten aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit haben bei der im Spiel analysierten kardialen und metabolischen Beanspruchung Vorteile gegenüber Untrainierten. Sie können über einen längeren Zeitraum die Energie aerob bereitstellen. Eine große Bedeutung kommt, wie bereits ausführlich diskutiert, bei intervallförmigen Belastungen dem Myoglobin als Sauerstoffspeicher zu (Astrand 1987; Omosgaard 1996). Zusätzlich können sie Laktat schneller verstoffwechseln und haben eine schnellere Regeneration (Bassett, Merrill et al. 1991; Tomlin und Wenger 2001).

#### **6.2.4 Energetische und kardiale Beanspruchung für Gewinner und Verlierer**

Die energetischen und kardialen Parameter, die während des Spieles gemessen wurden, unterschieden sich bei der Betrachtung aller Gewinner und Verlierer nicht. Signifikant war jedoch die Differenz zwischen Gewinner und Verlierer von 3-Satz- und 4-Satz-Spielen. Die physische Beanspruchung war für die Verlierer höher als für die Gewinner. In den 5 Satz-Spielen dagegen war die physische Beanspruchung annähernd gleich. Faude et al. (Faude, Meyer et al. 2007) konnten keinen Unterschied zwischen Verlierer und Gewinner messen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass alle Spiele nach 30 Minuten abgebrochen wurden und damit keine Aufteilung in 2-Satz- und 3-Satz-Spiele vorgenommen werden konnte.

Die Blutlaktatwerte lagen für die Gewinner der 3-Satz- und 4-Satz-Spiele durchschnittlich im Bereich der aeroben Schwelle, die der Verlierer hingegen waren nahe an der anaeroben Schwelle. Die gemessenen Pausenherzfrequenzen waren für die Verlierer ebenfalls deutlich höher als für die Gewinner. Die Anstiege beziehungsweise Senkungen der metabolischen und kardialen Parameter verliefen für Gewinner und Verlierer parallel. In 3-Satz- und 4 Satz-Spielen scheint eine große Überlegenheit der Gewinner vorhanden zu sein. Hong et al. (Hong und Tong 2000) haben 10 Einzelspiele von internationalen Spitzenspielern analysiert. Der Unterschied zwischen Verlierer und Gewinner basierte hauptsächlich auf einer höheren Genauigkeit der Schläge der Gewinner, was in einer geringeren Laufarbeit für die Gewinner resultierte.

In den 5-Satz-Spielen war das Spiel ausgeglichen. Die kardialen und metabolischen Parameter unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die durchschnittlichen Herzfrequenzen, Pausenherzfrequenzen und Blutlaktatwerte von Verlierer und Gewinner lagen in allen 5 Sätzen nahe beieinander. Die Höhe der Blutlaktatwerte läßt auf eine Beanspruchung beider Spieler, über die Dauer des ganzen Spieles, nahe der anaeroben Schwelle schließen. Wie bei den 3-Satz- und 4-Satz-Spielen waren die Anstiege und Senkungen der Blutlaktatwerte über die Dauer des Spieles parallel. Die hohe körperliche Beanspruchung der Gewinner und Verlierer bei 5-Satz-Spielen zeigt, dass bei gleicher Spielstärke, die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit spielentscheidend sein kann.

### **6.2.5 Intervallförmige Belastung**

Die intervallförmige Belastung, also das Verhältnis von Ballwechsel zu dazwischen liegenden Pausen, wurde analysiert. Von besonderem Interesse waren die Zusammenhänge zwischen der intervallförmigen Belastung und der kardialen und metabolischen Beanspruchung.

Die aktive Spielzeit der 3-Satz-Spiele, ohne die 90 Sekunden Pausen, war mit 14 min ( $\pm 3,5$  min) am kürzesten. Die 4-Satz-Spiele dauerten 19,6 min ( $\pm 3,4$  min), und die 5-Satz-Spiele waren mit 25 min ( $\pm 2,8$  min) am längsten. Die 3-Satz- und 4-Satz-Spiele waren durchschnittlich kürzer als Spiele, welche nach dem 2006 eingeführten „ralley point“ System gespielt wurden, die 5-Satz Spiele hingegen waren vergleichbar (Miller 2006). Die effektive Spielzeit, die als Summe der Ballwechsel ohne Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln definiert ist, betrug für alle Spiele durchschnittlich 39 %. Ähnliche Werte ergaben sich in anderen Studien (Weber 1982; Cabello und Gonzales-Badillo 2003).

Ein Ballwechsel dauerte durchschnittlich 5,12 s ( $\pm 3,4$  s). Der längste Ballwechsel war 30 Sekunden lang. Die durchschnittliche Pause zwischen den Ballwechseln betrug 8,4 s ( $\pm 2,8$  s). Sowohl die Dauer der Ballwechsel als auch die Pausendauer sind im Vergleich mit anderen Studien an der unteren Grenze (Docherty 1982; Zhabankov 1997; Prichard, Hughes et al. 2001; Cabello und Gonzales-Badillo 2003; Faude, Meyer et al. 2007). Am häufigsten wurden Ballwechsel gespielt, die 3 Sekunden dauerten. 86 % aller Ballwechsel waren 1-8 Sekunden lang, 11 % dauerten zwischen 9 und 13 Sekunden und nur 3 % der Ballwechsel waren länger als 14 Sekunden. Faude et al. (Faude, Meyer et al. 2007) und

Cabello et al. (Cabello und Gonzales-Badillo 2003) fanden eine annähernd gleiche Verteilung der Dauer der Ballwechsel. Der Anteil von 86 % an Ballwechseln, die zwischen 1-8 Sekunden dauerten, deren größter Anteil wiederum bei 3 Sekunden lag, unterstreicht die Bedeutung der Energiebereitstellung aus dem Kreatinphosphatspeicher und dem Myoglobin als Sauerstoffspeicher.

Die kardiale und metabolische Beanspruchung über die einzelnen Sätze hinweg lässt darauf schließen, dass die Spieler versuchen, in einem aeroben Beanspruchungsbereich zu bleiben, um einen Leistungsabfall zu vermeiden. Wooten et al. (Wooten und Williams 1983) fanden bei intervallförmigen 6 Sekunden lang dauernden Sprints hin zu kürzeren Pausenzeiten einen Leistungsabfall. Omoeggaard (Omoeggaard 1996) gibt taktische Ratschläge: „Um aus einer energetisch ungünstigen Lage herauszukommen, muss der Spieler entweder kürzere Ballwechsel spielen oder längere Pausen zwischen den Ballwechseln machen“.

In der vorliegenden Studie folgten nach anstrengenden Sätzen Phasen mit im Mittel geringerer kardialer und metabolischer Beanspruchung. Dies können die Spieler durch gezielt lange Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln sowie durch eine Veränderung der Spielweise erreichen.

Zunächst wurden die Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln betrachtet. Die Dauer der Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln stieg vom ersten bis zum letzten Satz signifikant an, während die durchschnittliche Dauer der Ballwechsel und die Anzahl der Kontakte keinen Anstieg zeigten. Die effektive Spielzeit sank zu Lasten der längeren Pausen vom zweiten zum letzten Satz signifikant. Trotzdem gab es keinen Zusammenhang zwischen der Dauer der Pausen und den im Spiel erhobenen kardialen und metabolischen Parametern.

Cabello et al. (Cabello und Gonzales-Badillo 2003) fanden einen positiven Zusammenhang zwischen der Dauer der Ballwechsel und der folgenden Pause. In der vorliegenden Studie bestand kein Zusammenhang zwischen der Dauer der Ballwechsel und der folgenden Pause. Dies liegt möglicherweise einerseits an der unterschiedlich langen Gestaltung der Pausen einzelner Spieler für gleich lang dauernde Ballwechsel, andererseits aber auch an dem bereits diskutierten kontinuierlichen Anstieg der Dauer der Pausen, trotz gleich bleibender Dauer der Ballwechsel, im Verlauf des Spieles. Bei einer Unterteilung der Ball-

wechsel in Ballwechsel, die 8 Sekunden und kürzer dauerten und Ballwechsel die länger als 8 Sekunden dauerten, war die Differenz zwischen der Dauer der Pausen signifikant. Bei längeren Ballwechseln dauerte die anschließende Pause jedoch im Mittel nur 0,9 Sekunden länger als bei kürzeren Ballwechseln.

Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Spieler bewusst oder unbewusst auf die Dauer der Pausen Einfluss genommen haben, die Einflussnahme jedoch nicht unbedingt auf einzelne intensive Spielabschnitte bezogen war.

Eine Veränderung der Spielweise kann sich auch in der Dauer der Ballwechsel und der Kontakte pro Ballwechsel zeigen. Zwischen der Anzahl der Kontakte pro Ballwechsel und allen im Spiel durchschnittlich gemessenen kardialen und metabolischen Parametern bestand ein signifikant positiver Zusammenhang.

Bei den 4-Satz- und 5-Satz-Spielen waren im jeweils 2. Satz die Anzahl der Kontakte am höchsten und die Dauer der Ballwechsel am längsten. Die Sauerstoffaufnahme der Spieler war in diesen Sätzen am höchsten, und auch die Blutlaktatwerte hatten im 2. Satz der 4 Satz- und 5-Satz-Spiele einen Anstieg. Im 3. Satz wurde die Anzahl der Kontakte pro Ballwechsel weniger, und die Dauer der Ballwechsel wurde kürzer. Als mögliche Folge davon gingen die gemessenen Werte der Sauerstoffaufnahme und des Blutlaktates leicht zurück.

Keinen Zusammenhang gab es zwischen dem Spieltempo (Schläge/s) und den kardialen und metabolischen Parametern. Jedoch lässt der stärkere Zusammenhang zwischen der Anzahl der Kontakte als zwischen der Dauer der Ballwechsel und den kardialen und metabolischen Parametern darauf schließen, dass ein hohes Spieltempo bei langen Ballwechseln die körperliche Beanspruchung erhöht.

Das Ergebnis, dass bereits eine geringe Veränderung der intervallförmigen Belastung sich auf kardiale und metabolische Parameter auswirkt, unterstreicht die Bedeutung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit. Haben zwei Spieler die gleiche Spielstärke, hat der Spieler mit der besseren aeroben Ausdauer einen entscheidenden Vorteil. Einerseits kann er selbst das Spiel variieren und damit den Gegner in eine ungünstige energetische Lage bringen, andererseits kann er einem Tempowechsel des Gegners ohne konditionelle Einbußen standhalten.

## 6.3 Dreidimensionale Bewegungsanalyse

Mit der dreidimensionalen Bewegungsanalyse sollten Unterschiede zwischen den einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten in Verbindung mit den dazugehörigen Laufwegen hinsichtlich ihrer Geschwindigkeits-Zeit-Strukturen aufgedeckt werden. Zudem sollten Zusammenhänge zwischen Bewegungsverhalten in den Umkehrpunkten bzw. der Ballerwartungshaltung und den Geschwindigkeits-Zeit-Strukturen bei Laufwegen untersucht werden.

### 6.3.1 Laufwege

Es gibt nur wenige Studien, die sich mit der Länge der Laufwege auf dem Spielfeld beschäftigen haben. Die wenigen Studien wurden zweidimensional erfasst, und es wurde keine Differenzierung in einzelne Laufaktionen vorgenommen.

Bei der Bestimmung der Länge der Laufwege ergaben sich in unserer Studie Werte, die denen von früheren Spitzenspielern entsprechen. Bei internationalen Spitzenspielern wurden Laufwege pro Schlag von im Mittel 3,1 m gemessen (Kollath 1996). Dies entspricht in unserer Studie der Addition der Laufaktionen zum Ball (1,79 m) und in die Ballerwartungshaltung (1,38 m).

Betrachtet man die Laufwege differenziert in die einzelnen Techniken, waren Laufwege ins Hinterfeld mit China- und Umsprung im Umkehrpunkt länger als Laufwege ans Netz mit abschließendem Ausfallschritt, weil bei diesen Techniken der Ball direkt über dem Kopf geschlagen wird. Bei Ausfallschritten dient der Schläger als Verlängerung des Armes, sodass der Balltreffpunkt weit vor dem Körper ist. Laufwege mit anschließendem Ausfallschritt im Hinterfeld hatten eine ähnliche durchschnittliche Länge wie Laufwege ans Netz, unterschieden sich jedoch nicht signifikant von Laufwegen mit anschließendem China- oder Umsprung. Gründe dafür sind die große Variabilität in der Höhe der Ballannahme sowie der Tiefe des Ausfallschrittes im Hinterfeld.

Die durchschnittliche Länge der Laufwege zum Umkehrpunkt war länger als die Wege in die Ballerwartungshaltung. Die Laufwege zum Ball werden durch den gegnerischen Schlag vorgegeben, hingegen hängen die Laufwege in die Ballerwartungshaltung vom eigenen Schlag ab. War der gespielte Ball gut positioniert, läuft der Spieler in einen situativen

Zentralpunkt. War der selbst gespielte Ball hingegen schlecht, beginnt die Ballerwartungshaltung zum Zeitpunkt des gegnerischen Schlages. Der kürzere durchschnittliche Laufweg vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung lässt darauf schließen, dass die Spieler häufig entweder eine schlechte Nachbereitung des eigenen Schlages hatten oder der eigene Schlag schlecht positioniert war. Am größten war die Differenz zwischen der Länge der Laufwege nach Ausfallschritten im Hinterfeld (57 cm). Diese große Differenz lässt vermuten, dass es einem Spieler nach einem Ausfallschritt im Hinterfeld häufig nicht mehr gelingt, die optimale Ballerwartungshaltung einzunehmen. Diese Annahme unterstützt der signifikant negative Zusammenhang zwischen der Dauer der Nachbereitung und der Länge des anschließenden Weges in die Ballerwartungshaltung nach Ausfallschritten ins Hinterfeld. Je länger die Nachbereitungszeit dauerte, desto kürzer war der Laufweg in die Ballerwartungshaltung. Dieser Zusammenhang bestand nur bei Ausfallschritten im Hinterfeld.

Die Differenz der Länge zwischen dem Laufweg zum Ball und dem anschließenden Laufweg in die Ballerwartungshaltung für die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten, war für Ausfallschritte ans Netz am geringsten (30 cm). Die Nachbereitungszeit bei Ausfallschritten ist sehr kurz, da der Balltreffpunkt und der Zeitpunkt des tiefsten Körperschwerpunktes fast zeitgleich sind. Zudem hat der Spieler die Möglichkeit, sich mit einem hohen Unterhandclear aus einer bedrängten Situation zu befreien und eine optimale Ballerwartungshaltung einzunehmen. Die geringe Differenz zwischen dem Laufweg zum Ball und dem anschließenden Laufweg in die Ballerwartungshaltung könnte also bedeuten, dass Spieler nach Ausfallschritten am Netz am ehesten in die gewünschte Ballerwartungshaltung gelangen, sie sich jedoch dann häufig in einer Abwehrsituation befinden.

### **6.3.2 Maximale Geschwindigkeit und mittlere Beschleunigung**

Kollath et al. (Kollath, Bochow et al. 1987) haben bei 6 Spielern eine durchschnittliche maximale Laufgeschwindigkeit pro Schlag von 1,9 m/s ( $\pm 0,2$  m/s) (Kollath, Bochow et al. 1987) gemessen. In der vorliegenden Studie fanden wir ähnliche Werte. Dabei war die durchschnittliche maximale Geschwindigkeit beim Laufweg zum Ball höher (2,5 m/s ( $\pm 0,6$  m/s)) als in die Ballerwartungshaltung (1,9 m/s ( $\pm 0,6$  m/s)). Die durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung bei Laufwegen zum Ball ( $3,2 \text{ m/s}^2$ ) und in die Ballerwartungshaltung ( $3,45 \text{ m/s}^2$ ) entsprach den Beschleunigungswerten, die bei nationalen Spielern gemessen wurden (Kollath 1996; Kollath und Maier 1997). Internationale Spieler

erreichten höhere mittlere Beschleunigungswerte ( $4,1 \text{ m/s}^2 (\pm 0,6 \text{ m/s}^2)$ ) (Kollath 1996; Kollath und Maier 1997). In der vorliegenden Studie war die durchschnittliche mittlere negative Beschleunigung bei Laufwegen zu den Umkehrpunkten ( $-5,4 \text{ m/s}^2$ ) größer als die durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung. Dies widerspricht Ergebnissen anderer Studien (Kollath 1996; Kollath und Maier 1997), die gleiche Werte für die positiven und negativen mittleren Beschleunigungen auf dem Spielfeld gemessen haben. Die höhere durchschnittliche mittlere negative Beschleunigung ist auf Grund der abrupten Abstoppbewegungen hoher Geschwindigkeiten in kurzen Zeitspannen durchaus plausibel.

Betrachtet man die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten differenziert, wurde bei Laufwegen mit anschließendem Ausfallschritt am Netz eine höhere durchschnittliche maximale Geschwindigkeit und eine höhere durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung gemessen als bei China- bzw. Umsprüngen. Beim Abbremsen der Bewegung in den Umkehrpunkten wurde ebenfalls bei Ausfallschritten ans Netz die höchste durchschnittliche mittlere negative Beschleunigung gemessen.

Dies kann unterschiedliche Ursachen haben. Bälle die ans Netz gespielt werden sind Angriffsschläge mit kurzer Flugbahn, bei welchen dem Spieler nur wenig Zeit bleibt, den Ball hoch am Netz anzunehmen. Zudem ist der Laufweg ans Netz eine Vorwärtsbewegung, die koordinativ einfacher zu bewältigen ist als eine Rückwärtsbewegung, und höhere Beschleunigungswerte erreicht werden können. Als dritter Punkt ist das Timing zu nennen, also die Koordination von Ballflug und Laufgeschwindigkeit. Während es bei Ausfallschritten eine große Variabilität für den Zeitpunkt und die Höhe der Ballannahme gibt, wird bei China- und Umsprüngen der Laufweg mit dem Ballflug koordiniert, und die Ballannahme erfolgt vorwiegend über oder seitlich vom Kopf.

Die durchschnittliche mittlere negative Beschleunigung zum Abbremsen der Geschwindigkeit war dementsprechend bei Laufwegen mit anschließendem Ausfallschritt am größten. Die Spieler bremsen die maximale Geschwindigkeit auf einem Bein ab und versuchen dann, mit einem schnellkräftigen Abdruck, eine optimale Ballerwartungshaltung zu erreichen. Die auf der Basis eines biomechanischen Fußmodells berechneten Muskel- und Gelenkkräfte des oberen Sprunggelenks ergaben bei Ausfallschritten maximale Kräfte von 5000 N (Kollath und Schwirtz 1991).

Bei Laufwegen in die Ballerwartungshaltung wurden nach China- und Umsprünge die höchste durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung und die höchste durchschnittliche maximale Geschwindigkeit gemessen. Das Verhalten in den Umkehrpunkten war ein schnelles „rein - raus“ und hatte den Charakter von Reaktivsprünge. Trotz einer durch Sprünge bedingten längeren Zeit vom Balltreffpunkt bis zur tiefsten Stelle des Körperschwerpunktes, waren die Laufwege in die Ballerwartungshaltung am längsten. Da die Umsetzung des Prinzips der „integrierten Rückkehr“ der einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten von besonderem Interesse war, und die Bewegung immer mit einer Hebung und Senkung des Körperschwerpunktes verbunden ist, wurde das Verhalten in den Umkehrpunkten dreidimensional analysiert. Die Bewegungsrichtung wurde als linear angenommen. Umsprünge und Chinasprünge hatten bei den geringsten Senkungen des Körperschwerpunktes die kürzesten Zeitspannen im Umkehrpunkt. Entsprechend waren die positiven und negativen Beschleunigungswerte für Umsprünge und Chinasprünge am größten. Chinasprünge verkörperten die gewünschte integrierte Umkehr am besten. Auf Grund der beidbeinigen Landung, bei welcher die angreifenden Kräfte verteilt werden, und das Gleichgewicht besser zu halten ist, hatte die Zeitspanne im Umkehrpunkt die geringste Differenz.

Die geringsten durchschnittlichen mittleren positiven Beschleunigungen und durchschnittlichen maximalen Geschwindigkeiten bei Laufwegen in die Ballerwartungshaltung wurden nach Ausfallschritten ans Netz gemessen. Dies liegt einerseits an der großen exzentrischen Arbeit, die ein Bein beim Ausfallschritt zu verrichten hat, andererseits aber auch an der Art der Fortbewegung (Rückwärtsgang). Ganz entscheidend dürften aber auch der Zeitpunkt des Balltreffpunktes und die Spielsituation sein. Die Zeit vom Balltreffpunkt bis zur tiefsten Stelle des Körperschwerpunktes betrug bei Ausfallschritten nur 0,11 s ( $\pm 0,10$  s). Dies bedeutet, dass die Spieler den Ball kurz vor dem Umkehrpunkt annehmen und damit im Gegensatz zu China- und Umsprünge mehr Zeit für den Laufweg in die Ballerwartungshaltung haben. Die Spielsituation beeinflusst die Position der Ballerwartungshaltung auf dem Spielfeld. Ist der Spieler am Netz in einer Abwehrsituation und spielt einen hohen Unterhandclear auf die Grundlinie, hat er genügend Zeit in eine optimale Ballerwartungshaltung, die in der Spielfeldmitte sein wird, zurückzukehren. Ist er aber in einer Angriffssituation und setzt mit seinem Schlag den Gegner unter Druck, wird seine Ballerwartungshaltung in Netznähe sein.

Bei Ausfallschritten im Hinterfeld haben Spieler nicht die Möglichkeit, sich mit einem Unterhandclear, wie dies am Netz möglich ist, zu befreien. Schlägt ein Spieler den Ball zu flach ins gegnerische Spielfeld, wie dies in der Einzelfallanalyse der Fall war, hat er bei einer schnellen gegnerischen Ballannahme nur wenig Zeit in die Ballerwartungshaltung zu gelangen und gerät unter Druck. Die mittlere positive Beschleunigung nach Ausfallschritten im Hinterfeld war entsprechend größer als nach Ausfallschritten am Netz.

### 6.3.3 Verhalten des Körperschwerpunktes

Betrachtet man den zurückgelegten Weg in der horizontalen Bewegungsrichtung, und unter Einbeziehung der vertikalen Bewegungsrichtung, ergab sich ein Längenunterschied von 8 %. Dies bedeutet, dass ein Spieler bei einem durchschnittlichen Weg pro Ballwechsel von 15 m seinen Körperschwerpunkt durchschnittliche 1,2 m anhub und senkte. Der Verlauf des Körperschwerpunktes in der Z-Achse war kurvenförmig und verlief fast ausschließlich unterhalb des Körperschwerpunktes im aufrechten Stand. Nur bei Sprüngen ragte der Körperschwerpunkt deutlich über die Höhe des Körperschwerpunktes im aufrechten Stand hinaus. Dies weist darauf hin, dass die Spieler sich mit permanent gebeugten Beinen fortbewegten und dadurch viel exzentrische Muskelarbeit verrichten mussten. Betrachtet man nur das Verhalten des Körperschwerpunktes in den Umkehrpunkten, befand sich der Körperschwerpunkt in der vorliegenden Studie zu 92 % unterhalb der Höhe im aufrechten Stand und zu 8 % oberhalb. Die Erhebung des Körperschwerpunktes in den Umkehrpunkten fiel auf Grund der Vorgabe, das Spiel nicht auf der Basis von Abwehrschlägen zu gestalten, möglicherweise geringer aus als dies unter Wettkampfbedingungen der Fall gewesen wäre.

Bei Ausfallschritten am Netz (30 %) senkte sich der Körperschwerpunkt erwartungsgemäß tiefer als bei Ausfallschritten im Hinterfeld (22 %), weil Spieler im Hinterfeld eine geringere Variabilität in der Ballannahme haben. Tiefe Ausfallschritte in Verbindung mit einem Unterhandclear, eine am Netz häufig angewendete Technik, kommen im Hinterfeld kaum vor. Der Ball wird auf Höhe der Schulter bis maximal hüfthoch angenommen. China- und Umsprünge hatten die geringste Körperschwerpunktssenkung (19 %). Sie unterschied sich von der durchschnittlichen Körperschwerpunktssenkung in der Ballerwartungshaltung nur geringfügig (18 %).

Von Interesse war die Frage, wie sich der Körperschwerpunkt in der Ballerwartungshaltung und den Umkehrpunkten in Abhängigkeit von den kinematischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung vorausgehender und nachfolgender Laufwege verhalten würde.

In der Ballerwartungshaltung bestand ein signifikant positiver Zusammenhang nur zwischen der Senkung des Körperschwerpunktes und der nachfolgenden durchschnittlichen mittleren positiven Beschleunigung beim Laufweg ans Netz. Je tiefer der Körperschwerpunkt war, desto höher war die durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung. Die durchschnittliche mittlere positive Beschleunigung bei Laufwegen ans Netz war ebenso wie die durchschnittliche maximale Geschwindigkeit die höchste, jedoch senkte sich der Körperschwerpunkt in der Ballerwartungshaltung im Mittel nicht tiefer als bei den anderen Laufwegen. Der tiefe Körperschwerpunkt in der Ballerwartungshaltung bei Laufwegen ans Netz, in Zusammenhang mit einer hohen mittleren Beschleunigung, könnte eine Folge der Lauftechnik gewesen sein. Der Laufweg auf die Rückhandseite ans Netz setzt sich aus einem Schritt mit nachfolgendem Ausfallschritt zusammen, wobei der erste Schritt bereits mit dem Abdruck in der Ballerwartungshaltung erfolgt. Spielt ein Gegner einen Drop kurz hinter das Netz, hat der Spieler einen langen Laufweg, den er schnell zurücklegen muss. Der erste Schritt in der Ballerwartungshaltung ist groß und der Körperschwerpunkt wird dadurch tief gesenkt.

In den Umkehrpunkten bestanden ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen der Tiefe des Körperschwerpunktes und der vorausgehenden durchschnittlichen maximalen Geschwindigkeit und ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen mittleren negativen Beschleunigung und der Tiefe des Körperschwerpunktes. Diese Zusammenhänge bestanden für Ausfallschritte am Netz und im Hinterfeld, jedoch nicht für Chinasprünge und Umsprünge. Tiefe Ausfallschritte lassen auf eine hohe muskuläre Beanspruchung schließen, aber auch auf eine Spielsituation, in welcher sich der Spieler unter Zeitdruck befindet und deshalb einen tiefen Ausfallschritt machen muss, um den Ball noch zu erreichen. Die letztere Annahme scheint auf Grund des signifikant positiven Zusammenhanges zwischen der Länge des Laufweges und der durchschnittlichen maximalen Geschwindigkeit die wahrscheinlichere zu sein. Eine muskuläre Ermüdung kann auf Grund des gewählten Untersuchungsdesigns, bei welchem die Probanden nur 3 Ballwechsel spielten, ausgeschlossen werden. In Spielen, die über 5 Gewinnsätze gespielt werden,

könnte die muskuläre Ermüdung aber durchaus eine Rolle spielen. Omosegard (Omosegard 1996) betont die Bedeutung der Kraftausdauer der Beinmuskulatur. Er hat Unterschiede in der Kraft der rechten und linken Beinmuskulatur bei Badmintonspielern gemessen. Bei einer Biopsie der Beinmuskulatur von dänischen Spitzenspielern wurde ein höherer Prozentsatz ST Fasern, in dem Bein, welches den Ausfallschritt machen musste, bestimmt. Omosegard (Omosegard 1996) führte die höhere Anzahl an ST Fasern auf den großen Bedarf an Kraft und Ausdauer zurück. Sind demnach lange Laufwege die Ursache für hohe maximale Geschwindigkeiten und tiefe Körperschwerpunkte in den Umkehrpunkten, spielen die Reaktionszeit und die Vor- und Nachbereitung eines Schlages eine bedeutende Rolle, um diese vermeiden zu können.

#### **6.3.4 Reaktionszeit und Vor- und Nachbereitung eines Schlages**

Die in der vorliegenden Studie definierte Reaktionszeit in der Ballerwartungshaltung unterschied sich nur geringfügig von der durchschnittlichen Dauer der Vorbereitung. Ebenso wurde in den Umkehrpunkten zwischen dem Zeitpunkt der tiefsten Körperschwerpunktstellung und der Dauer der Nachbereitung eine geringe Differenz gemessen. Für die Ballerwartungshaltung bedeutet dies, dass die Spieler sich in den meisten Fällen mit dem Auftaktschritt in die richtige Richtung abdrücken konnten. Und in den Umkehrpunkten gelang es ihnen überwiegend das gewünschte „Prinzip der integrierten Rückkehr“ umzusetzen. Bei einer Laufaktion, welche in der vorliegenden Studie durchschnittlich 1.19 s dauerte, hatte die Dauer der Vor- und Nachbereitung einen Anteil von 22 %.

Wie bereits diskutiert, war die Länge der Laufwege von den Umkehrpunkten in die Ballerwartungshaltung bei allen Techniken kürzer als die Laufwege zum Ball. Da die Dauer der Nachbereitung der Schläge sich wenig von der Dauer der Reaktion unterschied, würde das bedeuten, dass die Spieler in Bezug auf die Lauftechnik die Reaktionszeit verkürzen müssen. Die kürzeren Laufwege in die Ballerwartungshaltung hängen jedoch auch ganz entscheidend von der Auswahl und der Qualität des eigenen Schlages ab. Spielt ein Spieler in die Reichweite des Gegners, bleibt nur wenig Zeit, die Ballerwartungshaltung einzunehmen. Eine Folge davon wären ebenfalls kurze Laufwege in die Ballerwartungshaltung.

Betrachtet man die durchschnittliche Vor- und Nachbereitungszeit differenziert in die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten, kam es zu großen Unterschieden. In der Ballerwartungshaltung wurde bei vergleichbaren durchschnittlichen Reaktionszeiten, die kürzeste durchschnittliche Vorbereitungszeit beim Laufweg ans Netz mit anschließendem Ausfallschritt gemessen. Die längste durchschnittliche Vorbereitungszeit wurde bei Ausfallschritten ins Hinterfeld gemessen, weil der Spieler sich insbesondere auf der Rückhandseite mit dem Körper vom Netz wegrehen muss und dadurch Zeit verliert. Generell schießen Spieler bei Laufwegen ins Hinterfeld, um in die optimale Abdruckposition in der Ballerwartungshaltung zu gelangen, nach dem Auftaktschritt häufig zusätzlich noch einmal umzuspringen. Am Olympiastützpunkt Saarbrücken werden bereits Abdrucktechniken in der Ballerwartungshaltung ohne Auftaktschritt gelehrt, die das Ziel haben, die Vorbereitungszeit zu minimieren (Poste 2004). Um die Vorbereitungszeit zu optimieren, wäre auch ein Training der Antizipation, wie es von Abernethy et al. (Abernethy 1996) vorgeschlagen wird, eine sinnvolle Maßnahme.

Bei Ausfallschritten am Netz wurde ebenfalls die geringste durchschnittliche Nachbereitungszeit gemessen, da die Ballannahme fast zeitgleich mit dem Zeitpunkt des tiefsten Körperschwerpunktes war. Bei Umsprüngen und Chinasprüngen war die durchschnittliche Nachbereitungszeit auf Grund der Ballannahme in der Luft am längsten. Bei Ausfallschritten ins Hinterfeld war die durchschnittliche Dauer der Nachbereitung trotz signifikant kürzerer Reaktionszeiten im Umkehrpunkt ähnlich lang wie bei Umsprüngen und Chinasprüngen.

Von Interesse war, ob Zusammenhänge zwischen der Dauer der Vor- und Nachbereitung und dem anschließenden Bewegungsverhalten bestanden.

Beim Laufweg von der Ballerwartungshaltung zum Netz bestand zwischen der Dauer der Vorbereitung und der anschließenden maximalen Geschwindigkeit ein signifikant negativer Zusammenhang. Ebenfalls signifikant negativ war der Zusammenhang zwischen der Länge des Laufweges von der Ballerwartungshaltung zum Netz und der Dauer der Vorbereitung. Dies zeigt den einfachen Sachverhalt, dass ein Spieler sich, wenn dies die Spielsituation zulässt, mit der Vorbereitung Zeit lässt.

Bei Ausfallschritten ins Hinterfeld bestand dahingegen ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der Vorbereitungszeit und der maximalen Laufgeschwindigkeit bezie-

ungsweise der Länge des Laufweges, was eher auf eine Spielsituation unter Zeitdruck schließen lässt.

Die Dauer der Nachbereitung stand nur in einem signifikant negativen Zusammenhang mit der Länge des Weges zur Ballerwartungshaltung nach Ausfallschritten ins Hinterfeld. Je länger die Nachbereitungszeit dauerte, desto kürzer war der Laufweg in die Ballerwartungshaltung.

Wiederum kein Zusammenhang bestand zwischen der Dauer der Vor- und Nachbereitung und dem Bewegungsverhalten vor und nach Chinasprüngen.

### **6.3.5 Situatives Bewegungsverhalten**

Ob ein Spieler einen Ballwechsel für sich entscheiden kann, ist immer von einer Verkettung von Einzelaktionen abhängig, die sowohl die Technik und Taktik als auch die Laufarbeit betreffen können. In der vorliegenden Studie stand die Laufarbeit im Mittelpunkt. Die Studie hat ergeben, dass ein bestimmtes Bewegungsverhalten in den Umkehrpunkten bzw. der Ballerwartungshaltung sich auf kinematische Parameter bei Laufwegen auswirkt, und umgekehrt, ein bestimmtes Laufverhalten die Stellung des Körperschwerpunktes in den Umkehrpunkten beeinflusst.

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass hohe Geschwindigkeiten, die auf dem Spielfeld gemessen werden, häufig in Verbindung mit einer unökonomischen Laufarbeit und nicht mit der Fähigkeit, in kürzester Zeit hohe Geschwindigkeiten zu entwickeln, stehen. Gelingt es einem Spieler nicht, in eine optimale Ballerwartungshaltung zu gelangen, kann sich der anschließende Laufweg zum Ball verlängern. Dies führt zu hohen maximalen Geschwindigkeiten, die beim Richtungswechsel schnell abgebremst werden müssen. In der vorliegenden Studie waren die durchschnittlichen Laufwege in die Ballerwartungshaltung kürzer als die Laufwege zu den Umkehrpunkten, was darauf schließen lässt, dass die Spieler häufig nicht in die gewünschte Ballerwartungshaltung laufen konnten. Erwartungsgemäß bestand ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der Laufstrecke und der maximalen Geschwindigkeit. Je länger die Laufstrecke war, die ein Spieler zurücklegen musste, desto höher war seine maximale Geschwindigkeit. Hohe maximale Geschwindigkeiten standen wiederum in einem signifikanten Zusammenhang mit der Tiefe des Ausfallschrittes und der mittleren negativen Beschleunigung. Je höher die maximale Geschwindigkeit

war, desto tiefer war der folgende Ausfallschritt und desto höher war die mittlere negative Beschleunigung zum Abbremsen des Ausfallschrittes. Hohe Anlaufgeschwindigkeiten und/oder eine hohe Geschwindigkeit des aufsetzenden Fußes führen zu deutlich höheren horizontalen und vertikalen Bodenreaktionskräften und erhöhen zusätzlich das Verletzungsrisiko. Unkontrollierte Ausfallschritte führen zu Abweichungen der Richtung der Fußgelenkkraft von der Tibialängsachse, was letztendlich dazu führt, dass anliegende Sehnen, Bänder und Gelenkkapseln mehr belastet werden (Kollath 1996). Jedoch ist die hohe Kraftentwicklung beim Abstoppen des aufsetzenden Fußes nicht nur durch hohe Fußaufsatzgeschwindigkeiten zu erklären. Kollath et al. (Kollath und Schwirtz 1991) vermuteten, dass der Kraftangriffspunkt weiter in den Vorderfuß verlagert sein kann. Lee et al. (Lee und Hurley 1995) haben gemessen, dass bei weniger trainierten Spielern höhere Kräfte beim Ausfallschritt auftreten als bei besser trainierten Spielern. Bedenkt man, dass 70 % der eingesetzten Techniken in den Umkehrpunkten in der vorliegenden Studie Ausfallschritte waren, ist es wahrscheinlich, dass tiefe Ausfallschritte zu einer erheblichen körperlichen Mehrbelastung im Spiel führen können. Die Ursachen der Entstehung langer Laufwege mit anschließendem tiefem Ausfallschritt sollten deshalb im Training eine besondere Beachtung finden. Dazu zählt die Nachbereitung von Schlägen ebenso wie die Qualität der eigenen Schläge. Aus der Sicht kinematischer Parameter haben sich Ausfallschritte im Hinterfeld als besonders ungünstig erwiesen. Bei Ausfallschritten traten in der Ballerwartungshaltung die längsten Vorbereitungszeiten auf. Der Körperschwerpunkt wurde aus der Ballerwartungshaltung heraus stark beschleunigt. Das abrupte Abbremsen im Umkehrpunkt führte wie bei Ausfallschritten am Netz zu hohen negativen Beschleunigungswerten und einem hohen exzentrischen Kraftaufwand für die Beinmuskulatur. Die kurze Laufstrecke zur Ballerwartungshaltung lässt vermuten, dass Spieler nicht genügend Zeit hatten, nach Ausfallschritten in eine geeignete Ballerwartungshaltung zu gelangen. Diese These unterstützend war der negative Zusammenhang zwischen der Nachbereitungszeit nach einem Ausfallschritt ins Hinterfeld und der anschließenden Laufstrecke. Je länger die Nachbereitungsphase dauerte, desto kürzer war der anschließende Weg in die Ballerwartungshaltung. Zudem hatten Spieler, die viele Ausfallschritte im Hinterfeld machten, höhere durchschnittliche Laktatwerte. Ausfallschritte im Hinterfeld, die in der Studie einen durchschnittlichen Anteil von 18 % hatten, können im Gegensatz zu Ausfallschritten am Netz vermieden werden. Haben Spieler eine sehr gute Antizipation kann als Ersatztechnik der Chinasprung im Umkehrpunkt eingesetzt werden. Die unterschiedliche durchschnittli-

che Häufigkeit von Ausfallschritten im Hinterfeld in drei Vereinen lässt vermuten, dass Spieler Ausfallschritte im Hinterfeld durch ausgewählte Trainingsinhalte stark reduzieren können. Der einzige an der Studie teilnehmende Spieler der Bundesliga hatte mit 5 % den geringsten Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld. Wie bereits diskutiert, spielt neben der Vor- und Nachbereitung von Schlägen und der Auswahl der situativ optimalen Lauftechnik auch die Qualität der eigenen Schläge eine entscheidende Rolle. In einer Studie, welche die Unterschiede der Spielweise von Gewinner und Verlierer untersuchte, hatten Verlierer eine ungenauere Spielweise als Gewinner (Hong und Tong 2000). Eine ungenaue Spielweise bringt einen Spieler unter Zeitdruck, wie in der vorliegenden Studie die Einzelfallanalyse eindrucksvoll belegen konnte, und zwingt ihn zu hohen maximalen Geschwindigkeiten mit hohen positiven und negativen Beschleunigungen. Bei häufiger läuferischer Mehrbelastung kann es zu einer erhöhten kardialen und energetischen Beanspruchung kommen. Zur Unterstützung dieser Annahme tragen die Ergebnisse der Analyse von Gewinner und Verlierer bei. In den 3-Satz- und 4-Satz-Spielen, in welchen ein Spieler überlegen war, hatten die Gewinner signifikant niedrigere Blutlaktatwerte als die Verlierer. Bei den 5 Satz-Spielen hingegen, in welchen Gewinner und Verlierer annähernd gleich stark waren, gab es keinen Unterschied in der körperlichen Beanspruchung für Gewinner und Verlierer.

Während es bei Ausfallschritten am Netz sowie im Hinterfeld Zusammenhänge zwischen dem Laufverhalten und dem Bewegungsverhalten in den Umkehrpunkten bzw. der Ballerwartungshaltung gab, konnten bei China- und Umsprünge keine Zusammenhänge gefunden werden. Trotz einer großen Variabilität in der Dauer der Nachbereitung, bedingt durch Sprünge, blieb die Länge des Laufweges in die Ballerwartungshaltung ebenso unbeeinflusst wie die Senkung des Körperschwerpunktes im Umkehrpunkt nach hohen Laufgeschwindigkeiten. Dies mag einerseits durch die bei China- und Umsprünge optimal umgesetzte „integrierte Umkehr“ bedingt sein, andererseits aber auch durch die frontale Position zum Netz, in welcher ein Spieler die Möglichkeit zu einem Angriffsschlag hat. Hong et al. (Hong und Tong 2000) fanden heraus, dass der Hauptunterschied zwischen Verlierer und Gewinner bei den „unconditional winner“ Schlägen liegt. Dies sind Schläge die gut platziert sind und damit unerreichbar für den Gegner, oder sehr hart geschlagene Bälle, welche den Gegner zu einem Fehler provozieren. Die bedeutendste Strategie internationaler Spitzenspieler war ein druckvolles Angriffsspiel. Die wichtigste Grundvoraussetzung

für ein effektives Angriffsspiel ist aber wiederum eine optimale Stellung des Körpers zum Ball. Deshalb sollte im Training sowohl die Antizipation von Schlägen, als auch der situative Einsatz der „reaktiven Techniken“ Chinasprung und Umsprung in Verbindung mit Angriffsschlägen vermehrt trainiert werden.

## **7 Trainingshinweise**

### **7.1 Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit durch zusätzliche kontrollierte Trainingseinheiten erwerben**

Die Untersuchungen haben ergeben, dass die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit bei der intervallförmigen Belastung in der Sportart Badminton von großer Bedeutung ist. Die in der Stufenenergiemetrie ermittelte durchschnittliche relative maximale Sauerstoffaufnahme der Probanden, als Parameter für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit, war geringer als bei dänischen Spitzenspielern (Omosegaard 1996). Die Trainingsanamnese der Spieler ergab, dass durchschnittlich 99 min wöchentlich Ausdauer in Form von Jogging und Radfahren trainiert wurde. Es gab allerdings innerhalb der Stichprobe große Unterschiede, und das Training war nicht kontrolliert. Der unterschiedliche wöchentliche Gesamttrainingsumfang der Probanden kam auf Grund des unterschiedlich großen Anteils an badmintonspezifischem Training zustande. Dass Probanden mit einem großen wöchentlichen Trainingsumfang eine höhere relative maximale Sauerstoffaufnahme hatten als Probanden mit einem geringeren Umfang, lässt deshalb darauf schließen, dass die erhöhte Sauerstoffaufnahme dank des badmintonspezifischen Trainings zustande kam. Es stellt sich aber die Frage, ob das badmintonspezifische Training die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit optimal fördern kann. Majumdar et al. (Majumdar, Khanna et al. 1997) konnten in einer Untersuchung zeigen, dass die körperliche Beanspruchung im Training phasenweise zwischen 8-10 mmol/l betrug, also außerhalb des Bereiches für ein optimales Training der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit lag. Gosh et al. (Gosh, Mazumbar et al. 1990) konnten dahingegen zeigen, dass ein badmintonspezifisches „on court“ Training, mit durchschnittlichen Laktatwerten weit oberhalb der individuellen anaeroben Schwelle, die relative maximale Sauerstoffaufnahme nach einem

dreiwöchigen Training signifikant erhöhte. Trotz einer möglichen Erhöhung der relativen maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit bei badmintonspezifischem Training, sollte ein zusätzliches kontrolliertes Training, das die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit direkt ansteuert, durchgeführt werden.

## **7.2 Taktik - Intervallförmige Belastung variieren**

Eine Möglichkeit, die kardiale und metabolische Beanspruchung auf dem Spielfeld zu kontrollieren, bietet das Eingreifen in die intervallförmige Belastungsstruktur. In der Studie hatte die Dauer der Kontakte den größten Einfluss auf die kardialen und metabolischen Parameter. Die Dauer der Kontakte sagen sowohl etwas über die Geschwindigkeit als auch über die Dauer der Ballwechsel aus. Spieler sollten lernen, Ballwechsel bewusst schnell oder langsam bzw. von langer oder kurzer Dauer zu gestalten. In der Studie hatte die Dauer der Pausen keinen Einfluss auf die kardialen und metabolischen Parameter. Es wurde auch kein Zusammenhang zwischen der Dauer der Ballwechsel und der Dauer der nachfolgenden Pausen gefunden, wie von Cabello et al. (Cabello und Gonzales-Badillo 2003) beschrieben. Die durchschnittliche Dauer der Pausen stieg im Verlauf des Spieles zwar signifikant an, lag am Ende des Spieles aber noch unterhalb der durchschnittlichen Werte anderer Studien (Cabello und Gonzales-Badillo 2003; Faude, Meyer et al. 2007). Im Vergleich mit einer Untersuchung von Faude et al. (Faude, Meyer et al. 2007), hatten die Spieler bei gleicher relativer maximaler Sauerstoffaufnahmefähigkeit und gleicher prozentualer Sauerstoffaufnahme im Spiel höhere durchschnittliche Blutlaktatwerte. Bei einer annähernd gleichen durchschnittlichen Dauer und prozentualen Verteilung der Ballwechsel, kam es bei Faude et al. (Faude, Meyer et al. 2007) zu durchschnittlich 3 Sekunden längeren Pausen (11,4 s ( $\pm$  6,0 s)) zwischen den Ballwechseln. Die Myoglobinspeicher, die sich bei intervallförmiger Belastung als besonders wichtig erwiesen haben (Tomlin and Wenger 2001), werden innerhalb eines Zeitraumes von 10-80 s wieder aufgefüllt (Chance, Dait et al. 1992). Wooten et al. (Wooten and Williams 1983) konnten zeigen, dass die Leistung von Probanden bei 6 Sekunden dauernden Sprints mit einer 60 Sekunden langen Pause höher war, als bei einer 30 Sekunden langen Pause. Dieses Ergebnis zeigt, dass eine bewusste Verlängerung der Pause zwischen den Ballwechseln die Regeneration beschleunigen kann und von den Spielern genutzt werden sollte. Ebenso kann die Pause natürlich bewusst kurz gehalten werden, um den Gegner unter Druck zu setzen.

### **7.3 Dauer der Vorbereitung von Schlägen durch Training der Antizipation und Entscheidungsfähigkeit verkürzen**

Die Antizipation ist die „Mentale Vorwegnahme eines künftigen Bewegungsablaufes“ (Röthig 1992) und wird über einen längeren Zeitraum erworben. Sie kann aber auch trainiert werden (Jackson, Warren et al. 2006; Williams). Spieler mit einer guten Antizipationsfähigkeit erkennen früh welchen Schlag der Gegner spielt und haben damit einen zeitlichen Vorteil. Sie haben effizientere Suchstrategien und eine größere Fähigkeit, Schematas zu erkennen. Zudem haben sie größere Kenntnisse von situativen Wahrscheinlichkeiten und ein erhöhtes Bewusstsein von taktischen Möglichkeiten. Ebenso wichtig wie die Antizipation von Schlägen, ist aber auch die schnelle Entscheidungsfähigkeit für eine Lauftechnik zum Ball in Zusammenhang mit einem situativ optimalen Return, also einer zweckmäßigen Bewegung.

Für ein gezieltes Antizipationstraining sprechen mehrere Untersuchungsergebnisse der Studie. Innerhalb der Stichprobe waren die älteren Spieler weniger ausdauertrainiert und erreichten bei einem Sprunghöhentest (s. Anhang, 10.5.6) eine geringere Höhe als die jüngeren Spieler. Trotzdem standen weder die Leistungsstärke noch die im Spiel gemessenen kardialen und metabolischen Parameter mit dem Alter in Zusammenhang. Dies könnte für eine größere Antizipationsfähigkeit der älteren Spieler sprechen.

Ausfallschritte im Hinterfeld haben sich in der vorliegenden Studie als unökonomisch erwiesen. Die Spieler schafften es nicht, sich mit dem ersten Abdruck in Bewegungsrichtung zu positionieren. Die Dauer des ersten Abdruckes in der Ballerwartungshaltung unterschied sich signifikant von der Dauer der Vorbereitung eines Schlages. Dies lässt auf eine mangelnde Antizipations- und Entscheidungsfähigkeit schließen. Die Analyse der Spiele zeigte, dass Spieler unterschiedlicher Vereine einen unterschiedlichen Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld hatten. In den Vereinen gibt es unterschiedliche Trainingsphilosophien (persönlich berichtet). Dies lässt vermuten, dass Ausfallschritte im Hinterfeld durch ein spezielles Training reduziert werden können.

#### **7.4 Dauer der Nachbereitung von Schlägen durch Krafttraining und Training der Schlagpräzision verkürzen**

Die Laufwege zum Ball waren länger als die Laufwege zurück in die Ballerwartungshaltung. Dies lässt vermuten, dass nicht immer die optimale Ballerwartungshaltung erreicht wurde. Kurze Laufwege in die Ballerwartungshaltung können einerseits bedeuten, dass die Spieler bei der Nachbereitung des Schlages Zeit verlieren. Andererseits könnten die eigenen Schläge aber auch unpräzise oder taktisch schlecht platziert sein. Bochow (Bochow 1989) konnte beispielsweise zeigen, dass Herren der nationalen Spitzenklasse (52,4 %) häufiger zu kurze Clears spielen als internationale Spieler (29,5 %). Die Dauer der Nachbereitung unterschied sich in der vorliegenden Studie, ausgenommen den Ausfallschritten im Hinterfeld, kaum von der Dauer des ersten Beinabdruckes. Dies würde bedeuten, dass die Spieler keine Probleme bei der Grobkoordination der Bewegung hatten, der Abdruck aber nicht explosiv genug war. Diese Vermutung unterstützend, waren die Ergebnisse des Sprunghöhentests (s. Anhang, 10.5.6), bei welchem die Probanden bei der Ausführung reaktiver Sprünge koordinative Probleme hatten. Ein Training der Reaktivkraft könnte die Explosivität bei Umsprüngen und Chinasprüngen fördern. Der wöchentliche Trainingsumfang der Probanden an Krafttraining war gering (30 Minuten).

Bei Ausfallschritten in den Umkehrpunkten ist die Kraftausdauer von Bedeutung. Omosgaard (Omosgaard 1996) fand bei Badmintonspielern in dem Bein, mit welchem der Ausfallschritt ausgeführt wurde, eine höhere Anzahl an Mitochondrien. Bei Ausdauertrainierten ist die Anzahl an Mitochondrien in der Muskulatur erhöht (De Marees 2002). Bei einem Anteil von 70 % an Techniken in den Umkehrpunkten, wäre ein Kraftausdauertraining sinnvoll.

#### **7.5 Taktik - Lange Laufwege durch eine optimale Raumaufteilung vermeiden**

Lange Laufwege standen im Zusammenhang mit hohen Geschwindigkeiten und tiefen Ausfallschritten. Durch eine geschickte Platzierung auf dem Spielfeld können lange Laufwege vermieden werden. Der Spieler muss eine der Spielsituation entsprechende optimale Stellung auf dem Spielfeld einnehmen. Die Ballerwartungshaltung ist deshalb nicht immer in der Spielfeldmitte, vielmehr richtet sie sich nach dem Gegner und dessen Möglichkeiten

den Ball zu schlagen. Spieler sollten sowohl Kenntnisse über Gegner als auch über situative Wahrscheinlichkeiten haben.

## **7.6 Taktik - Winner-Strategie mit reaktiven Techniken umsetzen**

Ausfallschritte im Hinterfeld sollten wie bereits beschrieben durch reaktive Techniken wie Umsprünge oder Chinasprünge ersetzt werden. Der Ausfallschritt im Hinterfeld sollte aber nicht nur aus ökonomischen, sondern auch aus taktischen Gründen vermieden werden. Hong et al. (Hong und Tong 2000) fanden heraus, dass Gewinner und Verlierer im Spitzenbereich sich nur bei den „unconditionell winner“ Schlägen unterscheiden. Dies sind Schläge, die durch eine gute Platzierung oder durch einen Smash zum Punktgewinn führen. Als beste „Winner-Strategie“ erwies sich das Angriffsspiel. Ein Angriffsspiel kann aber nur mit reaktiven Lauftechniken umgesetzt werden, bei welchen ein ständiger Blickkontakt zum Gegner gewährleistet ist, und der Spieler frontal zum Netz positioniert ist. Ein Training, bei dem gezielt der Einsatz reaktiver Techniken im Hinterfeld trainiert wird, kann die „Winner-Strategie“ unterstützen.

## **8 Zusammenfassung**

Das sportliche Leistungsniveau in der Rückschlagsportart Badminton hat zugenommen. Spitzenspieler, die mit hohem Trainingsaufwand nur noch geringe Leistungszuwächse erreichen können, versuchen durch ein gezieltes Training das Zusammenspiel von Technik, Taktik, mentaler Stärke und konditionellen Faktoren zu optimieren. Für ein optimales Training ist ein exaktes Anforderungsprofil in der Sportart die wichtigste Voraussetzung.

Ziel der Studie war es, das intervallförmige Belastungsprofil von Ballwechsel und dazwischen liegenden Pausen und die damit verbundene kardiale und metabolische Beanspruchung im Herreneinzel zu untersuchen und die Bedeutung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit herauszustellen. Zudem sollte in einer Trainingsstudie die Lauftechnik als ein Einflussfaktor für die körperliche Beanspruchung im Hinblick auf räumlich-zeitliche Strukturen analysiert werden, um Erkenntnisse über situatives Bewegungsverhalten auf dem Spielfeld und dessen Auswirkung auf die Lage des Körperschwerpunktes sowie der kinematischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung zu vermehren.

Dazu wurde mit 22 Probanden eine Laufbandspiroergometrie durchgeführt und kardiale und energetische Parameter in einem Herreneinzel über die Dauer des ganzen Spieles gemessen. Die Spiele wurden mit einer Videokamera aufgezeichnet und hinsichtlich der intervallförmigen Belastung von Ballwechsel und dazwischen liegenden Pausen sowie der eingesetzten Lauftechnik analysiert. Zusätzlich wurden in einer Trainingsstudie mittels einer quantitativen dreidimensionalen Bewegungsanalyse 59 Ballwechsel von 20 Spielern im Hinblick auf räumlich-zeitliche Strukturen untersucht. Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe von Laufbewegungen auf dem Spielfeld in Verbindung mit unterschiedlichen Techniken in den Umkehrpunkten bzw. der Ballerwartungshaltung wurden charakterisiert.

Die erhobenen kardialen und metabolischen Parameter deuten darauf hin, dass die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit im Badminton eine ganz entscheidende Rolle spielt. Unter Einbeziehung der Ergebnisse der intervallförmigen Belastung von Pausen und Ballwechseln konnte gezeigt werden, dass bei gleicher Spielstärke eine bessere aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit von Vorteil ist.

Die getesteten Spieler hatten eine gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit. Sie war in einem Bereich von ausdauertrainierten Sportlern und internationalen Spitzenspielern im Badminton einzuordnen. Innerhalb der Stichprobe hatten die leistungstärkeren Spieler eine bessere Ausdauer als die leistungsschwächeren Spieler.

Die in der stufenweise ansteigenden Spiroergometrie ermittelte relative maximale Sauerstoffaufnahme als Parameter für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf die Spielstärke im Badminton. Es bestand jedoch kein Zusammenhang zwischen der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme und den durchschnittlich gemessenen kardialen und metabolischen Parametern im Spiel. Allerdings konnte gezeigt werden, dass je höher die im Stufentest ermittelte relative Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle war, desto höher war die Sauerstoffaufnahme der einzelnen Spieler im Spiel.

Die getrennte Betrachtung von Gewinner und Verlierer ergab, dass die Gewinner der 3-Satz- und 4-Satz-Spiele eine kardiale und energetische Beanspruchung hatten, die im Bereich der aeroben Schwelle lag. Die Gewinner der 5-Satz-Spiele hingegen, hatten ähnlich den Verlierern aller Spiele, eine Beanspruchung die nahe der anaeroben Schwelle lag.

Die Einzelfallanalyse unterstrich die Abhängigkeit der kardialen und energetischen Beanspruchung von der Spielstärke des Gegners und zeigte eine große Variabilität der Beanspruchung von Spiel zu Spiel. Trotz sehr guter aerober Ausdauerleistungsfähigkeit des Probanden, konnte, in Abhängigkeit vom Gegner, ein Laktatplateau oberhalb der anaeroben Schwelle beobachtet werden.

Bei der Betrachtung der Spiele im Verlauf kam es zwischen den einzelnen Sätzen nur zu geringen Schwankungen in der kardialen und metabolischen Beanspruchung. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass bereits geringe Veränderungen in der Anzahl der Kontakte pro Ballwechsel einen Einfluss auf die metabolische und kardiale Beanspruchung haben.

Ebenso zeigten die Ergebnisse der Untersuchung der intervallförmigen Belastung von Ballwechseln und dazwischen liegenden Pausen, dass die Spieler in das Verhältnis von Belastung zu Pausen eingriffen und dadurch die kardiale und energetische Beanspruchung beeinflussten.

Die Analyse der Lauftechnik zeigte, dass die Anzahl an Laufaktionen in einem Spiel einen größeren Einfluss auf die Höhe der Blutlaktatwerte hat als die Gesamtdauer eines Spieles. 70 % der im Spiel eingesetzten Lauftechniken in den Umkehrpunkten waren Ausfallschritte. Spieler mit einem hohen prozentualen Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld hatten tendenziell höhere Blutlaktatwerte. Der unterschiedliche prozentuale Anteil an eingesetzten Ausfallschritten im Hinterfeld, der an der Studie teilnehmenden Vereine, deutet darauf hin, dass durch Training Ausfallschritte im Hinterfeld vermieden werden können.

Die Ergebnisse der dreidimensionalen Bewegungsanalyse von 59 Ballwechseln unterstützen die im Spiel gewonnenen Erkenntnisse über Laufbewegungen. Es gelang das Bewegungsverhalten in der Ballerwartungshaltung und den Umkehrpunkten sowie der verbindenden Laufaktionen hinsichtlich räumlich-zeitlicher Strukturen zu charakterisieren.

Bei der Differenzierung der Techniken in den Umkehrpunkten in Ausfallschritte und China- bzw. Umsprünge konnten Unterschiede beim Verhalten des Körperschwerpunktes und der Dauer der Vor- und Nachbereitung von Schlägen aufgedeckt werden. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass es in Abhängigkeit von der angewandten Technik im Umkehrpunkt zu einem unterschiedlichen Bewegungsverhalten in Bezug auf Schnelligkeit, Beschleunigung und Länge des Laufweges bei vorausgehenden und nachfolgenden Laufaktionen kommt.

Obwohl bei allen Techniken in den Umkehrpunkten, die Laufwege in die Ballerwartungshaltung kürzer waren als die Laufwege zum Ball, können China- und Umsprünge als „ökonomische Lauftechniken“ bezeichnet werden und sollten Ausfallschritten ins Hinterfeld vorgezogen werden. Das Verhalten in den Umkehrpunkten war ein schnelles „rein - raus“ und hatte den Charakter von Reaktivsprüngen. Zwischen dem Bewegungsverhalten bei Laufaktionen in Verbindung mit China- und Umsprüngen und der Vor- und Nachbereitung von Schlägen sowie der Körperschwerpunktsenkung im Umkehrpunkt bestand kein Zusammenhang.

Jedoch machen Zusammenhänge, die in Verbindung mit Ausfallschritten bestanden, die Bedeutung einer optimalen Ballerwartungshaltung ebenso deutlich wie die der Vor- und Nachbereitung von Schlägen. Je länger die Vorbereitung in der Ballerwartungshaltung für einen Ausfallschritt ins Hinterfeld dauerte, desto höher war die maximale Geschwindigkeit beim anschließenden Laufweg. Je länger die Nachbereitung eines Ausfallschrittes im Hinterfeld dauerte, desto kürzer war der anschließende Laufweg in die Ballerwartungshaltung.

Generell sollten lange Laufwege auf dem Spielfeld vermieden werden. Sie standen in der Studie in Zusammenhang mit hohen maximalen Geschwindigkeiten und hohen mittleren negativen Beschleunigungen beim Abbremsen in den Umkehrpunkten. Diese beeinflussten wiederum die Senkung des Körperschwerpunktes sowohl bei Ausfallschritten am Netz als auch im Hinterfeld. Je höher die mittlere negative Beschleunigung war, desto tiefer war der anschließende Ausfallschritt.

Die Ergebnisse der kardialen und metabolischen Beanspruchung in einem Herreneinzel im Badminton zeigten, dass Spieler gleicher Leistungsstärke eine gute bis sehr gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit brauchen, um einerseits die körperliche Beanspruchung gering zu halten und andererseits ausreichend taktisch agieren zu können. Die Daten der dreidimensionalen Bewegungsanalyse ganzer Ballwechsel unterstrichen die Bedeutung des Einsatzes einer situativ optimalen Lauftechnik, sowohl in Bezug auf die körperliche Beanspruchung als auch die Umsetzung einer Taktik betreffend.

Aus den Ergebnissen der Untersuchung konnten wissenschaftlich fundierte Trainingshinweise abgeleitet werden, wie zum Beispiel zusätzliche Trainingseinheiten zur Verbesserung der allgemeinen aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit oder ein Taktiktraining, welches den Spieler lehrt, die intervallförmige Belastung bewusst zu gestalten. In Bezug auf die Lauftechnik, kann ein Training der Antizipation und Entscheidungsfähigkeit sowie ein gezieltes Reaktivkrafttraining die Leistungsstärke von Badmintonspielern erhöhen.

## **Danksagung**

Allen, die mich im Laufe der Zeit, in der diese Arbeit entstanden ist, begleitet haben, möchte ich an dieser Stelle Dank sagen.

Für die Betreuung der Arbeit bedanke ich mich herzlich bei Prof. Dr. med. Jeschke von der TU München. Sein Engagement und seine Bereitschaft, mir die erforderliche wissenschaftliche Freiheit zu lassen, haben diese Arbeit erst ermöglicht.

Prof. Dr. Schwirtz von der TU München danke ich, dass er mir in vielen Diskussionen geholfen hat, offene Fragen zu klären und deutlicher zu sehen.

Insbesondere danke ich Frau Dr. Blankenfeld und Herrn Dr. Sommer, vom Institut für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der TU München, für die sehr kompetente und freundliche Untersuchung der Probanden, auch zu später Stunde.

Dank schulde ich auch Maria Besold, die es mir ermöglicht hat, viele Messungen im täglichen Arbeitsgeschehen durchzuführen.

Mein besonderer Dank gebührt Andreas Huber vom Olympiastützpunkt Bayern, der mich in die Technik der dreidimensionalen Bewegungsanalyse eingewiesen hat und Herrn Dr. Lorenz, der mich bei den Untersuchungen mit Cosmed K4b2 unterstützt hat.

Herrn Prof. Küchenhoff vom statistischen Beratungslabor der LMU möchte ich für die Beratung danken.

Mein besonderer Dank gebührt Hanna, Madeleine und Heinz für die soziale Unterstützung und ihren wissenschaftlichen Sachverstand.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen unermüdlichen Probanden bedanken, die keine Mühe gescheut haben, die vielen Messtermine wahrzunehmen.

.

## 9 Literatur

- Abernethy, B. (1988). "The effects of age and expertise upon perceptual skills development in a racket sport." Research Quarterly for Exercise and Sport **59**: 210-221.
- Abernethy, B. (1989). "Expert - Novice differences in perception. How does the expert have to be?" Canadian Journal of Sports Sciences **14**: 27-30.
- Abernethy, B. (1996). "Training the visual - perceptual skills of athletes. Insights from the study of motor expertise." American Journal of Sports Medicine **24**: 89-92.
- Abernethy, B., D. P. Gill, et al. (2001). "Expertise and the perception of kinematic and situational probability information." Perception **30**(2): 233-52.
- Abernethy, B. and D. G. Russell (1987). "Expert - novice differences in an applied selective attention task." Journal of Sportpsychology **9**: 326-345.
- Abernethy, B. and D. G. Russell (1987). "The relationship between expertise and visual search strategy in racket sports." Human Movement Science **6**: 283-319.
- Abernethy, B. and K. Zawi (2007). "Pickup of essential kinematics underpins expert perception of movement patterns." Journal Mot Behav. **39**(5): 353-67.
- Astrand, I. (1987). Arbeitsphysiologie. Stuttgart.
- Astrand, I., P. Astrand, et al. (1960). "Intermittent muscular work." Acta Physiol Scand **48**: 448-453.
- Astrand, P. and K. Rodahl (1968). Textbook of Workphysiology. New York.
- Baron, R., N. Bach, et al. (1990). "Einsatz eines squashespezifischen Feldtests in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik." Österreichisches Journal für Sportmedizin **48**: 448-453.
- Bassett, D. R., P. W. Merrill, et al. (1991). "Rate of decline in blood lactate after cycling exercise in endurance-trained and untrained subjects." Journal of Applied Physiology **70**: 1816-20.
- Baum, K., S. Hoy, et al. (1998). Energetische Leistungsfähigkeit im Badminton - Vergleich von Laufbandergometrie und einem sportartspezifischen Test. Sportartspezifische Leistungsdiagnostik. Köln.
- Baum, K., S. Kerst, et al. (1996). "Erste Erfahrungen in einem sportartspezifischen Leistungstest im Badminton." Leistungssport **1**: 25-28.
- Baum, K., D. Leyk, et al. (1997). "Metabolische und kardiovaskuläre Beanspruchungen im Badminton, Tennis und Squash im Überblick." Sportorthopädie - Sporttraumatologie **13.1**: 1-4.
- Berg, A., E. Jacob, et al. (1990). "Aktuelle Aspekte der modernen Ergometrie." Pneumologie **44**: 2-13.

- Bergeron, M. F., W. J. Kraemer, et al. (1991). "Tennis: a physiological profile during match play." International Journal of Sports Medicine **12**: 474-479.
- Blanksby, B. A., B. Elliot, et al. (1972). "Telemetered heart rate responses of middle-aged sedentary males during squash." Australian Journal of Sports Medicine **1**: 25-28.
- Bochow, W. (1989). Badminton optimieren. Sportwissenschaft und Sportpraxis. Ahrensburg.
- Borg, G. (2004). "Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität." Deutsches Ärzteblatt **101**: A 1016-1021.
- Brodie, D. A. (1979). Training requirements for badminton play. London.
- Cabello, M. D. and J. J. Gonzales-Badillo (2003). "Analysis of the characteristics of competitive Badminton." British Journal of Sports Medicine **37**: 62-66.
- Chance, B., M. T. Dait, et al. (1992). "Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscle of elite competitive rowers." American Journal of Physiology **263**: C766-75.
- Chin, M. K., A. S. Wong, et al. (1995). "Sport specific fitness testing of elite badminton players." British Journal of Sports Medicine **29**(3): 153-7.
- Christmass, M. A., B. Dawson, et al. (1999). "A comparison of skeletal muscle and fuel use in sustained continuous and intermittent exercise." European Journal of Applied Physiology Occup. Physiology **80**: 423-435.
- Cureton, K. J., P. B. Sparling, et al. (1978). "Effect of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance." Medicine Science Sports **10**: 194-199.
- De Marees, H. (2002). Sportphysiologie. Köln.
- Dick, H. P. (1986). "Grundzüge des Konditionstrainings im Badminton - Einsichten und Empfehlungen." Badminton Sport **16**: 36-42.
- Diem, C. (1971). Weltgeschichte des Sports. Stuttgart.
- Docherty, D. (1982). "A comparison of heart rate responses in racket games." British Journal of Sports Medicine **16**: 96-100.
- Docherty, D. and B. Howe (1987). "Heart rate response of squash players relative to their skill level." Australian Journal of Sports Medicine **10**: 92-92.
- Faccini, P. and A. Dal Monte (1996). "Physiologic demands of Badminton Match Play." The American Journal of Sports Medicine **24**: 64-66.
- Faude, O., T. Meyer, et al. (2007). "Physiological characteristics of Badminton match." European Journal of Applied Physiology **100**(4): 479-485.
- Felder, H. (1994). "Die Leistungsentwicklung von Spitzenspielern und -spielerinnen innerhalb von 5 Jahren." Badminton Sport **10**: 59-61.
- Ferrauti, A., M. F. Bergeron, et al. (2001). "Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake." European Journal of Applied Physiology **85**: 85-33.
- Ferrauti, A., Giessen, H.T., Merheim, Weber, K. (2006). "Indirect calorimetry in a soccer game." Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin **57**: 142-146.
- Foss, O. and J. Hallen (2005). "Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber." International Journal of Sports Medicine **26**: 569-575.
- Gosh, A. K., P. Mazumbar, et al. (1990). "Heart rate and blood lactate response in competitive badminton." Annals of Sports Medicine **5**: 85-88.
- Gowitzke, B. A. and D. B. Waddell (1977a). Analysis of overhead badminton power strokes using high speed bi-plane photography. International Coaching Conference, Malmö.

- Gowitzke, B. A. and D. B. Waddell (1977b). The contribution of the biomechanics in solving problems in badminton stroke production. International Coaching Conference, Malmö.
- Hagedorn, G. (1991). Basketballtechnik. Reinbek.
- Hamilton, A. L., M. E. Nevill, et al. (1991). "Physiological response to maximal intermittent exercise: differences between endurance trained runners and game players." Journal of Sports Sciences **9**: 371-82.
- Harrison, R. N., A. Lees, et al. (1986). "A bioengineering analysis of human muscle and joint forces in the lower limb during running." Journal of Sports Sciences **4**: 207-218.
- Hay, J. G. (1979). The biomechanics of sportsgames. London.
- Hollmann, W. and T. Hettinger (1990). Sportmedizin. Stuttgart.
- Hong, Y. and Y. M. Tong (2000). "The playing pattern of the world's top single Badminton players in competition - a notation analysis." Journal of Human Movement Studies **38**: 185-200.
- Jackson, R. C., S. Warren, et al. (2006). "Anticipation skill and susceptibility to deceptive movement." Acta Psychol (Amst). **123**(3): 355-71.
- Kindermann, W. (1978). "Dauertraining. Ermittlung der optimalen Herzfrequenz und Leistungsfähigkeit." Leistungssport **8**(1): 34-39.
- Kindermann, W., A. Schnabel, et al. (1991). "Verhalten von Herzfrequenzen und Metabolismus beim Tennis und Squash." Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin **9**: 229-238.
- Knupp, M. (1989). Badminton Praxis. Hamburg.
- Knupp, M. (1997). Badminton - Wissenwertes von A - Z. Niedernhausen/Ts.
- Kollath, E. (1996). Bewegungsanalysen in den Sportspielen. Köln.
- Kollath, E., W. Bochow, et al. (1987). "Kinematische Wettkampfanalyse im Badminton." Leistungssport **3**: 21-25.
- Kollath, E., W. Bochow, et al. (1985). "Biomechanische Technik-Analyse des Vorhand-Clear aus dem Umsprung und dem Stemmschritt." Badmintonsport **6**: 12-14.
- Kollath, E., W. Bochow, et al. (1983). "In 0,18 sec zu 248 km/h. Biomechanische Analyse des Vorhand-Smash eines weiblichen und männlichen Spitzenspielers." Badmintonsport **11**: 16-18.
- Kollath, E., W. Bochow, et al. (1986). "Kinematische Analyse des Vorhand-Smash aus dem Stand und aus dem Umsprung." Badmintonsport **1**: 16-18.
- Kollath, E. and P. Maier (1997). Kinematisch - dynamische Analysen der Laufbewegungen in den Rückschlagspielen Tennis, Badminton und Squash. Integrative Aspekte in Theorie und Praxis der Rückschlagspiele. B. Hoffmann and P. Koch. Hamburg.
- Kollath, E. and A. Schwirtz (1991). "Abstoppbewegungen in den Sportspielen aus biomechanischer Sicht." Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin **4**.
- Lee, A. (2003). "Science and the major racket sports: a review." Journal of Sports Sciences **21**: 707-732.
- Lee, A. and B. F. Hurley (1995). Forces in a badminton lunge movement. London.
- Leyk, D., K. Baum, et al. (1996). "Laktatkonzentrationen bei intervallartiger Belastung: Squash als Beispiel für konstante Laktatniveaus oberhalb von 4 mmol/l." Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin **11/12**: 551-555.
- Liddle, S. D., M. H. Murphy, et al. (1996). "Physiological demands of singles and doubles in Badminton." Journal of Human Movement Studies **30**: 159-176.
- Liddle, S. D. and P. O' Donoghue (1998). Notational analysis of rallies in European circuit badminton. Science and Raquet Sport II: 275-282.

- Majumdar, P., G. L. Khanna, et al. (1997). "Physiological analysis to quantify training load in badminton." British Journal of Sports Medicine **31**: 342-5.
- McCarthy - Davey, P. (2000). Fatigue, carbohydrate supplementation and skilled tennis performance. Oxford.
- Meyer, T., Davison, R.C.R., Kindermann, W. (2005). "Ambulatory Gas Exchange Measurements - Current Status and Future Options." International Journal of Sports Medicine **26**(1): 19-27.
- Mikkelsen, F. (1978). Physiological demands and muscular adaption in Elite Badminton Players. International Congress of Sports Sciences, The University of Alberta.
- Miller, W. (2006). "Worldcup 2006." from [http:// www.internationalbadminton.org](http://www.internationalbadminton.org).
- Montpetit, R. R. (1990). "Applied physiology of squash." Sports Medicine **10**(1): 31-41.
- Neumann, G. and K. P. Schöler (1989). Sportmedizinische Funktionsgymnastik. Leipzig.
- O` Donoghue, P. (2000). "Notational analysis of rallies in European Club Championship in Badminton." Notational analysis of Sports IV: 225-229.
- Omoegard, B. (1996). Physical Training for Badminton. Dänemark.
- Parker, S. B., B. F. Hurley, et al. (1989). "Failure of target heart rate to accurately monitor intensity during aerobic dance." Medicine Science Sports Exercise **2**: 230-34.
- Poste, D. (2004). A-Trainer Fortbildung; Lauftechnik. Saarbrücken.
- Prichard, S., M. Hughes, et al. (2001). "Rule changes in elite badminton." Proceeding of pass.com Conferences: 213-222.
- Reilly, T., N. Secher, et al. (1990). Physiology of Sport. New York.
- Robson, G. (1996). "IBF Scientific Review of Badminton." from <http://www.badmintoncentral.com>.
- Röcker, K., H. H. Dickhuth, et al. (1998). Sportartspezifische Leistungsdiagnostik - Energetische Aspekte. Köln, Jeschke, D., Lorenz, R.
- Roecker, K., S. Prettin, et al. (2005). "Gas Exchange measurements with High Temporal Resolution: Breath-by-Breath Approach." International Journal of Sports Medicine **26**(1): 11-18.
- Röthig, P. (1992). Sportwissenschaftliches Lexikon. Schorndorf.
- Sakurai, S. and T. Ohtsuki (2000). "Muscle activity and accuracy of the performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice." Journal of Sports Sciences **18**: 901-914.
- Sakurai, S. Y., Y. Ikegami, et al. (1987). A three - dimensional cinematographic analysis of the badminton strokes. Fifth international symposium of the biomechanics in sports, Athen, Tsarouchas, I.
- Schmidt, R. F. and G. Thews (1995). Physiologie des Menschen. Berlin.
- Sharp, N. C. C. (1998). Physiological demands and fitness for squash. London.
- Siler, W. L. (1993). "Is running style and economy affected by wearing respiratory apparatus?" Medicine Sciences Sports Exercise **25**: 260-264.
- Simon, G., A. Berg, et al. (1981). "Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit vom Alter und von der Leistungsfähigkeit." Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin **1**: 7-14.
- Smektal, G., R. Baron, et al. (1996). "Sportartspezifische Felddiagnostik mittels telemetrischer Spirometrie im Tennis." Sportorthopädie - Sporttraumatologie **12.2**: 90-95.
- Stucke, H. (1989). Elemente der Sportspiele. Reinbeck.
- Tang, H. P., K. Abe, et al. (1995). Three-dimensional cinematographical analysis of the badminton forehand smash: Movements of the forearm and hand. London.

- Tapley, S. and R. Barlett (1988). "Cinematographical and electromyographical analysis of the upper extremity during the execution of the overhead badminton strokes." Journal of Sports Sciences **6**: 153-154.
- Thoden, J. S. (1991). Testing aerobic power. Champaign (IL).
- Tomlin, D. L. (1998). The aerobic response to intensive intermittent exercise. University of Victoria. Victoria (BC).
- Tomlin, D. L. and H. A. Wenger (2001). "The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise." Sports Medicine **31**(1): 1-11.
- Urhausen, A., B. Coe, et al. (1990). "Sportmedizinische Leistungsdiagnostik und Trainingsgestaltung in Rückschlagspielen." Sportmedizin **5**: 29-34.
- Vistisen, K. (1987). Ingen kommer til VM pa talent alene. Odense, Universität Odense.
- Weber, K. (1982). Analyse der körperlichen Beanspruchung in den verschiedenen Rückschlagspielen unter dem Aspekt der Präventiv- und Leistungsmedizin. Training im Sportspiel. Hamburg, Andresen, R.: 111-133.
- Weicker, H. (1994). Interaktion zwischen aerober und anaerober Energieproduktion, Laktatproduktion, Release und Elimination. Stuttgart.
- Weiler, B., A. Urhausen, et al. (1997). "Sportmedizinische Leistungsdiagnostik (allgemeine Laufausdauer und Sprintvermögen) und Stresshormon - Messungen im Wettkampf bei Badmintonspielern der nationalen und internationalen Spitzenklasse." Sportorthopädie - Sporttraumatologie **13.1**: 5-12.
- Whired, R., L. Johansson, et al. (1983). Training of strength in Badminton. Coaches Conference, Brondby.
- Williams, M. (2006). "Antizipation."
- Wooten, S. A. and C. Williams (1983). "The influence of recovery duration on repeated maximal sprints." Human Kinetics, Champaign IL: 269-73.
- Zhabankov, O. V. (1997). "Effectiveness of actions in Badminton - Rate and Accuracy." from <http://www.infosport.ru>.
- Zintl, F. and A. Eisenhut (2001). Ausdauertraining. München.

## 10 Anhang

### 10.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Spielfeld

Abb. 2: Ballerwartungshaltung

Abb. 3: Ausfallschritt am Netz

Abb. 4: Ausfallschritt im Hinterfeld

Abb. 5: Umsprung

Abb. 6: Chinasprung

Abb. 7: Spiroergometrie auf dem Laufband

Abb. 8: Schematische Darstellung der Belastungsformen: der stufenweise ansteigenden Laufbandspiroergometrie und dem Vita-Max Test.

Abb. 9: Beispiel der Ergebnisdarstellung einer stufenförmig ansteigenden Laufbandergometrie

Abb. 10: Tragbare Einheit und Maske von Cosmed K4b2

Abb. 11: Eigene Systematisierung der Lauftechnik im Badminton

Abb. 12: Vor- und Nachbereitung von Schlägen

Abb. 13: Schema der Erfassung dreidimensionaler Bewegungsdaten: Spielfeld mit Position der beiden Kameras und den Passpunkten in Form von Holzständern

Abb. 14: Gürtel mit Tennisbällen, die in der Analyse abgetastet wurden

Abb. 15: Sportliche Anamnese der 22 Probanden. Durchschnittlicher zeitlicher Trainingsaufwand pro Woche

Abb. 16: Zusammenhang zwischen dem wöchentlichen badmintonspezifischen Trainingsumfang und dem Alter. Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,68$ ,  $p \leq 0,01$ ),  $n = 22$

Abb. 17: Relative Sauerstoffaufnahme in einem Herreneinzel, 3-Satz-Spiel

Abb. 18: Durchschnittliche relative Sauerstoffaufnahme der einzelnen Spieler im Spiel im Vergleich zu ihrer Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle,  $n = 22$

Abb. 19: oben: relative Sauerstoffaufnahme im Spiel; unten: relative Sauerstoffaufnahme prozentual von der maximalen Sauerstoffaufnahme,  $n = 5$  für 3-Satz-Spiele,  $n = 11$  für 4-Satz-Spiele,  $n = 6$  für 5-Satz-Spiele

Abb. 20: Verlauf der Herzfrequenz in einem Herreneinzel, 3-Satz-Spiel

- Abb. 21: Durchschnittliche Herzfrequenz der einzelnen Spieler im Vergleich zu ihrer Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle, n = 22
- Abb. 22: oben: absolute Herzfrequenz im Spiel; unten: prozentuale Herzfrequenz von der maximalen Herzfrequenz, n = 5 für 3-Satz-Spiele, n = 11 für 4-Satz-Spiele, n = 6 für 5-Satz-Spiele
- Abb. 23: Pausenherzfrequenz in den 3-Satz- 4-Satz- und 5-Satz-Spielen, n = 5 für 3-Satz-Spiele, n = 11 für 4-Satz-Spiele, n = 6 für 5-Satz-Spiele
- Abb. 25: Durchschnittlicher Blutlaktatwert der einzelnen Spieler im Spiel im Vergleich zu ihrem Blutlaktatwert an der individuellen anaeroben Schwelle, n = 22
- Abb. 26: Blutlaktatwerte nach den einzelnen Sätzen der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele, n = 5 für 3-Satz-Spiele, n = 11 für 4-Satz-Spiele, n = 6 für 5-Satz-Spiele
- Abb. 27: Zusammenhang zwischen Pausenherzfrequenz der Probanden (n = 22) vor dem letzten Satz und durchschnittlicher Blutlaktatkonzentration im Spiel. Der Zusammenhang war signifikant. Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $p \leq 0,05$ ,  $r = 0,62$ )
- Abb. 28: Die durchschnittliche relative Sauerstoffaufnahme der einzelnen Leistungsklassen (Ranking) an der individuellen anaeroben Schwelle (n = 22)
- Abb. 29: Zusammenhang zwischen Sauerstoffaufnahmefähigkeit der Probanden (n=22) an der individuellen anaeroben Schwelle und durchschnittlicher Sauerstoffaufnahme im Spiel. Der Zusammenhang war signifikant. Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,60$ ,  $p \leq 0,05$ )
- Abb. 30: Stufenenergiemessung ermittelte relative maximale Sauerstoffaufnahme in Zusammenhang mit durchschnittlichen Blutlaktatwerten im Spiel bei 100 Laufaktionen (n = 22); Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = - 0,4$ )
- Abb. 31: oben: Blutlaktatwerte der 5 Spiele nach den einzelnen Sätzen; unten: durchschnittliche Herzfrequenzen der 5 Spiele während der einzelnen Sätze
- Abb. 32: Mittelwerte von Blutlaktat nach den Sätzen, Herzfrequenzen während den Sätzen und Pausenherzfrequenzen in 3-Satz-Spielen bei Verlierern und Gewinnern (n = 7 für Gewinner; n = 7 für Verlierer)
- Abb. 33: Mittelwerte von Blutlaktat nach den Sätzen, Herzfrequenzen während den Sätzen und Pausenherzfrequenzen in 4-Satz-Spielen bei Verlierern und Gewinnern; (n = 15 für Gewinner, n = 15 für Verlierer)
- Abb. 34: Mittelwerte von Blutlaktat nach den Sätzen, Herzfrequenzen während den Sätzen und Pausenherzfrequenzen in 5-Satz-Spielen bei Verlierern und Gewinnern; (n = 13 für Gewinner, n = 13 für Verlierer)
- Abb. 35: Häufigkeitsverteilung der Dauer der Ballwechsel aller Spiele , n = 1858
- Abb. 36: Prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Dauer aller Ballwechsel. Ballwechsel die bis 8 Sekunden dauern kommen am häufigsten vor.
- Abb. 37: Häufigkeitsverteilung unterschiedlich lang dauernder Pausen zwischen den einzelnen Ballwechseln, n = 1778

- Abb. 38: Pausendauer bei Ballwechseln, die bis 8 Sekunden dauerten und Ballwechseln, die länger als 8 Sekunden dauerten für  $n = 22$ . Bei Ballwechseln, die länger als 8 Sekunden dauerten, verlängerte sich die anschließende Pause. U-Test von Mann-Whitney ( $p \leq 0,05$ )
- Abb. 39: Prozentuale effektive Spielzeit der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele in den einzelnen Sätzen
- Abb. 40: Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Kontakte pro Ballwechsel,  $n = 1859$
- Abb. 41: Prozentualer Anteil an Ausfallschritten am Netz, Ausfallschritten im Hinterfeld und reaktiven Lauftechniken in den Umkehrpunkten. In 19 ausgewerteten Spielen wurden doppelt so viele Ausfallschritte wie Umsprünge und Chinasprünge gemacht
- Abb. 42: Prozentualer Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld in 3 Vereinen. Verein 1  $n = 6$ ; Verein 2  $n = 6$ ; Verein 3  $n = 4$
- Abb. 43: Zusammenhang zwischen Laufaktionen während eines Spieles und durchschnittlicher Blutlaktatkonzentration. Der Zusammenhang war signifikant ( $p \leq 0,05$ ) für  $n = 19$ ; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,54$ ).
- Abb. 44: Zusammenhang zwischen prozentualem Anteil an Ausfallschritten im Hinterfeld (in Bezug zur Gesamtzahl an Ausfallschritten) und durchschnittlichen Blutlaktatwerten im Spiel für  $n = 20$ . Oben: Alle 20 Spieler. Unten: Ausschluss von zwei Spielern, die ausschließlich Rückhand spielten und dadurch vermehrt Ausfallschritte machten. Der Zusammenhang war signifikant ( $p \leq 0,01$ ). Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,51$ ).
- Abb. 45: Verlauf von Geschwindigkeit und Weg (zweidimensional) und das Verhalten des Körperschwerpunktes in einem Ballwechsel. — zeigt die Treffpunkte von Spieler B; --- -- zeigt die Treffpunkte von dem analysierten Spieler A
- Abb. 47: Summe der Laufwege (zwei- und dreidimensional) sowie der Verlauf des Körperschwerpunktes — zeigt die Treffpunkte von Spieler B, ----- zeigt die Treffpunkte von dem analysierten Spieler A
- Abb. 48: oben: Laufweg eines Spielers in einem Ballwechsel in der vertikalen Bewegungsrichtung; unten: Laufweg während eines Ballwechsels in der horizontalen Bewegungsrichtung
- Abb. 49: Laufwege aus der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Ball und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung in unterschiedliche Lauftechniken unterteilt; Der Laufweg zum Ball war bei allen Techniken signifikant länger als der Laufweg in die Ballerwartungshaltung; U-Test von Mann-Whitney, ( $p \leq 0,05$ ); Ausfallschritt am Netz ( $n = 80$ ), Ausfallschritt im Hinterfeld ( $n = 43$ ), Umsprung/Chinasprung ( $n = 60$ )
- Abb. 50: Geschwindigkeitszeitverlauf eines Laufweges in einem Ballwechsel
- Abb. 51: Maximale Geschwindigkeiten bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP), unterteilt in unterschiedliche Lauftechniken in den Umkehrpunkten; Ausfallschritt am Netz ( $n = 80$ ), Ausfallschritt im Hinterfeld ( $n = 43$ ), Umsprung/Chinasprung ( $n = 60$ )
- Abb. 52: Zusammenhang zwischen der Länge des Laufweges und der maximalen Geschwindigkeit ans Netz für  $n = 59$ ; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,79$ ;  $p \leq 0,01$ )
- Abb. 53: Beschleunigungsverlauf eines Laufweges in einem Ballwechsel

- Abb. 54: Mittlere Beschleunigung bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP) unterteilt in die einzelnen Lauftechniken; Ausfallschritt am Netz (n = 80), Ausfallschritt im Hinterfeld (n = 43), Umsprung/Chinasprung (n = 60)
- Abb. 55: Zusammenhang zwischen der maximalen Geschwindigkeit beim Laufweg ans Netz und der mittleren negativen Beschleunigung für n = 59; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r = 0,5$ ;  $p < 0,01$ )
- Abb. 56: Senkung des Körperschwerpunktes in den Umkehrpunkten; Ausfallschritt am Netz (n = 80), Ausfallschritt im Hinterfeld (n = 43), Umsprung/Chinasprung (n = 60)
- Abb. 57: Prozentuale Senkung des Körperschwerpunktes in Zusammenhang mit der maximalen Geschwindigkeit für n = 60; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $p \leq 0,01$ ;  $r = -0,65$ )
- Abb. 58: Prozentuale Senkung des Körperschwerpunktes im Zusammenhang mit der mittleren negativen Beschleunigung für n = 60; Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $p \leq 0,01$ ;  $r = 0,54$ )
- Abb. 59: Beispiel einer schlechten Vorbereitung in der Ballerwartungshaltung. Nachdem der Gegner den Ball getroffen hat, hüpft der Spieler noch zweimal auf und ab bevor er sich in Laufrichtung zum Ball abdrückt.
- Abb. 60: Beispiel einer schlechten Nachbereitung eines Schlages nach einem Umsprung auf der Rückhandseite im Hinterfeld. Der Spieler schafft es nicht, das „Prinzip der integrierten Rückkehr“ umzusetzen. Er braucht einen zusätzlichen Schritt, um sich aus der Ecke abzurücken.
- Abb. 61: Erster Abdruck und Dauer der Vor- und Nachbereitung von Schlägen, unterteilt in die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten; Ausfallschritt am Netz (n = 80), Ausfallschritt im Hinterfeld (n = 43), Umsprung/Chinasprung (n = 60)
- Abb. 62: oben: Dauer für den Abbremsvorgang und die erste Beschleunigung im Umkehrpunkt bei unterschiedlichen Techniken im Umkehrpunkt; unten: Negative und positive Beschleunigung in den Umkehrpunkten bei unterschiedlichen Techniken im Umkehrpunkt; Mittelwerte von n = 20

## 10.2 Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Relative Maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit von Badmintonspielern
- Tab. 2: Anthropometrische Daten der 22 Probanden
- Tab. 3: Maximale Leistungsparameter bei der stufenförmig ansteigenden Laufbandspiroergometrie , n = 22
- Tab. 4: Leistungsparameter der Laufbandspiroergometrie an der individuellen aeroben und anaeroben Schwelle, n = 22
- Tab. 5: Maximale Leistungsparameter beim Vita-Max Test , n = 22
- Tab. 6: Ausbelastungskriterien bei ansteigender Laufbandergometrie und im Vita – Max Test im Vergleich zu den in der Literatur genannten Daten bei 22 Probanden (De Marees 2002)
- Tab. 7: Verhalten der Sauerstoffaufnahme in den einzelnen Sätzen.
- Tab. 8: Belastungsherzfrequenzen und Pausenherzfrequenzen in den einzelnen Sätzen
- Tab. 9: Blutlaktatwerte nach den einzelnen Sätzen, 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele, n = 5 für 3 Satz-Spiele, n = 11 für 4-Satz-Spiele, n = 6 für 5-Satz-Spiele
- Tab. 10: Zusammenhang zwischen den im Labor gemessenen Parametern relative maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit sowie der Sauerstoffaufnahme-fähigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle und der Spielstärke (Ranking), n = 22, Korrelationskoeffizient nach Spearman, Signifikanz: \* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$
- Tab. 11: Kardiale und metabolische Parameter von Gewinnern und Verlierern für 3-Satz-, 4 Satz- und 5-Satz-Spiele; U-Test von Mann-Whitney (\* =  $p \leq 0,05$ )
- Tab. 12: Dauer der einzelnen Sätze der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele in Sekunden [s]
- Tab. 13: Dauer der Ballwechsel der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele
- Tab. 14: Dauer der durchschnittlichen Pausen zwischen den Ballwechseln der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele
- Tab. 15: Anzahl der Ballkontakte der 3-Satz-, 4-Satz- und 5-Satz-Spiele
- Tab. 16: Zusammenhang zwischen den kardialen und metabolischen Parametern auf dem Spielfeld und der intervallförmigen Belastung der Spiele (n = 22); Korrelationskoeffizient nach Spearman (\* =  $p \leq 0,05$ )
- Tab. 17: Schlagabfolge des Ballwechsels des Spielers A
- Tab. 18: Durchschnittliche mittlere Beschleunigungswerte bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP)
- Tab. 19: Senken des Körperschwerpunktes bei den unterschiedlichen Techniken in den Umkehrpunkten; U-Test von Mann–Whitney
- Tab. 20: Laufwege aus der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Ball und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung in unterschiedliche Lauftechniken unterteilt; U-Test von Mann–Whitney
- Tab. 21: Höhe der maximalen Geschwindigkeiten bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP), unterteilt

in unterschiedliche Lauftechniken in den Umkehrpunkten; Statistik: U-Test von Mann–Whitney

Tab. 22: Mittlere Beschleunigung bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP), unterteilt in die einzelnen Lauftechniken; U-Test von Mann–Whitney

Tab. 23: Erster Abdruck und Dauer der Vor- und Nachbereitung von Schlägen, unterteilt in die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten; U-Test von Mann–Whitney

Tab. 24: Sprunghöhen der einzelnen Sprünge

### 10.3 Abkürzungen

IBF- Council	International Badminton Federation
WM	Weltmeisterschaft
IOC	International Olympic Organisation
s	Sekunde
m	Meter
msec	Millisekunde
kg	Kilogramm
min	Minute
l	Liter
mmol	millimolar
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
%	Prozent
°C	Grad Celsius
VO <sub>2</sub>	Sauerstoffaufnahme
G	Gramm
ZHS	zentrale Hochschulsport Anlage
KSP	Körperschwerpunkt
ZP	Zentralpunkt
h	hinten
cr	diagonal
ll	Parallel zur Seitenlinie
Vh	Vorhand
Rh	Rückhand
Max	maximal
r	das statistische Bestimmtheitsmaß $R^2$
p	Signifikanzniveau
ml	Milliliter
DBV	Deutscher Badminton Verband

### 10.4 Glossar

Clear	Schlagart, bei der der Ball hoch von Hinterfeld zu Hinterfeld fliegt
Unterhandclear	Schlagart, bei der der Ball von unterhalb der Hüfte hoch an die gegnerische Grundlinie fliegt. Eine Sonderform ist der hohe Aufschlag.
Drop	Schlagart, bei der der Ball direkt hinter das Netz herunter fällt.
Seithandschlag	Der Balltreffpunkt liegt zwischen Hüft- und Schulterhöhe. Harte Schlagtechniken: Drive, flache Smash-Abwehr. Weiche Schlagtechnik: Push

Drive	Schlagart, bei der der Ball waagrecht etwa in Treffhöhe der oberen Netzkante fliegt.
Smash	Schlagart, bei der der Ball abwärts fliegt.
Malayenschritt	Lauftechnik auf die Rückhandseite im Hinterfeld, bei welcher der Ball links vom Kopf geschlagen wird.
Links-vom-Kopf-Schlag	Der Ball wird im Treffbereich Überhand (oberhalb der linken Schulter bei Rechtshändern) mit der Vorhand geschlagen. Alternativ können Bälle in diesem Treffbereich auch mit der Rückhand geschlagen werden (Knupp 1997).
Douglas-Sack	Sack aus gummiertem Leinwandgewebe oder aus Kunststoff mit Volumina zwischen 100 und 250 l und einem Dreiwegehahn. Er dient zu Stoffwechseluntersuchungen mit offenem System. Während körperlicher Arbeit wird die in den

## 10.5 Daten

### 10.5.1 Anthropometrie

Proband	Alter	Gewicht	Größe	Fettgeh	Training_g	Training_Bad
1	25	84,4	193	9,2	660	540
2	27	98	188	21,5	495	450
3	20	72,2	184	7,5	435	360
4	19	78,1	178	13	540	540
5	17	71,3	186	3,7	660	600
6	29	86,2	196	9,8	300	240
7	26	88,8	194	7,5	900	360
8	37	76,2	178	10	300	240
9	19	76,7	181	7	820	600
10	25	83,4	178,5	20	960	600
11	18	69,8	183	7,5	945	600
12	20	72	178,5	6,7	510	450
13	23	82	182	6	870	360
14	22	80,3	179,5	7,2	600	540
15	27	81,5	185	22,7	330	240
16	21	81,3	194	8,8	450	360
17	31	74,2	182,5	12,7	330	240
18	32	84,7	189,5	13,8	480	90
19	24	64,8	168,5	6,5	660	120
20	22	72,5	176,5	12,5	360	360
21	22	76,3	177,5	9	570	480
22	24	87,3	191	9	450	450

Alter: Alter der Probanden [Jahre]

Gewicht: Gewicht der Probanden [kg]

Größe: Körpergröße der Probanden [cm]

Fettgeh: Körperfettgehalt der Probanden [%]

Training\_g: Gesamttraining der Probanden pro Woche [min]

Training\_Bad: Badmintonspezifisches Training pro Woche [min]

---

Proband	Stärke	Liga
1	2	4
2	3	4
3	3	4
4	3	4
5	4	3
6	5	4
7	1	3
8	6	4
9	1	1
10	4	3
11	4	3
12	1	2
13	3	3
14	5	3
15	5	4
16	2	2
17	3	3
18	2	2
19	5	4
20	6	4
21	2	2
22	4	4

Stärke: Einteilung der Probanden nach Expertenrating

Liga: 1 = 1. Bundesliga, 2 = 2. Bundesliga, 3 = Regionalliga,

4 = Bayernliga

### 10.5.2 Leistungsdiagnostik

Proband	StVmax	StVAS	StVIAS	StVANS	StVIANS	StHfmax
1	16,5	10,8	9,2	13,1	12,3	200
2	15,7	10,0	7,9	12,4	12,0	201
3	17,3	11,3	10,8	13,9	13,2	202
4	14,9	8,2	6,1	11,6	11,3	210
5	16,7	9,8	8,8	12,5	12,0	214
6	16,7	10,0	9,7	12,9	12,3	207
7	16,7	9,6	8,6	12,4	12,1	208
8	13,3	3,6	7,5	10,4	10,4	191
9	16,7	11,8	9,9	14,0	13,2	203
10	15,5	9,8	9,0	12,3	11,6	200
11	16,9	12,7	10,6	15,1	14,5	191
12	18	11,8	10,6	14,6	14,1	200
13	18,3	13,2	11,2	15,0	13,9	188
14	16,9	8,5	9,1	12,3	12,2	183
15	15,1	7,1	8,9	11,8	11,9	196
16	16,7	8,1	10,0	12,0	13,2	201
17	14,8	9,7	8,4	12,0	11,3	190
18	14,9	7,9	9,4	12,0	11,5	182
19	16,7	10,0	10,1	13,3	12,9	199
20	15	6,1	8,7	10,5	11,0	210
21	16,7	12,1	9,9	14,2	13,4	186
22	16,4	6,2	9,4	12,1	12,0	195

StVmax: Maximale Geschwindigkeit in der Stufenenergieometrie [km/h]

StVAS: Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle in der Stufenenergieometrie [km/h]

StVIAS: Geschwindigkeit an der individuellen aeroben Schwelle in der Stufenenergieometrie [km/h]

StVANS: Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle in der Stufenenergieometrie [km/h]

StVIANS: Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle in der Stufenenergieometrie [km/h]

StHfmax: Maximale Herzfrequenz in der Stufenenergieometrie [Schläge/min]

Proband	StHfAS	StHfIAS	StHfANS	StHfIANS	StLamax	StLaIAS
1	163	148	182	176	11,5	1,5
2	145	125	174	169	9,9	1,4
3	160	156	183	177	13,0	1,9
4	164	141	188	187	10,5	1,2
5	169	161	190	186	13,5	1,7
6	170	168	186	183	12,9	1,9
7	162	153	187	184	13,3	1,7
8	144	154	179	179	8,4	2,2
9	178	164	191	187	9,3	1,3
10	169	165	182	179	11,4	1,8
11	169	159	182	178	6,7	1,4
12	166	157	184	182	11,0	1,7
13	165	150	176	169	13,0	1,3
14	131	135	162	161	14,1	2,1
15	136	152	171	172	9,8	2,4
16	145	165	184	192	11,0	2,8
17	156	145	176	170	10,0	1,6
18	131	141	159	155	11,0	2,1
19	152	154	175	172	10,7	2,0
20	145	160	172	176	13,5	3,0
21	154	133	172	166	8,9	1,3
22	124	158	181	181	13,8	2,4

StHfAS: Herzfrequenz an der aeroben Schwelle in der Stufenergometrie [Schläge/min]

StHfIAS: Herzfrequenz an der individuellen aeroben Schwelle in der Stufenergometrie [Schläge/min]

StHfANS: Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle in der Stufenergometrie [Schläge/min]

StHfIANS: Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle in der Stufenergometrie [Schläge/min]

StLamax: maximaler Blutlaktatwert in der Stufenergometrie [mmol/l]

StLaIAS: Blutlaktat an der individuellen aeroben Schwelle in der Stufenergometrie [mmol/l]

Proband	StLaIANS	StVOmax	StVOAS	StVOIAS	StVOANS	StVOIANS
1	3,1	65,2	49,6	42,0	56,2	52,7
2	3,5	62,9	36,9	29,4	46,8	45,3
3	3,2	62,6	46,2	44,2	54,1	51,4
4	3,8	58,2	38,3	38,0	50,0	48,7
5	3,5	71,0	46,0	41,8	53,9	55,0
6	3,4	62,2	43,9	42,6	53,4	50,9
7	3,7	57,0	39,7	35,6	49,4	48,2
8	4,1	57,3	33,1	37,3	50,0	50,0
9	3,1	71,8	58,4	46,8	63,1	59,5
10	3,2	56,5	38,6	35,5	47,7	45,5
11	3,4	58,3	49,5	41,3	52,2	53,9
12	3,5	67,4	49,9	46,6	60,4	58,9
13	2,7	69,2	56,3	45,1	61,9	56,7
14	3,8	60,2	33,0	35,1	45,1	44,8
15	4,1	56,6	30,5	34,8	44,8	45,2
16	4,4	60,6	34,3	42,4	52,4	53,9
17	3,2	63,1	44,2	42,0	55,9	52,6
18	3,4	49,3	33,3	37,9	45,5	43,6
19	3,6	61,0	40,6	41,1	50,4	48,9
20	4,5	50,6	26,5	34,8	39,9	41,8
21	3,1	62,2	57,9	40,3	55,2	55,4
22	4,0	59,3	28,4	43,1	53,3	52,9

StLaIANS: Blutlaktatwert an der individuellen anaeroben Schwelle in der Stufenergometrie [mmol/l]

StVOmax: rel. maximale Sauerstoffaufnahme in der Stufenergometrie [ml/kg/min]

StVOAS: rel Sauerstoffaufnahme an der aeroben Schwelle in der Stufenergometrie [ml/kg/min]

StVOIAS: rel Sauerstoffaufnahme an der individuellen aeroben Schwelle in der Stufenergometrie [ml/kg/min]

StVOANS: rel. Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle in der Stufenergometrie [ml/kg/min]

StVOIANS: rel. Sauerstoffaufnahme an der individuellen anaeroben Schwelle in der Stufenergometrie [ml/kg/min]

Proband	VMVmax	VOmaxabs	VMVOmax	VMLamax	VMHfmax
1	18,0	65,2	64,6	10,41	194
2	17,2	62,9	58,6	10,81	195
3	19,0	62,6	56,6	10,77	192
4	16,2	60,6	60,6	8,99	204
5	18,0	71,0	63,6	10,65	199
6	18,8	63,5	63,5	11,34	197
7	18,2	57,0	56,6	11,29	198
8	14,4	61,9	61,9	8,89	191
9	18,3	71,8	69,4	8,82	198
10	17,3	57,2	57,2	11,99	195
11	18,0	68,8	68,8	9,37	192
12	19,0	69,3	69,3	10,37	194
13	20,5	70,5	70,5	14,48	190
14	19,0	60,2	57,7	16,06	183
15	15,5	56,6	55,8	7,45	185
16	18,5	66,7	66,7	12,09	192
17	16,0	63,1	60,2	9,44	181
18	17,5	53,6	53,6	10,26	180
19	19,0	61,0	60,6	10,76	186
20	16,3	50,6	46,5	11,87	200
21	19,0	63,8	63,8	10,54	181
22	18,0	59,3	58,2	12,62	188

VMVmax: maximale Geschwindigkeit im Vita-Max Test [km/h]

VOmaxabs: rel. maximale Sauerstoffaufnahme aus Spiroergometrie und Vita-Max Test [ml/kg/min]

VMVOmax: rel. maximale Sauerstoffaufnahme im Vita-Max Test [ml/kg/min]

VMLamax: maximaler Blutlaktatwert im Vita-Max Test [mmol/l]

VMHfmax: maximale Herzfrequenz im Vita-Max Test [Schläge/min]

### 10.5.3 Lauftechniken im Spiel

Proband	Laufaktionen	Ausfall%	Reaktiv%	Ausfall v	Ausfall h
1	186	60	40	65	27
2	121	68	32	50	20
3	83	69	31	36	13
4	122	61	39	46	23
5	119	56	44	48	10
6	103	72	28	39	30
7	79	80	20	36	29
9	85	61	39	36	4
10	174	62	38	71	27
11	113	49	51	41	8
12	111	77	23	55	19
13	165	80	20	65	28
14	136	55	45	54	11
15	146	67	33	55	36
17	137	80	20	48	27
18	90	62	38	35	13
19	138	65	35	56	16
21	186	60	40	33	7
22	207	86	14	72	73

Laufaktionen: Gesamtlaufaktionen in einem Spiel

Ausfall%: Prozentualer Anteil an Ausfallschritten

Reaktiv%: Prozentualer Anteil an Chinasprüngen und Umsprüngen

Ausfall v: Gesamtzahl an Ausfallschritten im Vorderfeld

Ausfall h: Gesamtzahl an Ausfallschritte im Hinterfeld

### 10.5.4 Kardiale und metabolische Parameter im Spiel

Proband	FeVOmax	FeVOmin	FeHfmax	FeHfmin	FeVO_1	FeVO_2
1	61,1	33,5	182	140	54,8	50,6
2	46,7	31,1	177	87	38,5	39,0
3	68,1	42,7	184	98	60,5	55,4
4	57,6	33,2	195	127	47,0	50,9
5	53,2	35,1	188	140	41,1	45,8
6	55,3	34,7	179	138	44,7	43,7
7	51,8	22,0	187	114	36,8	38,9
8	47,7	30,8	180	166	39,4	41,0
9	53,3	34,3	180	120	46,1	47,8
10	53,5	24,6	194	105	49,2	46,2
11	54,4	37,4	186	101	48,8	50,8
12	62,1	32,7	192	113	53,8	50,0
13	64,2	34,4	173	140	51,4	55,9
14	57,0	35,2	180	119	48,3	48,0
15	54,2	36,1	197	106	46,1	45,1
16	65,0	25,5	186	115	47,9	47,9
17	53,9	35,0	186	100	44,3	49,8
18	47,1	14,2	184	97	33,6	37,9
19	58,0	25,2	174	108	46,1	48,4
20	47,8	29,0	197	122	40,1	39,3
21	61,8	39,6	185	145	50,1	52,4
22	64,6	44,5	191	82	57,6	57,4

FeVOmax: durchschnittliche rel. maximale Sauerstoffaufnahme [ml/kg/min]

FeVOmin: durchschnittliche rel. minimale Sauerstoffaufnahme [ml/kg/min]

FeHfmax: durchschnittliche maximale Herzfrequenz [Schläge/min]

FeVO\_1-FeVO\_5: durchschnittliche rel. Sauerstoffaufnahme in einem Satz [ml/kg/min]

Proband	FeVO_3	FeVO_4	FeVO_5	FeHf_1	FeHf_2	FeHf_3
1	51,3	50,4	49,5	173	171	178
2	39,4	36,3		152	166	164
3	55,1			174	169	170
4	50,8			162	172	182
5	46,3	44,5	37,5	149	167	176
6	45,6	45,3		155	157	162
7	37,9	38,8		152	161	168
8	38,0	37,7		166	180	176
9	44,4			166	171	171
10	42,1	43,2	45,1	179	182	179
11	50,4	45,8		158	175	175
12	50,7			173	171	183
13	49,1	48,1		150	175	170
14	48,7	44,1		161	169	173
15	47,1	39,1		179	185	187
16	47,9	47,9		157	181	181
17	46,5	44,4	41,5	165	178	178
18	40,1	34,5		151	162	175
19	45,1	42,5	46,9	152	161	154
20	41,1	35,7		167	174	188
21	48,2			162	173	163
22	58,3	53,8	53,8	172	180	182

FeVO\_1-FeVO\_5: durchschnittliche Sauerstoffaufnahme in einem Satz  
[ml/kg/min]

FeHf\_1-FeHf\_5: durchschnittliche Herzfrequenz in einem Satz  
[Schläge/min]

Proband	FeHf_4	FeHf_5	FeTime_1	FeTime_2	FeTime_3	FeTime_4
1	180	184	334	128	283	462
2	158		382	300	341	184
3			289	204	180	
4			273	135	303	
5	175	160	223	297	415	220
6	159		351	309	320	214
7	171		144	241	184	323
8	179		253	380	270	509
9			412	253	296	
10	183	186	270	338	191	243
11	170		273	300	206	459
12			288	223	635	
13	170		106	458	204	226
14	171		337	293	479	290
15	186		410	287	250	551
16	183		106	458	204	226
17	178	176	289	169	350	301
18	168		198	384	214	151
19	154	154	370	470	261	164
20	180		269	320	309	241
21			230	353	117	
22	181	183	372	221	250	385

FeHf\_1-FeHf\_5: durchschnittliche Herzfrequenz in einem Satz [Schläge/min]

FeTime\_1-FeTime\_5: Dauer der einzelnen Sätze [s]

Proband	FeTime_5	FeLaktat_1	FeLaktat_2	FeLaktat_3	FeLaktat_4	FeLaktat_5
1	222	7,1	7,0	5,4	6,9	6,8
2		1,8	2,7	2,1	2,4	
3		4,3	2,1	1,9		
4	192	2,7	3,5	3,4		0,9
5		1,2	1,7	1,6	1,4	
6		1,3	1,9	1,3	1,5	
7		1,8	2,3	2,0	3,4	
8		4,7	6,8	5,7	6,5	
9		0,8	1,8	2,3		
10	669	4,3	3,6	2,7	3,6	4,3
11		1,8	2,2	1,7	2,2	
12		2,6	1,8	2,8		
13		2,7	6,1	3,3	2,4	
14		4,0	5,0	6,3	4,5	
15		3,2	2,8	3,5	2,9	
16		3,6	4,6	3,9	4,3	
17	258	4,3	5,6	4,4	5,0	4,4
18		4,5	4,7	6,3	5,8	
19	162	0,9	1,1	0,9	1,0	1,3
20		5,7	5,4	6,3	4,2	
21		4,1	6,0	5,4		
22	493	5,6	6,2	8,2	7,4	8,7

FeTime\_1-FeTime\_5: Dauer der einzelnen Sätze [s]

FeLaktat\_1-FeLaktat\_5: durchschnittlicher Blutlaktatwert am Ende der einzelnen Sätze [mmol/l]

Proband	Gew./Verl.	Ruhe_Hf	Ruhe_Hf_1	Ruhe_Hf_2	Ruhe_Hf_3	Ruhe_Hf_4
1	2	88	133	119	133	133
2	2	87	114	120	119	
3	2	98	121	118		
4	2	104	133	134		
5	2	107	105	121	130	132
6	2	84	112	97	111	
7	1	114	127	124	118	
8	2	92	134	142	142	
9	1	111	119	131		
10	2	105	135	128	130	138
11	2	100	126	134	132	
12	1	102	111	124		
13	2	102	110	132	128	
14	2	126	119	133	142	
15	1	106	126	129	144	
16	1	80	115	133	131	
17	1	100	122	135	144	145
18	2	98	122	142	154	
19	1	117	108	122	116	115
20	2	103	122	130	138	
21	2	83	95	120		
22	1	82	116	148	136	137

Gew./ Verl.: 1 = Gewinner; 2 = Verlierer

Ruhe\_Hf: Herzfrequenz direkt vor dem Spiel [Schläge/min]

Ruhe\_Hf\_1-Ruhe\_Hf\_4: Herzfrequenz am Ende der 90 s Pause zwischen den einzelnen Sätzen [Schläge/min]

Proband	Sätze	Ballw_1	Ballw_2	Ballw_3	Ballw_4	Ballw_5
1	5,0	8,0	7,7	6,2	5,7	5,8
2	4,0	4,0	6,7	4,8	4,9	
3	3,0	5,4	5,5	6,9		
4	3,0	5,5	5,5	6,4		
5	5,0	4,1	5,0	6,4	4,7	3,6
6	4,0	5,8	4,4	4,5	3,8	
7	4,0	3,9	4,2	4,2	4,7	
8	4,0	5,4	6,6	5,2	5,5	
9	3,0	4,7	5,1	3,9		
10	5,0	6,0	5,2	4,4	5,4	6,1
11	4,0	5,0	6,0	5,1	4,5	
12	3,0	4,9	4,5	5,2		
13	4,0		6,2	4,6	4,6	
14	4,0	4,7	4,7	5,5	4,0	
15	4,0	5,5	4,3	5,4	4,7	
16	4,0		6,4	4,6	4,6	
17	5,0	5,0	8,4	5,8	5,2	5,9
18	4,0	4,6	4,8	5,6	4,3	
19	5,0	4,4	5,6	4,3	4,7	4,1
20	4,0	3,9	4,5	4,5	3,5	
21	3,0	5,8	5,3	4,4		
22	5,0	4,9	5,1	4,3	4,2	6,5

Sätze: 3 = 3-Satz-Spiele; 4 = 4-Satz-Spiele; 5 = 5-Satz-Spiele

Ballw\_1-Ballw\_5: durchschnittliche Dauer der Ballwechsel in den einzelnen Sätzen [s]

Proband	Pause_1	Pause_2	Pause_3	Pause_4	Pause_5	Kontakt_1
1	8,1	9,2	8,7	6,6	8,6	7,3
2	8,1	7,8	7,9	8,3		4,1
3	8,6	8,8	8,3			5,0
4	6,5	7,1	7,7			4,2
5	7,6	8,1	8,7	8,3	7,1	3,6
6	6,9	8,2	8,6	8,6		4,4
7	8,0	10,0	8,8	9,8		4,1
8	7,5	8,0	8,5	8,1		5,0
9	7,9	9,1	9,9			4,0
10	8,7	9,6	9,9	9,1	10,8	5,5
11	8,9	7,7	8,0	7,9		5,2
12	7,8	9,6	11,8			4,8
13		6,9	7,6	8,0		
14	8,2	8,4	11,3	10,5		4,2
15	6,6	8,9	7,9	8,5		4,4
16		6,9	7,6	8,3		
17	8,2	9,4	11,0	11,9	11,9	4,5
18	8,4	8,5	8,8	8,6		4,1
19	7,7	6,9	6,8	7,2	7,6	4,0
20	7,1	7,7	7,9	8,9		3,7
21	6,9	6,9	7,8			5,5
22	8,4	7,4	7,6	8,9	9,9	5,3

Pause\_1-Pause\_5: durchschnittliche Dauer der Pause zwischen den Ballwechseln in den einzelnen Sätzen [s]

Kontakt\_1-Kontakr\_5: durchschnittliche Anzahl der Kontakte in einem Ballwechsel in den einzelnen Sätzen

Proband	Kontakt_2	Kontakt_3	Kontakt_4	Kontakt_5	Ballw_ges_1	Ballw_ges_2
1	7,9	5,7	4,7	6,0	159	54
2	6,0	5,2	4,7		119	128
3	5,2	6,9			192	72
4	5,8	5,8			110	55
5	4,6	5,8	4,4	3,1	78	114
6	4,2	4,5	3,9		157	106
7	4,1	4,6	4,7		47	72
8	5,8	4,6	5,0		107	166
9	4,7	4,0			151	91
10	5,1	4,3	5,3	5,9	113	120
11	5,1	5,0	4,2		99	131
12	5,1	4,9			113	72
13	6,1	5,1	5,2			225
14	4,6	5,3	4,0		127	103
15	4,4	5,0	4,3		186	95
16	6,3	5,4	5,2			217
17	7,6	5,3	5,3	6,0	105	76
18	4,4	5,3	4,1		69	140
19	4,8	3,9	4,5	3,8	136	214
20	4,5	4,6	3,1		94	121
21	4,8	4,8			105	155
22	5,2	4,3	4,9	6,0	141	91

Kontakt\_1-Kontakr\_5: durchschnittliche Anzahl der Kontakte in einem Ballwechsel in den einzelnen Sätzen

Ballw\_ges\_1-Ballw\_ges-5: Gesamtdauer der Ballwechsel in einem Satz [s]

Proband	Ballw_ges_3	Ballw_ges_4	Ballw_ges_5	Paus_ges_1	Paus_ges_2	Paus_ges_3
1	117	194	93	153	55	156
2	130	68		236	140	205
3	117			253	105	133
4	134			124	64	153
5	172	80	40	136	178	225
6	109	65		179	188	197
7	55	99		88	160	114
8	73	203		143	193	119
9	86			253	154	207
10	57	86	184	157	210	119
11	81	94		169	162	120
12	182			172	144	400
13	76	83			234	123
14	154	79		213	177	304
15	103	197		218	186	142
16	80	83			232	121
17	121	210	100	164	75	219
18	84	51		117	238	123
19	103	66	62	231	256	156
20	112	63		163	199	190
21	44			118	193	70
22	91	126	201	236	125	151

Ballw\_ges\_1-Ballw\_ges-5: Gesamtdauer der Ballwechsel in einem Satz [s]

Paus\_ges\_1-Paus\_ges-5: Gesamtdauer der Pausen zwischen den Ballwechseln in einem Satz [s]

Proband	Paus_ges_4	Paus_ges_5	Kont_ges_1	Kont_ges_2	Kont_ges_3	Kont_ges_4
1	217	129	146	55	109	160
2	108		123	113	140	66
3			186	67	116	
4			92	58	124	
5	133	71	68	106	157	74
6	138		119	100	108	66
7	195		49	70	60	94
8	301		100	146	64	185
9			128	85	87	
10	136	312	105	117	56	84
11	158		103	111	80	89
12			112	81	171	
13	139			220	94	93
14	200		114	102	149	79
15	349		149	96	95	180
16	137			214	86	93
17	237	190	94	68	111	112
18	95		62	128	79	49
19	93	107	124	182	93	63
20	151		89	121	116	56
21			99	139	48	
22	257	297	153	94	91	148

Paus\_ges\_1-Paus\_ges-5: Gesamtdauer der Pausen zwischen den Ballwechseln in einem Satz [s]

Kont\_ges\_1-Kont-ges\_5: Anzahl aller Kontakte in einem Satz

---

Proband	Kont_ges_5
1	96
2	
3	
4	
5	34
6	
7	
8	
9	
10	176
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	102
18	
19	57
20	
21	
22	185

Kont\_ges\_1-Kont-ges\_5: Anzahl aller Kontakte in einem Satz

### 10.5.5 Dreidimensionale Bewegungsanalyse

Proband		N	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
1	Vmax	13	,86	3,66	2,22	,82
	S ZP-Ecke	13	,12	2,20	1,16	,65
	Vorbereitung	13	,19	,57	,28	,10
	posmittlere a	13	,62	6,65	3,43	1,78
	negmittlere -a	13	-10,97	-1,74	-5,69	2,70
	EVmax	13	,42	2,33	1,63	,55
	ES Ecke-ZP	13	,10	2,57	,91	,68
	ENachbereitung	13	,03	,58	,26	,20
	Eposmittlere a	13	1,36	5,29	3,03	1,02
	Enegmittlere -a	13	-3,44	-,20	-1,62	,95
	KSP_ZP	13	-,30	-,10	-,21	,06
	KSP_Eck	13	-,41	-,09	-,26	,09
	KSPZPProzent	13	-26,55	-8,85	-19,19	5,51
	KSPEckeProzent	13	-36,28	-7,96	-23,34	8,34
	2	Vmax	9	1,63	3,40	2,60
S ZP-Ecke		9	1,00	3,52	1,85	,77
Vorbereitung		9	,01	,39	,24	,11
posmittlere a		9	1,72	7,16	3,60	1,58
negmittlere -a		9	-8,91	-1,65	-5,36	2,47
EVmax		9	,84	2,57	1,88	,56
ES Ecke-ZP		9	,40	2,43	1,33	,73
ENachbereitung		9	,00	,31	,13	,11
Eposmittlere a		9	,00	6,42	3,14	1,87
Enegmittlere -a		9	-2,79	,00	-1,76	,82
KSP_ZP		9	-,22	-,13	-,18	,03
KSP_Eck		9	-,44	-,12	-,24	,10
KSPZPProzt		9	-19,47	-11,50	-16,12	2,79
KSPEckeProzent		9	-38,94	-10,62	-21,82	9,61
3		Vmax	7	,94	3,10	2,18
	S ZP-Ecke	7	,44	2,12	1,46	,71
	Vorbereitung	7	,20	,66	,37	,19
	posmittlere a	7	1,10	3,50	2,22	,84
	negmittlere -a	7	-8,37	-1,46	-4,94	2,50
	EVmax	7	,96	2,42	1,79	,44
	ES Ecke-ZP	7	,64	1,97	1,31	,49
	ENachbereitung	7	,00	,57	,31	,21
	Eposmittlere a	7	1,32	6,25	2,75	1,67
	Enegmittlere -a	7	-7,82	1,52	-2,21	2,79
	KSP_ZP	7	-,30	-,14	-,18	,05
	KSP_Eck	7	-,36	-,15	-,26	,08
	KSPZPProzent	7	-26,79	-12,50	-16,19	4,79
	KSPEckeProzent	7	-32,14	-13,39	-23,97	7,38
	4	Vmax	9	1,07	4,11	2,85
S ZP-Ecke		9	,48	3,30	1,99	,90
Vorbereitung		9	,14	,42	,27	,09
posmittlere a		9	1,55	5,23	3,30	1,20

Proband	N	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
negmittlere -a	9	-8,25	-,77	-5,30	2,88
ES2 Abd Ecke	9	2,50	16,62	7,72	4,76
EVmax	9	1,34	2,94	1,94	,62
EtVmax	9	3,38	12,32	6,45	3,14
ES Ecke-ZP	9	,55	2,43	1,37	,62
ENachbereitung	9	,04	,54	,27	,20
Eposmittlere a	9	1,00	6,81	3,83	1,91
Enegmittlere -a	9	-5,25	-,12	-1,90	1,80
KSP_ZP	9	-,22	-,07	-,14	,04
KSP_Eck	9	-,29	-,10	-,19	,06
KSPZPProzent	9	-22,22	-7,07	-15,03	4,47
KSPEckeProzent	9	-29,29	-10,10	-20,08	6,41
5					
Vmax	8	1,90	3,44	2,76	,54
S ZP-Ecke	8	,66	2,62	1,58	,58
Vorbereitung	8	,13	,35	,26	,08
posmittlere a	8	-,50	4,79	2,90	1,92
negmittlere -a	8	-9,35	-3,48	-5,87	1,95
EVmax	8	1,07	3,10	2,01	,71
EtVmax	8	3,32	9,76	5,84	2,20
ES Ecke-ZP	8	,62	3,95	1,80	1,13
ENachbereitung	8	,03	,54	,16	,17
Eposmittlere a	8	1,32	4,48	2,95	1,23
Enegmittlere -a	8	-2,47	,17	-1,22	,84
KSP_ZP	8	-,26	-,12	-,18	,05
KSP_Eck	8	-,44	-,22	-,29	,07
KSPZPProzent	8	-26,53	-12,24	-18,87	5,23
KSPEckeProzent	8	-44,90	-22,45	-29,71	8,02
6					
Vmax	10	1,99	2,99	2,66	,31
S ZP-Ecke	10	1,14	2,26	1,71	,47
Vorbereitung	10	,18	,45	,29	,08
posmittlere a	10	2,09	5,73	3,47	1,10
negmittlere -a	10	-8,06	-3,03	-5,69	1,60
E2Treffer	10	2,80	14,90	7,18	4,39
EVmax	10	,90	2,98	1,8100	,63
ES Ecke-ZP	10	,26	3,25	1,1780	,86
ENachbereitung	10	-,02	,78	,1910	,25
Eposmittlere a	10	,87	6,23	3,43	1,67
Enegmittlere -a	10	-6,40	-,73	-2,47	1,76
KSP_ZP	10	-,25	-,08	-,17	,04
KSP_Eck	10	-,41	-,11	-,28	,10
KSPZPProzent	10	-24,04	-7,69	-16,73	4,60
KSPEckeProzent	10	-39,42	-10,58	-27,59	9,74
7					
Vmax	8	1,66	3,10	2,47	,56
S ZP-Ecke	8	,56	4,41	1,72	1,18
Vorbereitung	8	,16	,51	,29	,11
posmittlere a	8	1,34	4,41	3,22	,97
negmittlere -a	8	-11,04	-2,44	-6,43	2,98
EVmax	8	,43	3,51	1,91	,92
ES Ecke-ZP	8	,42	2,90	1,64	,80

Proband	N	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
ENachbereitung	8	-,02	,41	,13	,14
Eposmittlere a	8	,20	4,74	2,95	1,43
Enegmittlere -a	8	-4,55	-,84	-1,89	1,28
KSP_ZP	8	-,29	-,12	-,24	,05
KSP_Eck	8	-,44	-,11	-,28	,09
KSPZPProzent	8	-25,00	-10,34	-21,01	4,72
KSPEckeProzent	8	-37,93	-9,48	-24,35	8,20
8					
Vmax	10	2,06	4,25	2,79	,64170
S ZP-Ecke	10	,64	2,73	2,15	,58004
Vorbereitung	10	,18	,50	,30	,12764
posmittlere a	10	1,57	5,67	3,40	1,22
negmittlere -a	10	-7,63	-2,61	-5,11	1,85
EVmax	10	,76	2,66	2,12	,64
ES Ecke-ZP	10	,50	2,06	1,49	,54
ENachbereitung	10	,00	,62	,30	,17
Eposmittlere a	10	1,93	9,32	4,60	1,99
Enegmittlere -a	10	-4,35	-,45	-2,04	1,22
KSP_ZP	10	-,25	-,10	-,21	,04
KSP_Eck	10	-,55	-,05	-,22	,13
KSPZPProzent	10	-23,15	-9,26	-19,53	4,01
KSPEckeProzent	10	-50,93	-4,63	-20,46	12,32
9					
Vmax	11	1,36	3,10	2,47	,53
S ZP-Ecke	11	,09	2,65	1,71	,96
Vorbereitung	11	,24	,42	,31	,061
posmittlere a	11	1,06	3,74	2,39	,86
negmittlere -a	11	-10,00	-1,31	-5,60	2,67
EVmax	11	1,35	3,05	2,20	,61
ES Ecke-ZP	11	,94	2,90	1,92	,67
ENachbereitung	11	,06	,64	,27	,16
Eposmittlere a	10	1,85	6,60	4,20	1,61
Enegmittlere -a	11	-3,69	-1,54	-2,17	,68
KSP_ZP	11	-,21	-,04	-,11	,05
KSP_Eck	11	-,43	-,12	-,25	,08
KSPZPProzent	11	-17,80	-3,39	-10,09	4,88
KSPEckeProzent	11	-36,44	-10,17	-21,26	6,96
10					
Vmax	10	,46	3,57	2,5110	,96310
S ZP-Ecke	10	,18	2,91	1,93	,97
Vorbereitung	10	,05	,42	,25	,11
posmittlere a	10	1,86	3,54	2,64	,58
negmittlere -a	10	-8,91	-,43	-5,57	2,77
EVmax	10	1,15	2,71	2,00	,47
ES Ecke-ZP	10	,57	2,04	1,35	,45
ENachbereitung	10	,05	,50	,28	,15
Eposmittlere a	10	2,72	7,04	4,76	1,52
Enegmittlere -a	10	-4,83	-,23	-2,10	1,29
KSP_ZP	10	-,24	-,12	-,18	,03
KSP_Eck	10	-,33	-,09	-,21	,07
KSPZPProzt	10	-20,34	-10,17	-15,84	3,34
KSPEckeProzent	10	-27,97	-7,63	-18,47	6,57

Proband		N	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
11	Vmax	10	1,20	3,22	2,46	,56
	S ZP-Ecke	10	,60	2,78	1,82	,69
	Vorbereitung	10	-,04	,60	,32	,20
	posmittlere a	10	,82	4,77	3,09	1,35
	negmittlere -a	10	-8,43	-1,31	-4,72	2,44
	EVmax	10	,90	2,35	1,64	,39
	ES Ecke-ZP	10	,14	2,51	1,12	,68
	ENachbereitung	10	,04	,82	,32	,27
	Eposmittlere a	10	1,41	9,69	3,50	2,44
	Enegmittlere -a	10	-3,76	1,50	-2,01	1,50
	KSP_ZP	10	-,22	-,10	-,17	,03
	KSP_Eck	10	-,45	-,09	-,26	,10
	KSPZPProzent	10	-19,30	-8,77	-15,52	3,28
	KSPEckeProzent	10	-39,47	-7,89	-23,24	9,21
12	Vmax	5	1,88	3,20	2,48	,56
	S ZP-Ecke	5	1,43	2,18	1,81	,37
	Vorbereitung	5	,20	,52	,32	,15
	posmittlere a	5	1,23	3,14	2,54	,78
	negmittlere -a	5	-7,33	-2,69	-5,32	2,01
	EVmax	5	1,73	2,27	1,99	,22
	ES Ecke-ZP	5	,82	1,53	1,27	,30
	ENachbereitung	5	,15	,76	,52	,22
	Eposmittlere a	5	3,31	5,87	4,45	1,04
	Enegmittlere -a	5	-3,26	-1,41	-2,21	,91
	KSP_ZP	5	-,25	-,15	-,18	,04
	KSP_Eck	5	-,35	-,12	-,18	,09
	KSPZPProzent	5	-24,75	-14,85	-18,41	4,23
	KSPEckeProzent	5	-34,65	-11,88	-18,61	9,68
13	Vmax	10	1,60	2,90	2,47	,38
	S ZP-Ecke	10	1,10	2,56	1,89	,50
	Vorbereitung	10	,24	,49	,35	,09
	posmittlere a	10	2,04	4,73	3,54	1,01
	negmittlere -a	10	-11,32	-2,06	-5,77	2,82
	EVmax	10	1,20	3,07	2,09	,68
	ES Ecke-ZP	10	,49	2,46	1,51	,72
	ENachbereitung	10	,05	,58	,26	,16
	Eposmittlere a	10	1,38	6,87	3,79	1,72
	Enegmittlere -a	10	-3,57	-,31	-1,96	,95
	KSP_ZP	10	-,31	-,08	-,17	,06
	KSP_Eck	10	-,34	-,16	-,24	,06
	KSPZPProzent	10	-31,63	-8,16	-17,44	7,01
	KSPEckeProzent	10	-34,69	-16,33	-24,79	6,92
14	Vmax	11	2,33	3,29	2,80	,30
	S ZP-Ecke	11	1,47	3,40	2,32	,69
	Vorbereitung	11	-,12	,36	,26	,13
	posmittlere a	11	1,75	7,12	3,54	1,68
	negmittlere -a	11	-6,28	-2,86	-4,32	1,21
	EVmax	11	,81	2,80	1,96	,72

Proband	N	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
ES Ecke-ZP	11	,25	2,23	1,31	,67
ENachbereitung	11	,05	,47	,25	,13
Eposmittlere a	11	1,13	10,20	3,45	2,56
Enegmittlere -a	9	-3,70	,00	-1,54	1,29
KSP_ZP	11	-,28	-,08	-,16	,05
KSP_Eck	11	-,42	-,16	-,27	,08
KSPZPProzent	11	-24,14	-6,90	-14,57	4,56
KSPEckeProzent	11	-36,21	-13,79	-23,66	7,09
15					
Vmax	5	1,65	2,98	2,46	,50
S ZP-Ecke	5	1,27	2,40	1,75	,47
Vorbereitung	5	,14	,46	,24	,12
posmittlere a	5	1,55	4,67	2,67	1,17
negmittlere -a	5	-11,11	-1,88	-7,56	3,68
EVmax	5	1,63	2,18	1,91	,265
ES Ecke-ZP	5	,48	1,64	1,19	,547
ENachbereitung	5	,09	,68	,35	,21
Eposmittlere a	5	2,50	4,58	3,59	,86
Enegmittlere -a	5	-2,56	-,40	-1,52	,90
KSP_ZP	5	-,29	-,17	-,23	,04
KSP_Eck	5	-,32	-,12	-,24	,08
KSPZPProzent	5	-25,89	-15,18	-21,25	4,43
KSPEckeProzent	5	-28,57	-10,71	-22,14	7,40
16					
Vmax	6	1,82	4,40	2,63	,96
Vorbereitung	6	-,10	,27	,16	,14
posmittlere a	6	,09	4,35	2,52	1,50
negmittlere -a	6	-8,00	-,53	-3,97	2,93
EVmax	6	1,84	2,75	2,19	,35
ES Ecke-ZP	6	,92	2,25	1,85	,52
ENachbereitung	6	,04	,44	,25	,20
Eposmittlere a	5	1,96	4,81	3,63	1,20
Enegmittlere -a	5	-3,21	-1,57	-2,17	,65
KSP_ZP	6	-,25	-,13	-,18	,04
KSP_Eck	6	-,39	-,22	-,28	,07
KSPZPProzt	6	-23,58	-12,26	-17,13	4,23
KSPEckeProzent	6	-36,79	-20,75	-27,20	7,34
17					
Vmax	14	,66	3,50	2,55	,78
S ZP-Ecke	14	,17	2,81	1,76	,94
Vorbereitung	14	,06	,64	,32	,14
posmittlere a	14	,24	5,50	2,99	1,29
negmittlere -a	14	-10,33	-1,11	-5,45	3,22
EVmax	14	,60	3,00	1,86	,77
ES Ecke-ZP	14	,32	2,20	1,40	,65
ENachbereitung	14	,05	,70	,33	,18
Eposmittlere a	14	,23	6,97	3,52	1,96
Enegmittlere -a	14	-3,72	-,11	-1,92	1,05
KSP_ZP	14	-,26	-,14	-,19	,03
KSP_Eck	14	-,40	-,12	-,24	,07
KSPZPProzent	14	-27,96	-15,05	-21,27	3,55
KSPEckeProzent	14	-43,01	-12,90	-26,42	8,41

Proband		N	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
18	Vmax	10	,94	3,33	2,44	,73
	S ZP-Ecke	10	,38	3,02	1,99	,83
	Vorbereitung	10	,20	,36	,26	,04
	posmittlere a	10	1,25	7,13	4,81	1,91
	negmittlere -a	10	-7,13	-1,88	-4,11	1,87
	EVmax	10	1,10	2,53	1,80	,47
	ES Ecke-ZP	10	,51	2,31	1,22	,54
	ENachbereitung	10	-,02	,40	,18	,15
	Eposmittlere a	10	1,89	8,35	3,81	1,83
	Enegmittlere -a	10	-2,63	-,90	-1,36	,53
	KSP_ZP	10	-,26	-,11	-,18	,04
	KSP_Eck	10	-,41	-,12	-,27	,09
	KSPZPProzent	10	-22,41	-9,48	-15,51	3,58
	KSPEckeProzent	10	-35,34	-10,34	-23,62	8,02
19	Vmax	11	2,00	2,89	2,47	,30
	S ZP-Ecke	11	1,24	2,26	1,75	,33
	Vorbereitung	11	,03	,37	,28	,09
	posmittlere a	11	,72	6,94	3,38	2,09
	negmittlere -a	11	-10,77	-2,35	-6,28	3,06
	EVmax	11	1,29	2,57	1,87	,41
	ES Ecke-ZP	11	,67	2,10	1,37	,45
	ENachbereitung	11	,08	,29	,16	,07
	Eposmittlere a	11	1,84	7,42	3,31	1,58
	Enegmittlere -a	11	-4,63	-,06	-1,39	1,20
	KSP_ZP	11	-,32	-,12	-,22	,06
	KSP_Eck	11	-,46	-,18	-,29	,09
	KSP	11	1,16	1,16	1,16	,00
	KSPZPProzent	11	-27,59	-10,34	-19,43	5,90
KSPEckeProzent	11	-39,66	-15,52	-25,78	8,20	
20	Vmax	6	1,20	2,98	2,36	,64
	S ZP-Ecke	6	,60	1,55	1,11	,32
	Vorbereitung	6	,21	,31	,26	,03
	posmittlere a	6	3,00	5,92	3,79	1,08
	negmittlere -a	6	-9,29	-1,67	-6,54	2,78
	EVmax	6	1,27	2,28	1,78	,39
	ES Ecke-ZP	6	,78	1,85	1,21	,35
	ENachbereitung	6	,08	,56	,30	,21
	Eposmittlere a	6	1,39	3,33	2,24	,87
	Enegmittlere -a	6	-3,20	-1,55	-2,31	,74
	KSP_ZP	6	-,24	-,15	-,20	,03
	KSP_Eck	6	-,28	-,14	-,23	,06
	KSPZPProzent	6	-22,43	-14,02	-19,47	3,31
	KSPEckeProzent	6	-26,17	-13,08	-21,80	5,84

Vmax:	maximale Geschwindigkeit beim Laufweg zum Umkehrpunkt [m/s]
S ZP-Ecke:	Länge des Laufweges vom ZP zum Umkehrpunkt [m]
Vorbereitung:	Dauer vom Balltreffpunkt des Gegners bis zur tiefsten Stelle des KSP in Laufrichtung [s]
posmittlere a:	mittlere positive Beschleunigung beim Laufweg zum Ball [m/s <sup>2</sup> ]
negmittlere -a:	mittlere negative Beschleunigung beim Laufweg zum Ball [m/s <sup>2</sup> ]
Evmx:	maximale Geschwindigkeit beim Laufweg zum ZP [m/s]
ES Ecke-ZP:	Länge des Laufweges vom Umkehrpunkt zum ZP [m]
ENachbereitung:	Dauer vom Balltreffpunkt des Spielers bis zur tiefsten Stelle des KSP in Laufrichtung [s]
Eposmittlere a:	mittlere positive Beschleunigung beim Laufweg zum ZP [m/s <sup>2</sup> ]
Enegmittlere -a:	mittlere negative Beschleunigung beim Laufweg zum ZP [m/s <sup>2</sup> ]
KSP_ZP:	Senkung des Körperschwerpunktes im ZP [m]
KSP_Eck:	Senkung des Körperschwerpunktes im Umkehrpunkt [m]
KSPZPProzent:	Prozentuale Senkung des KSP im ZP [m]
KSP_EckeProzent:	Prozentuale Senkung des KSP im Umkehrpunkt [m]

Tab. 20: Laufwege aus der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Ball und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung in unterschiedliche Lauftechniken unterteilt; U-Test von Mann-Whitney

Technik im Umkehrpunkt	Laufweg vom ZP zum Umkehrpunkt [m]	Laufweg vom Umkehrpunkt zum ZP [m]
Ausfallschritt am Netz n = 79	1,68 ± 0,78	1,38 ± 0,61
Umsprung/ Chinasprung h n= 61	1,93 ± 0,77	1,54 ± 0,73
Ausfallschritt h n = 43	1,67 ± 0,74	1,10 ± 0,57
<b>Differenzen (zum Umkehrpunkt)</b>		<b>Signifikanzniveau</b>
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h	p ≤ 0,05
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h	-
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h	-
<b>Differenzen (zum ZP)</b>		<b>Signifikanzniveau</b>
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h	-
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h	p ≤ 0,01
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h	p ≤ 0,05

Tab. 21: Höhe der maximalen Geschwindigkeiten bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP), unterteilt in unterschiedliche Lauftechniken in den Umkehrpunkten; Statistik: U-Test von Mann-Whitney

Technik im Umkehrpunkt	max. Geschwindigkeit ZP - Umkehrpunkt [m/s]	max. Geschwindigkeit Umkehrpunkt - ZP [m/s]
Ausfallschritt am Netz n = 80	2,71 ± 0,63	1,69 ± 0,54
Umsprung/ Chinasprung h n = 60	2,45 ± 0,58	2,17 ± 0,58
Ausfallschritt nach h n = 43	2,45 ± 0,77	1,76 ± 0,46
Differenzen (zum Umkehrpunkt)		Signifikanzniveau
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h	$p \leq 0,05$
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h	-
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h	-
Differenzen (zum ZP)		Signifikanzniveau
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h	$p \leq 0,01$
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h	$p \leq 0,01$
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h	-

Tab. 22: Mittlere Beschleunigung bei Laufwegen von der Ballerwartungshaltung (ZP) zum Umkehrpunkt und vom Umkehrpunkt in die Ballerwartungshaltung (ZP), unterteilt in die einzelnen Lauftechniken; U-Test von Mann–Whitney

Technik im Umkehrpunkt	Laufwege	mittl. pos. Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	mittl. neg. Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
Ausfallschritt am Netz (n = 60)	ZP - Umkehrpunkt	3,72 ± 1,64	-6,06 ± 2,28
	Umkehrpunkt – ZP	2,61 ± 1,23	-1,79 ± 1,28
Umsprung/ Chinasprung h (n = 80)	ZP – Umkehrpunkt	3,01 ± 1,28	-4,94 ± 2,5
	Umkehrpunkt – ZP	4,38 ± 1,75	-1,94 ± 1,28
Ausfallschritt h (n = 43)	ZP – Umkehrpunkt	3,11 ± 1,57	-5,51 ± 2,83
	Umkehrpunkt – ZP	3,45 ± 1,65	-1,94 ± 1,30
<u>mittlere positive Beschleunigung</u>			
Differenzen (zum Umkehrpunkt)			Signifikanzniveau
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h		p ≤ 0,05
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h		-
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h		p ≤ 0,05
Differenzen (zum ZP)			Signifikanzniveau
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h		p ≤ 0,01
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h		p ≤ 0,01
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h		p ≤ 0,05
<u>mittlere negative Beschleunigung</u>			
Differenzen (zum Umkehrpunkt)			Signifikanzniveau
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h		p ≤ 0,05
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h		-
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h		-

Tab. 23: Erster Abdruck und Dauer der Vor- und Nachbereitung von Schlägen, unterteilt in die einzelnen Techniken in den Umkehrpunkten; U-Test von Mann–Whitney

Technik im Umkehrpunkt		Reaktion/ Abdruck Zeit [s]	Vorbereitung/ Nachbereitung Zeit [s]
Ausfallschritt am Netz (n = 60)	ZP	0,23 ± 0,10	0,24 ± 0,11
	Umkehrpunkt	0,11 ± 0,10	0,12 ± 0,10
Umsprung/ Chinasprung h (n = 80)	ZP	0,26 ± 0,08	0,30 ± 0,09
	Umkehrpunkt	0,28 ± 0,13	0,34 ± 0,15
Ausfallschritt h (n = 43)	ZP	0,25 ± 0,08	0,35 ± 0,13
	Umkehrpunkt	0,12 ± 0,10	0,29 ± 0,23
<b>Vorbereitung</b>			
Differenzen (zum Umkehrpunkt)		Signifikanzniveau	
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h	p ≤ 0,01	
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h	-	
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt am Netz	p ≤ 0,01	
<b>Nachbereitung</b>			
Differenzen (zum ZP)		Signifikanzniveau	
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h	p ≤ 0,01	
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h	-	
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h	p ≤ 0,01	
<b>Reaktion</b>			
Differenzen (zum ZP)		Signifikanzniveau	
Ausfallschritt am Netz	Umsprung/ Chinasprung h	p ≤ 0,01	
Ausfallschritt h	Umsprung/ Chinasprung h	p ≤ 0,01	
Ausfallschritt am Netz	Ausfallschritt h	-	

## 10.5.6 Sprunghöhentest

### 10.5.6.1 Methode

Zur Bestimmung der Sprunghöhe der Probanden wurde ein an der Universität München, im Lehrstuhl für Biomechanik, standardisierter Sprungkrafttest durchgeführt.

Nach einer Aufwärmphase führten die Probanden auf einer Kraftmessplatte drei verschiedene Sprungformen durch. Anhand der gemessenen Kraft-Zeit-Kurven und dem

Körpergewicht wurde die Sprunghöhe berechnet. Die Probanden hatten pro Sprung drei gültige Versuche, der jeweils beste wurde gewertet.

Counter-movement-jump:

Der Proband hatte die Aufgabe mit Ausholbewegung möglichst hoch zu springen, wobei dem Probanden die Übungsausführung (z.B. Stärke der Ausholbewegung, Armeinsatz) überlassen blieb. Entscheidend war die Sprunghöhe. Der Counter-movement-jump wurde mit beiden Beinen und getrennt mit dem rechten und linken Bein gemessen.

Squat-jump:

Dieser Sprung beginnt aus der Kauerstellung, wobei die Arme, um die Impulsübertragung eines Armeinsatzes zu verhindern, hinter dem Rücken gehalten werden. Bei diesem Sprung ist die Arbeitsweise der Muskulatur rein konzentrisch. Sprungverläufe mit exzentrischen Phasen wurden nicht gewertet. Die Sprunghöhe wird sowohl von der Maximalkraft als auch von der Fähigkeit zu einer schnellen Kraftentwicklung beeinflusst.

Drop-jump:

Die Fallsprünge wurden aus zwei Fallhöhen (27 cm und 47 cm) durchgeführt. Bei dieser Testübung soll mit möglichst kurzer Bodenkontaktzeit eine möglichst hohe Sprunghöhe erreicht werden. Hier gewinnt man Aussagen über das reaktive Kraftvermögen der Streckmuskulatur im oberen Sprunggelenk. Ein Sprung wird dann als reaktiv bezeichnet, wenn die Kontaktzeit unter 200 Millisekunden liegt. Sprünge über 200 ms wurden nicht gewertet.

#### **10.5.6.2 Ergebnisse**

Aufgeführt sind die Sprunghöhen der einzelnen Sprünge mit Mittelwerten und Standardabweichungen. Beim Counter-movement-jump mit beiden Beinen erreichten die Probanden eine durchschnittliche Höhe von 44 cm ( $\pm 6$  cm). Die höchste gemessene Sprunghöhe betrug 57 cm, die niedrigste 33 cm. Sowohl mit dem rechten als auch mit dem linken Bein wurde eine durchschnittliche Sprunghöhe von 24 cm erreicht. Beim Squat-jump sprangen die Probanden mit 36 cm ( $\pm 6$  cm) um durchschnittlich 8 cm weniger hoch als beim Counter-movement-jump. Beim Drop-jump Test wurden die niedrigsten

Sprunghöhen gemessen. Bei einer Fallhöhe von 27 cm war die durchschnittliche Sprunghöhe mit 26 cm ( $\pm 4$  cm) höher als bei einer Fallhöhe von 47 cm (24 cm ( $\pm 6$  cm)).

Tab. 24: Sprunghöhen der einzelnen Sprünge

Counter-movement-jump	beidbeinig [cm]	rechts [cm]	links [cm]
	44 $\pm$ 6	24 $\pm$ 5	24 $\pm$ 6
Squat-jump	beidbeinig [cm]		
	36 $\pm$ 6		
Drop-jump	Fallhöhe 27 [cm]		
	26 $\pm$ 4		
	Fallhöhe 47 [cm]		
	24 $\pm$ 6		