

Aus dem  
Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik  
der  
Deutschen Sporthochschule Köln  
Leiter: Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Joachim Mester

# **Quantitative Verfahren zur Leistungsdiagnostik im Leistungsfußball**

**Empirische Studien und Evaluationen verschiedener  
leistungsrelevanter Parameter**

von der  
Deutschen Sporthochschule Köln  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Sportwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von  
Holger Broich  
Köln 2009

Vorsitzender des

Promotionsausschusses: Univ.-Prof. Dr. Ilse Hartmann-Tews

Erster Referent: Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Joachim Mester

Zweiter Referent: Univ.-Prof. Dr. Erich Müller

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Oktober 2009

Eidesstattliche Versicherung:

Hiermit versichere ich eidesstattlich, dass ich diese Arbeit selbstständig und unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt habe; sie wurde noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegt. Wörtlich übernommene Textstellen sind als Zitate kenntlich gemacht worden.

Köln,

.....

Holger Broich

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>iv</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>vii</b>
<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Laufprofile im Fußball .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Methodik .....</b>	<b>3</b>
1.2.1. Datenherkunft .....	3
1.2.2. Messsystem .....	4
1.2.3. Messtechnik .....	4
1.2.4. Untersuchungsgut .....	6
1.2.5. Hypothesen .....	7
<b>1.3. Untersuchungsablauf .....</b>	<b>8</b>
1.3.1. Untersuchungsdaten .....	8
1.3.2. Höchster Intensitätsbereich .....	10
1.3.3. Bundesliga vs. Premier-League .....	11
1.3.4. Extrapolation .....	11
<b>1.4. Statistische Methoden .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5. Ergebnisse .....</b>	<b>16</b>
1.5.1. Laufdistanzen bei national gewonnenen und verlorenen Spielen .....	17
1.5.2. Laufdistanzen auf nationaler und internationaler Ebene .....	19
1.5.3. Laufdistanzen im Bereich höchster Intensitäten .....	23
1.5.4. Bundesligamannschaft vs. Premier League-Team .....	25
<b>1.6. Diskussion .....</b>	<b>27</b>
<b>1.7. Fazit und Ausblick .....</b>	<b>30</b>
<b>2. Evaluierung von Laufdistanzen in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen im Profifußball .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1. Methodik .....</b>	<b>31</b>
2.1.1. Datenherkunft .....	31
2.1.2. Messsystem .....	31
2.1.3. Messtechnik .....	31
2.1.4. Untersuchungsgut .....	31
<b>2.2. Statistische Verfahren .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3. Ergebnisse .....</b>	<b>32</b>
2.3.1. Zusammenhänge zwischen den einzelnen mittleren Laufdistanzen .....	33
2.3.2. Vergleich der mittleren Laufdistanz mit dem Analysesystem Amisco Pro .....	35
<b>2.4. Diskussion der Ergebnisdarstellung .....</b>	<b>37</b>
<b>2.5. Fazit und Ausblick .....</b>	<b>38</b>
<b>3. Kraftdiagnostische Ergebnisse .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1. Krafttraining der unteren Extremitäten bei Bundesligafußballspielern ..</b>	<b>40</b>
<b>3.2. Methodik .....</b>	<b>40</b>
3.2.1. Untersuchungsgut .....	40
3.2.2. Datenherkunft .....	41

<b>3.3. Ergebnisse</b>	<b>42</b>
3.3.1. Korrelation zwischen isometrischer und dynamischer Maximalkraft.....	42
3.3.2. Korrelation zwischen dynamischer Maximalkraft und der Sprungkraft.....	44
<b>3.4. Diskussion der Ergebnisdarstellung</b>	<b>46</b>
<b>3.5. Fazit und Ausblick</b>	<b>51</b>
<b>4. Ausdauerdiagnostische Ergebnisse.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1. Längs- und Querschnittsanalysen anhand von Feldstufentestergebnissen</b>	<b>53</b>
<b>4.2. Methodik</b>	<b>58</b>
4.2.1. Datenmaterial .....	58
4.2.2. Ausdauer- und Bestimmung der anaeroben Schwelle .....	59
<b>4.3. Statistische Verfahren</b>	<b>59</b>
<b>4.4. Ergebnisse</b>	<b>60</b>
4.4.1. Vergleich zwischen den Mannschaften .....	60
4.4.2. Veränderungen im Mehrjahresverlauf .....	60
4.4.3. Veränderungen der V4 in Saisonverlauf .....	64
4.4.3.1. U17 .....	64
4.4.3.2. U19 .....	64
4.4.3.3. Amateurmansschaft .....	66
4.4.3.4. Lizenzmannschaft .....	67
<b>4.5. Diskussion</b>	<b>68</b>
4.5.1. Vergleich zwischen den Mannschaften .....	68
4.5.2. Veränderungen der V4 im Saisonverlauf .....	70
4.5.3. Veränderungen im Mehrjahresverlauf .....	73
<b>4.6. Fazit und Ausblick</b>	<b>74</b>
<b>4.7. Feldstufentest vs. Spiroergometrie</b>	<b>75</b>
<b>4.8. Methodik</b>	<b>77</b>
<b>4.9. Testprotokoll</b>	<b>78</b>
<b>4.10. Exemplarische Einzelfallergebnisse</b>	<b>80</b>
<b>4.11. Diskussion und Schlussfolgerung</b>	<b>82</b>
<b>4.12. Zusammenfassung</b>	<b>86</b>
<b>5. Individual- und Mannschaftsverhalten .....</b>	<b>87</b>
<b>5.1. Individuelle und gemeinsame Verhaltensweisen</b>	<b>87</b>
<b>5.2. Methodik</b>	<b>87</b>
5.2.1. Untersuchungsgut .....	87
5.2.2. Datenherkunft .....	88
<b>5.3. Untersuchungsgut</b>	<b>92</b>
<b>5.4. Das Bewegungsausmaß der Spieler und ihrer Gruppierung</b>	<b>101</b>
<b>5.5. Diskussion der Ergebnisdarstellung</b>	<b>106</b>
<b>5.6. Energie, Spektral- und Korrelationsanalysen</b>	<b>107</b>
<b>5.7. Methodik</b>	<b>107</b>
5.7.1. Spezifische kinetische Energie.....	107
5.7.2. Spektralanalyse .....	109
<b>5.8. Diskussion</b>	<b>114</b>
<b>5.9. Fazit</b>	<b>115</b>
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>116</b>

---

<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>121</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>138</b>
<b>Lebenslauf.....</b>	<b>139</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b> Unterschiedliche Bildquellen im Spielanalysesystem Amisco Pro.....	5
<b>Abbildung 2</b> Schematische Darstellung der Analysetechnik von Amisco Pro.....	5
<b>Abbildung 3</b> Formel zur Berechnung der statistischen Größen.....	14
<b>Abbildung 4</b> Darstellung der Distanzen im Intensitätsbereich >24 km/h, .....	24
<b>Abbildung 5</b> Vergleich der Mittelwerte der Intensitätsbereiche >11-14 km/h - >24 km/h. der deutschen und englischen Mannschaft [m], Angabe der MW $\pm$ s [m].....	26
<b>Abbildung 6 A</b> Beziehung der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 1 (0-11 km/h) und Intervall 6 (>24 km/h). Die Abbildung zeigt eine negative Korrelation mit $r = -0,53$ ; $p < 0,05$ .....	34
<b>Abbildung 6 B</b> Zusammenhang der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 2 (11,1-14 km/h) und Intervall 3 (14,1-17 km/h). Die Abbildung stellt eine positive Korrelation mit $r = 0,93$ und $p < 0,01$ dar.....	34
<b>Abbildung 6 C</b> Relation der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 3 (14,1-17 km/h) und Intervall 4 (17,1-21 km/h). Der Korrelationskoeffizient ist mit $r = 0,55$ positiv und $p < 0,05$ signifikant. ....	34
<b>Abbildung 6 D</b> Zusammenhang der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 4 (17,1-21 km/h) und Intervall 5 (21,1-24 km/h).Die Abbildung zeigt eine positive Korrelation mit $r = 0,72$ und $p < 0,01$ . .....	34
<b>Abbildung 6 E</b> Beziehung der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 4 (17,1-21 km/h) und Intervall 6 (>24 km/h). Die Abbildung stellt eine positive Korrelation mit $r = 0,49$ und $p < 0,05$ dar. ....	34
<b>Abbildung 6 F</b> Zusammenhang der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 5 (11,1-14 km/h) und Intervall 6 (14,1-17 km/h). Der Korrelationskoeffizient ist mit $r = 0,86$ positiv und $p < 0,01$ signifikant.....	34
<b>Abbildung 7</b> Mittlere Sprunghöhe Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung im Squat Jump, Counter Movement Jump und Drop Jump.....	45
<b>Abbildung 8</b> Vergleich zwischen den Mannschaften zum gleichen Zeitpunkt im Saisonverlauf über die letzten Jahre. ....	60
<b>Abbildung 9</b> Mehrjahresverlauf der V4 zu Beginn der VP1 bei allen Mannschaften.....	61
<b>Abbildung 10</b> Mehrjahresverlauf der V4 zum Zeitpunkt der VP2 bei der U17, U19 und Lizenzmannschaft.....	62
<b>Abbildung 11</b> Mehrjahresverlauf der V4 am Ende der Hinrunde bei allen Mannschaften .....	63
<b>Abbildung 12</b> V4 in der VP1 und der VP2 der U17 in den Saisons 03/04, 04/05 und 05/06. ....	64
<b>Abbildung 13</b> U19, V4 zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Saisonverlauf der Saisons 03/04 bis 06/07.....	65
<b>Abbildung 14</b> Amateure, V4 zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Saisonverlauf den Saisons 03/04 bis 06/07. ....	66
<b>Abbildung 15</b> Lizenz, V4 zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Saisonverlauf den Saisons 04/05 bis 07/08.....	67
<b>Abbildung 16</b> Erhobene Parameter und gemittelte Werte für jede Belastungsstufe eines Laufband-Stufentests sowie die berechneten Schwellenwerte (V2 und V4) und die gemessenen Maximalwerte.....	76
<b>Abbildung 17</b> LLK der 3 Spieler im Stufentest.....	81
<b>Abbildung 18</b> Amisco Koordinatensystem (x, y) und das physikalische Koordinatensystem (X,Y) ....	89
<b>Abbildung 19a</b> Längsgerichtete Komponenten der zurückgelegten Wege aller Spieler der beiden Mannschaften und des Balls.....	93
<b>Abbildung 19b</b> Seitliche Koordinaten der zurückgelegten Wege aller Spieler der beiden Mannschaften und des Balls.....	93

<b>Abbildung 19c</b> Längsgerichtete Komponenten von Geschwindigkeiten aller Spieler der beiden Mannschaften und des Balls.....	94
<b>Abbildung 19d</b> Seitliche Komponenten von Geschwindigkeiten aller Spieler der beiden Mannschaften und des Balls .....	94
<b>Abbildung 20</b> Der lokale Ausschnitt von Abb. 24 (a) der letzten 5 Minuten .....	95
<b>Abbildung 21a</b> Längs gerichtete Bewegungen der geometrischen Zentren beider Mannschaften....	98
<b>Abbildung 21b</b> Seitliche Bewegungen der geometrischen Zentren beider Mannschaften .....	99
<b>Abbildung 22a</b> Längs gerichtete Bewegungen der geometrischen Zentren beider Mannschaften im Vergleich zu den Bewegungen des Balls in jeder Richtung .....	99
<b>Abbildung 22b</b> Seitliche Bewegungen der geometrischen Zentren beider Mannschaften im Vergleich zu den Bewegungen des Balls in jeder Richtung .....	100
<b>Abbildung 23</b> Die Radien beider Mannschaften: $R_A(t)$ und $R_B(t)$ . Das Gegenphasenverhältnis zeigt die Wechselwirkung zwischen Angriff und Verteidigung .....	100
<b>Abbildung 24a</b> Bewegungsausmaß aller Spieler von Mannschaft A für die gesamte erste Halbzeit	103
<b>Abbildung 24b</b> Bewegungsausmaß aller Spieler von Mannschaft B für die gesamte erste Halbzeit	103
<b>Abbildung 25a</b> Bewegungsausmaß aller Spieler von Mannschaft A für die Angriffsphase (Phase 1) .....	104
<b>Abbildung 25b</b> Bewegungsausmaß aller Spieler von Mannschaft A für die Verteidigungsphase (Phase 2) .....	104
<b>Abbildung 26</b> Das Bewegungsausmaß von Verteidigern von Mannschaft A während der Angriffs- und Verteidigungsphasen. Die grüne Farbe kennzeichnet die Verteidigungsphase, die blaue Farbe die Angriffsphase. Die verschiedenen Linientypen unterscheiden einzelne Spieler .....	105
<b>Abbildung 27</b> Das Bewegungsausmaß der geometrischen Zentren beider Mannschaften für die gesamte erste Halbzeit .....	106
<b>Abbildung 28</b> <i>Spezifische kinetische Energie (sEk)</i> .....	108
<b>Abbildung 29</b> <i>Spezifische kinetische Energie (sEk)</i> .....	109
<b>Abbildung 30a</b> Leistungsdichte der Längskomponente der Geschwindigkeit für jeden Stürmer von Mannschaft A. ....	110
<b>Abbildung 30b</b> Leistungsdichte der Längskomponente der Geschwindigkeit für jeden Stürmer von Mannschaft B. ....	110
<b>Abbildung 31</b> Leistungsdichte von $X(t)$ und $Y(t)$ des Balls. ....	111
<b>Abbildung 32</b> Leistungsdichte von $X(t)$ und $Y(t)$ für die geometrischen Zentren $AC$ und $BC$ der beiden Teams. ....	112
<b>Abbildung 33</b> Zur Illustration wird hier eine Angriffsaktion von Mannschaft A gezeigt.....	114

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b> Anzahl der Spieler je Spielposition .....	7
<b>Tabelle 2</b> Merkmale aller Spieler .....	7
<b>Tabelle 3</b> Exemplarische Auswertung eines Spielers.....	8
<b>Tabelle 4</b> Beispiel einer Gruppenmittelwertberechnung.....	10
<b>Tabelle 5</b> Intensitätsbereich >24 km/h.....	11
<b>Tabelle 6</b> Vergleich der MW aller Spieler, MW=Mannschaftsmittelwert.....	12
<b>Tabelle 7</b> : Extrapolation der Werte von der „Distanz in einer Spielminute“ auf die „Distanz in 90 Minuten Spielzeit“.....	15
<b>Tabelle 8</b> P-Werte nach SACHS (1996, S.188).....	16
<b>Tabelle 9</b> Durchschnittliche Distanz der Spielergruppen je Intensitätsbereich [m], Angabe der MW $\pm$ s [m].....	16
<b>Tabelle 10</b> Ergebnis der durchgeführten dreifaktoriellen Varianzanalyse .....	18
<b>Tabelle 11</b> Mittelwerte gewonnener und verlorener Spiele der verschiedenen Gruppen .....	19
in den Intensitätsbereichen [m], Angabe der MW $\pm$ s [m] .....	19
<b>Tabelle 12</b> Angabe der Laufdistanzen der Gesamtmannschaft (GM) .....	19
<b>Tabelle 13</b> Angabe der zurückgelegten Distanzen auf nationaler und internationaler Ebene .....	20
<b>Tabelle 14</b> Auswertung der durchgeführten vierfaktoriellen Varianzanalyse .....	21
<b>Tabelle 15</b> Mittelwerte der jeweiligen Kategorie beider Ebenen.....	23
<b>Tabelle 16</b> Distanzen des Intensitätsbereiches >24 km/h [m]; .....	25
<b>Tabelle 17</b> Vergleich einer deutschen mit einer englischen Profimannschaft.....	26
<b>Tabelle 18</b> Verschiedene Darstellungsformen der Ergebnisse der vorliegenden Studie .....	27
<b>Tabelle 19</b> Korrelationskoeffizienten r zwischen den mittleren Laufdistanzen pro Spielminute in sechs Geschwindigkeitsintervallen. ....	33
<b>Tabelle 20</b> Mittlere Laufdistanzen $\pm$ Standardabweichung in verschiedenen Geschwindigkeitsintervallen in Fußballspielen in der Primera División und 1. Fußball-Bundesliga. ....	36
<b>Tabelle 21</b> Korrelationskoeffizienten r zwischen der isometrischen Maximalkraft und den dynamischen Kraftparametern an der Leg Extension Machine und Leg Curl Machine.....	42
<b>Tabelle 22</b> Korrelationskoeffizienten zwischen der relativen isometrischen Maximalkraft und der relativen dynamischen Maximalkraft sowie der relativen maximalen Leistung an der Leg Extension Machine und Leg Curl Machine. ....	43
<b>Tabelle 23</b> Korrelationskoeffizienten r zwischen den dynamischen Kraftparametern und den Sprungkraftparametern.....	44
<b>Tabelle 24</b> Anthropometrische Daten der Spieler sowie leistungsdiagnostische Daten an der V4 und Maximalwerte im Stufentest.....	80
<b>Tabelle 25</b> Die Zeit und der Anteil der Gesamtzeit jeder Phase für die erste Halbzeit .....	102



## Abkürzungsverzeichnis

AÄ	Atemäquivalent
Abb.	Abbildung
ANS	Anaerobe Schwelle
AV	Außenverteidiger
BF	Atemfrequenz
CMJ	Counter Movement Jump
DEU	Deutschland
DJ	Drop Jump
ENG	England
F	Wahrscheinlichkeitsverteilung
Fa.	Firma
FG	Freiheitsgrade
FST	Feldstufentest
gew.	gewonnen
GI	Geschwindigkeitsintervall
GM	Gesamtmannschaft
HF	Herzfrequenz
HIT	hochintensives Training
Hz	Hertz
inter.	international
int. gew.	international gewonnen
int. ver.	international verloren
IV	Innenverteidiger
LC	Leg Curl Machine
LE	Leg Extensione Machine
LLK	Laktatleistungskurve
LST	Laufband-Stufentest
mL	mittlere Laufdistanzen
MQ	mittlere Quadratsumme
MV	Mittelfeldspieler
nat.	national
nat. gew.	national gewonnen
nat. ver.	national verloren

---

P	Wahrscheinlichkeitswert
RFD	Rate of force development
RQ	Respiratorischer Quotient
SJ	Squat Jump
Spieler-ID	Spieleridentifikationsnummer
SQ	Quadratsumme
ST	Stürmer
Tab.	Tabelle
TW	Torhüter
UEFA	Union of European Football Associations
ver.	verloren
VP1	Hinrunde
VP2	Rückrunde
ZL	Zusatzlast

## Einleitung

Der Profi-Fußball ist bekanntlich äußerst hohen wirtschaftlichen Zwängen ausgesetzt und muss daran interessiert sein, sich ständig aktuellen Erkenntnissen anzupassen. Die Welt des Fußballs wandelt sich unablässig. Neue empirische Studien, neue Ergebnisse, viele weitere und wichtige diagnostische Parameter, technologische Entwicklungen sowie Datenvielfalt sind nur einige Beispiele im Leistungsfußball.

Der Ausbau wirkungsvoller Typisierungen von Spielern und Controllingverfahren ist eine wichtige Herausforderung, um im Fußball schnell notwendige Informationen als Basis wichtiger Entscheidungen für den Bereich der Trainingssteuerung und des Wettkampfes bereitzustellen.

Dafür müssen in bestimmten Arbeitsgebieten Schwerpunkte definiert werden:

- Welche Parameter sind entscheidend für den Erfolg?
- Wie kann die Leistung eines einzelnen Spielers und die der Mannschaft gesteigert werden?
- Welche Auffälligkeiten gibt es beim Zusammenspiel der Mannschaft?
- Wie kann aufgrund interessanter und auffälliger Zusammenhänge das Spielverhalten verbessert werden?

Die Basis aller Diagnostiken und Aktivitäten ist das Wissen über Spieler und deren Verhalten.

Es ist hinlänglich bekannt, dass Fußball eine sehr komplexe Sportart ist. Viele andere Sportarten sind wissenschaftlich besser kalkulierbar. Diese Arbeit soll dazu beitragen, leistungsrelevante Komponenten zu entwickeln bzw. zu prüfen, die das Verständnis der komplexen Spielstruktur verbessern. Im Fußball ist man, im Vergleich zu anderen Sportarten, noch weit davon entfernt, modellartig solche Komponenten integrativ zusammen zu führen. Solange das noch nicht geleistet werden kann, können nur Teilbereiche (z.B. Leistungsdiagnostik, Spielanalyse etc.) auf der Basis von Plausibilitäten und empirischen Daten untersucht werden. Das Ziel eines solchen Vorgehens ist es somit, ein neues, tiefes und detailliertes Verständnis über die Spieler und deren Verhalten aufzubauen. In einem weiteren Schritt sollen die Trainingsmaßnahmen auf die Bedürfnisse jedes einzelnen Spielers abgestimmt werden, um sowohl das Individualverhalten als auch das Mannschaftsverhalten im Fußball zu optimieren. Denn obwohl die Individualisierung des Trainings unbestritten

als wichtiger Faktor der zukünftigen Leistungssteigerung im Fußball gilt, gibt es Schwierigkeiten bei der Umsetzung in trainingspraktisches Handeln.

Es wird versucht, dem unzureichenden bzw. fehlenden Anwendungsaspekt gegenzusteuern und ein bewährtes und effizientes Anwendungswissen zu produzieren, „(...) das der Komplexität der Sportspiele und de[m] prozessualen Zusammenhang zwischen Trainingsinterventionsmaßnahmen und Leistungsentwicklung gerecht wird (...)“<sup>22</sup>.

Zum Abschluss dieser Arbeit sollen die ersten Ansätze einer zukünftigen komplexen Datenauswertung, hinsichtlich des kollektiven Verhaltens einer Mannschaft, aufgezeigt werden.

Der Fußballsport, gemessen an seiner nationalen und internationalen Popularität, zeigt in vielen Themengebieten noch keinen wissenschaftlich abgesicherten Kenntnisstand. In diesem Zusammenhang werden sowohl deterministische wie auch stochastische Verfahren eingesetzt.

# 1. Laufprofile im Fußball

## 1.1. Einleitung

In den letzten Jahren haben Untersuchungen über die erbrachte physiologische Leistung während eines Fußballspiels zugenommen. Dabei standen in Spielanalysen vornehmlich die allgemein und positionsspezifisch zurückgelegten Laufstrecken während des Spiels im Fokus<sup>9;36</sup>. In einigen Forschungsarbeiten wurde darüber hinaus eine Kategorisierung und Analyse hinsichtlich der Fortbewegungsgeschwindigkeiten der Spieler vorgenommen<sup>5;41;75</sup>. Moderne Spielanalysesysteme, wie „Amisco Pro“, liefern hierzu präzise und objektive Informationen über die Anzahl und den Ausprägungsgrad der Aktionen des Fußballspielers mit und ohne Ball. In dieser Untersuchung soll geklärt werden, ob bei Profifußballspielern im Wettkampf ein Zusammenhang zwischen den mittleren Laufdistanzen verschiedener Geschwindigkeitsintervalle besteht und ob auf diese Weise zu einer individuellen Profilbildung der Leistungsfähigkeit einzelner Spieler und der Mannschaft beigetragen werden kann.

## 1.2. Methodik

### 1.2.1. Datenherkunft

Die Daten für den Untersuchungsgang ergeben sich aus den mit dem „Amisco Pro“ System gemessenen Spielen der Bundesligaspielzeiten 2004 - 2005, 2005 - 2006 sowie 2006 - März 2007 (54 Spiele) für eine Profifußballmannschaft. Die zweiundfünfzig ausgewerteten Datensätze beinhalten vierundvierzig nationale Spiele der „1. Bundesliga“ sowie acht internationale Spiele, fünf aus der „UEFA Champions-League“ und drei aus dem „UEFA-Pokal“. Insgesamt sind achtundvierzig Spiele in der heimischen Spielstätte gemessen worden. Lediglich Daten von vier Spielen - der insgesamt zweiundfünfzig Spiele - sind in Auswärtsspielen erhoben worden. Zwei davon in der „1. Bundesliga“ und zwei in der „UEFA Champions-League“.

### 1.2.2. Messsystem

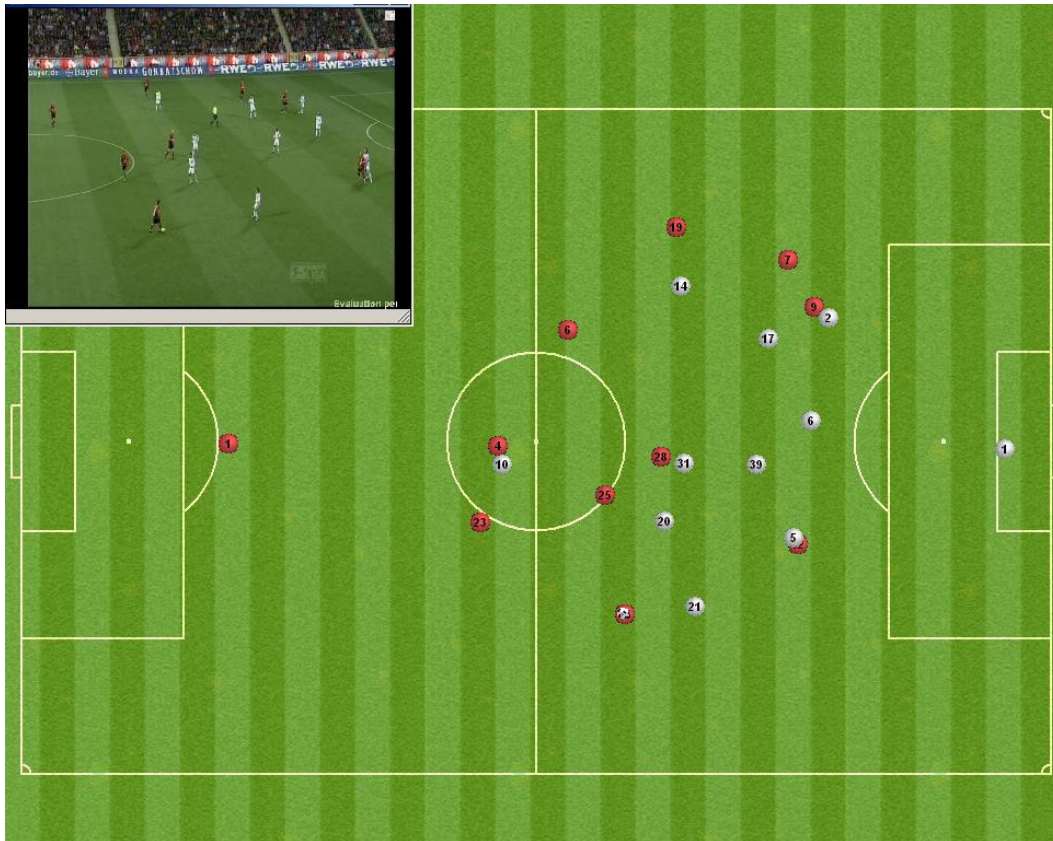
Die Spielanalysen wurden mittels des Analysesystems „Amisco Pro“ durchgeführt. Das „AMISCOSYSTEM“ ist ein computergestütztes stationäres Tracking-System, das eine quantitative Spielbeobachtung im Mannschaftssport ermöglicht. Das Spielanalysesystem sammelt hierzu mit einer Abtastfrequenz von 25 Hz die 2D-kinematischen Daten aller Spieler während eines Wettkampfes über fest installierte Kameras (pro Spiel ca. 4,5 Millionen Einzelpositionen). Diese Parameter beschreiben in sehr umfangreicher Weise die Aktionen jedes einzelnen Spielers, wie z. B. Ballkontakte, Dribblings, Zweikämpfe, Laufwege und –geschwindigkeiten:

- Durchschnittliche Laufdistanz (gesamt oder einzelne Geschwindigkeitsunterteilungen: 0-11,0 km/h; 11,1-14,0 km/h; 14,1-17,0 km/h; 17,1-21,0 km/h; 21,1-24,0 km/h; >24,0 km/h),
- Durchschnittliche Geschwindigkeit,
- Durchschnittliche Geschwindigkeit im Ballbesitz,
- Durchschnittliche Geschwindigkeit beim Ballbesitz des Gegners,
- Durchschnittliche Distanz beim Laufen mit hoher Intensität (> 21,0 km/h),
- Durchschnittliche Zeitabstände zwischen den Läufen mit hoher Intensität,
- Anzahl der Läufe mit hoher Intensität.

etc., der verschiedenen Spielergruppen und der gesamten Mannschaft. Gleiches gilt für die gegnerische Mannschaft.

### 1.2.3. Messtechnik

Außerdem liefert das System ein zweidimensionales Animationsbild, das über die komplette Spielzeit alle Bewegungen der Spieler, des Schiedsrichters und des Balles auf dem gesamten Spielfeld zeigt und für eine qualitative Spielbeobachtung mit dem Videobild synchronisiert werden kann (Abb. 1).



**Abbildung 1** Unterschiedliche Bildquellen im Spielanalysesystem Amisco Pro. Dargestellt ist das zweidimensionale Animationsbild (groß) und das Videobild (klein).



**Abbildung 2** Schematische Darstellung der Analysetechnik von Amisco Pro. Gezeigt ist die Positionierung der acht Kameras unter dem Stadionsdach und die gekoppelte Übertragung der Daten auf einen externen Computer zur Datenspeicherung.

Um die kinematischen Daten klassifizieren zu können, differenziert die Software zwischen zwei Grundinformationen.

Bei Spielern ohne Ball kann anhand ihrer Position der Aktionsgrad gemessen werden, der abhängig von der Laufgeschwindigkeit ist und mindestens eine Sekunde andauern muss. Durch die Definition von verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen lassen sich Intensitätskategorien wie Gehen, Joggen, schnelleres Laufen und Sprinten herleiten. Läuft ein Spieler z.B. länger als eine Sekunde schneller als 24,0 km/h, so wird diese Aktion als Sprint gewertet und die zurückgelegte Laufdistanz in diesem Intervall gemessen.

Im Fall des Ballkontaktes unterscheidet das System mögliche einzelne Ereignisse wie Dribblings, Pässe, Zweikämpfe, Schüsse und Kopfbälle sowie Ballgewinn und Ballverlust individuell und für alle Spieler auf dem Spielfeld.

Diese Aktionen unterliegen dabei keiner zeitlichen Eingrenzung zur Definition, sondern einer vorher bestimmten Charakteristik. Für eine Auswertung eines Zweikampfes am Boden beispielsweise darf kein Spieler den Ball unter Kontrolle haben, beide Spieler müssen die gleiche Chance haben, den Ball zu bekommen und sich in Richtung Ball bewegen. Der Spieler, der den Ball als erster mit seiner Annahme berührt, bei der der Ball unterhalb der Hüfte bleibt, hat diesen Zweikampf gewonnen.

#### **1.2.4. Untersuchungsgut**

Das Untersuchungsgut dieser Arbeit beschränkt sich auf den Lizenzspieler-Kader eines Fußballbundesligisten. Hierzu gehören die Spieler, die im Zeitraum von Juli 2004 bis einschließlich März 2007 mindestens in einem Spiel der zweiundfünfzig gemessenen eingesetzt wurden. Dies bedeutet ebenfalls, dass die Spieler, die in der Saison 2004 - 2005 ein Spiel bestritten haben, das gemessen wurde, bis zum Ende der Saison 2006 – 2007 unter Vertrag gestanden haben müssen, um sie in der Auswertung berücksichtigen zu können. Andernfalls würden die Spieler nicht in den Listen erwähnt werden. Diese Kriterien erfüllen insgesamt sechszwanzig Spieler, wobei einige nur Kurzeinsätze von wenigen Minuten bestritten haben, andere nahezu alle Spiele über die volle Spielzeit absolviert haben. Die Daten sind in einer Verschlüsselung übermittelt worden, so dass keine namentliche Zuordnung zu einzelnen Spieleridentifikationsnummern (Spieler – ID's: Zahlen 1 - 26) möglich ist. Es wurde eine Positionsangabe zur jeweiligen Spieler-ID erstellt. Die Anzahl der



Spieler pro Position ist aus Tabelle 1 zu entnehmen. Dabei ist zu beachten, dass in keiner der Auswertungen die Torhüter berücksichtigt wurden, da bezüglich der Laufanalyse dieser Position keine aussagekräftigen Werte ermittelt werden können. Der Vollständigkeit halber sind sie jedoch in der Beschreibung der Spieleranzahl pro Position sowie der physischen Merkmale (Tabelle 2) aufgeführt. Zur Vereinheitlichung der Daten werden die Ergebnisse, bis auf Signifikanzen und Korrelationen, mit einer Dezimalstelle angegeben.

**Tabelle 1** Anzahl der Spieler je Spielposition<sup>111</sup>.

Spielerposition	Anzahl der Spieler der Position (berücksichtigt)
Torhüter (TW)	4 (0)
Innenverteidiger (IV)	5 (5)
Außenverteidiger (AV)	5 (4)
Mittelfeldspieler (MF)	8 (7)
Stürmer (ST)	4 (3)

**Tabelle 2** Merkmale aller Spieler

Angabe des Mittelwerts sowie der Standardabweichung der Saison 2005 – 2006 <sup>111</sup>.

Kategorie	Größe	Gewicht	BMI	Alter
Einheit	[m]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[Jahre]
$\bar{x}$	1,8	79,9	23,7	24,6
S	± 5,2	± 4,6	± 1,2	± 4,8

### 1.2.5. Hypothesen

1. Es gibt bei den Laufdistanzen in den verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen bezogen auf die Spielpositionsgruppen bei gewonnenen und verlorenen Spielen keine signifikanten Unterschiede.
2. Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Laufdistanzen der verschiedenen Positionsgruppen bei nationalen und internationalen Spielen.

3. Es liegen im Laufdistanzvergleich der Positionsgruppen bei Läufen mit höchster Intensität (> 24,0 km/h) keine signifikanten Unterschiede vor.

4. Es gibt zwischen einer Spitzenmannschaft aus der Deutschen Bundesliga und einer aus der Englischen Premier League hinsichtlich der Laufdistanz keine signifikanten Unterschiede.

### 1.3. Untersuchungsablauf

#### 1.3.1. Untersuchungsdaten

Die Untersuchungsdaten schlüsseln sich in insgesamt acht Variablen auf, die vom „Amisco Pro“ System gemessen und für diese Arbeit zur Verfügung gestellt wurden. Hierbei sind drei Hauptmerkmale zu benennen. Erstens wurde die Spielzeit jedes Akteurs in Minuten gemessen. Zweitens hat man die Gesamtlaufstrecke jedes Spielers in Metern in der von ihm absolvierten Spieldauer gemessen. Drittens sind die Laufstrecken in festgelegten Geschwindigkeits- oder auch Intensitätsbereichen erhoben worden. Diese Bereiche reichen von 0-11,0 km/h, 11,1-14,0 km/h, 14,1-17,0 km/h, 17,1-21,0 km/h, 21,1-24,0 km/h sowie > 24,0 km/h. Das „Amisco Pro“ System misst die Werte der zugehörigen Laufdistanzen und fasst sie unter der Einheit „Meter pro jeweiligen Intensitätsbereich“ zusammen. Zur einfacheren Darstellung sind die Dezimalstellen nach dem Komma nicht in den Tabellen berücksichtigt.

**Tabelle 3** Exemplarische Auswertung eines Spielers

Angabe der gelaufenen Distanzen je Intensitätsbereich [m] sowie der Spielzeit [min]<sup>111</sup>.

Spiel vom 28.01.2006								
Spieler – ID	0-11,0 km/h [m]	>11,0- 14,0 km/h [m]	>14,0- 17,0 km/h [m]	>17,0- 21,0 km/h [m]	>21,0- 24,0 km/h [m]	>24,0 km/h [m]	Gesamt- distanz [m]	Spielzeit [min]
1	6569,0	1642,0	941,7	752,8	174,1	213,8	10293,3	92

Die Ausgangsvariablen von den Laufdistanzen pro Spiel wurden zu Metern pro Spielminute umgerechnet. Hierbei ist die ermittelte Laufdistanz je Intensitätsbereich durch die Spielzeit dividiert worden, um vergleichbare Werte für jeden Spieler zu erhalten. Diese Rechnung wurde mit allen Laufwerten durchgeführt, bei denen die Spieler neun und mehr Minuten Einsatzzeit hatten, um sowohl positive als auch negative Ausreißer auszuschließen.

Diese Auflistung erfolgte, mit der dazugehörigen Standardabweichung, von allen 26 Lizenzspielern einer Bundesligamannschaft.

Durch eine Summierung aller Distanzwerte in den verschiedenen Intensitätsbereichen und spätere Division durch die erfassten Spiele ist der jeweilige Mittelwert angegeben worden.

Dieser Vorgang ist für die einzelnen Positionskategorien sowohl für die Mannschaft aus der Bundesliga als auch der Premier League (Innenverteidiger, Außenverteidiger, Mittelfeldspieler, Stürmer), mit Angabe der Standardabweichung, angewendet worden.

Für die Mannschaftswerte sind nun alle Gruppensummen pro Intensitätsbereich addiert worden und im späteren Verlauf der Berechnung durch die Anzahl der gespielten Partien dividiert worden. Hierbei wurde ebenso mit den auf zurückgelegte Meter pro Spielminute umgerechneten Werten verfahren. Das Ergebnis ist der Mittelwert aller Gruppen.

Das spätere Spielergebnis wurde in die Kategorien Sieg oder Niederlage eingeteilt.

Die Daten aus dem Amisco-System wurden für jeden der 26 Lizenzspieler, jedes der 52 Spiele sowie die Laufdistanz pro Intensität, Gesamtstrecke und Spielzeit pro Spiel erhoben.

Um die Daten der Spieler untereinander vergleichen zu können, wurden die Laufdistanzen zu einer Gesamtdistanz [m] pro Spiel sowie auf zurückgelegte Meter pro Spielminute [m/min] gerechnet. Auch hier wurde die Umrechnung nur für Spiele durchgeführt, bei denen die Spieler länger als zehn Minuten gespielt haben.

Die Berechnung des Gesamtdurchschnitts ist also für den Zeitraum von 2004 bis März 2007 bei effektiver Einsatzzeit von mehr als neun Minuten pro Spiel durchgeführt worden. Ebenfalls erfolgte eine Untersuchung der Spiele auf das Spielergebnis mit den Kategorien Sieg oder Niederlage, den nationalen und internationalen Vergleich und die Laufdistanz je Intensitätsbereich. Zuletzt wurde der saisonale Unterschied der durchschnittlichen Laufleistungen je Intensität prozentual berechnet.

Der Mittelwert der einzelnen Gruppen, Innenverteidiger (n=5), Außenverteidiger (n=5), Mittelfeldspieler (n=8) und Stürmer (n=4) ist auf Grundlage aller gemessenen Spiele und der jeweiligen Intensitätssumme aller absolvierten Spiele berechnet worden. Daraufhin erhält man nach Division durch die Spielzeit der Spiele mit einer

effektiven Einsatzzeit über neun Minuten den Mittelwert aller Spiele der jeweiligen Gruppe.

Diese Berechnung erfolgte für alle Gruppen und Intensitätsbereiche (=Geschwindigkeitszonen).

**Tabelle 4** Beispiel einer Gruppenmittelwertberechnung  
Angabe der zurückgelegten Distanz pro Spielminute [min] ± s [m]<sup>111</sup>.

Kategorie	0-11,0 km/h [m]	>11,0- 14,0 km/h [m]	>14,0- 17,0 km/h [m]	>17,0- 21,0 km/h [m]	>21,0- 24,0 km/h [m]	>24,0 km/h [m]	Gesamtdistanz [m]
Alle Spiele	74,3 ± 1,3	16,4 ± 2,6	10,2 ± 1,6	7,5 ± 1,2	2,5 ± 0,4	2,1 ± 0,3	113,0 ± 6,4
alle nat Spiele	74,3 ± 1,5	16,3 ± 2,5	10,2 ± 1,5	7,5 ± 1,1	2,6 ± 0,4	2,1 ± 0,3	112,9 ± 6,1
alle inter Spiele	74,8 ± 1,4	16,7 ± 3,3	10,8 ± 2,3	7,7 ± 1,7	2,6 ± 0,5	2,1 ± 0,3	114,6 ± 9,0
nat gew	74,4 ± 1,6	16,0 ± 2,4	9,7 ± 1,5	7,1 ± 1,1	2,3 ± 0,5	2,1 ± 0,2	111,6 ± 5,3
nat ver	74,1 ± 2,1	17,1 ± 3,2	11,0 ± 2,0	8,1 ± 1,7	2,8 ± 0,5	2,1 ± 0,8	115,1 ± 8,8
inter gew	75,4 ± 1,4	16,0 ± 3,6	10,2 ± 2,6	7,4 ± 1,4	2,5 ± 0,6	1,9 ± 0,4	113,3 ± 9,7
inter ver	73,0 ± 1,8	16,5 ± 3,1	10,4 ± 1,7	7,4 ± 1,5	2,7 ± 0,5	2,2 ± 0,1	112,3 ± 7,4

Ebenfalls wurde der Bereich über 24,0 km/h verglichen. Es wurde jeder mögliche Vergleich durchgeführt (s. Tab. 6).

### 1.3.2. Höchster Intensitätsbereich

Für die isolierte Untersuchung und Auswertung einzelner Intensitätsbereiche unter Berücksichtigung der verschiedenen Einflussfaktoren müssen die zugehörigen Werte aus bereits aufbereiteten Gesamttabellen extrahiert werden. Zur Untersuchung des Merkmals Gruppenzugehörigkeit innerhalb des Bereiches mit der höchsten Intensität, des Sprintbereiches >24,0 km/h, werden entsprechend die Gruppenmittelwerte für die zurückgelegte Distanz [m] pro Spielminute den sieben definierten Kategorien zugeordnet, wie die folgende Tabelle veranschaulicht.

**Tabelle 5** Intensitätsbereich >24,0 km/h  
aufgeschlüsselt nach Ergebnis, Ebene und Gruppe; Angaben der Distanz pro Spielminute [m] ± s [m]<sup>111</sup>.

Gruppe	nat gew	nat ver	int gew	int ver	alle Spiele	alle nat Spiele	alle inter Spiele
Beispiel	2,1 ± 0,2	2,1 ± 0,8	1,9 ± 0,4	2,2 ± 0,1	2,1 ± 0,3	2,1 ± 0,3	2,1 ± 0,3

nat gew = national gewonnen

nat ver = national verloren

int gew = international gewonnen

int ver = international verloren

alle nat Spiele = alle nationalen Spiele

alle inter Spiele = alle internationalen Spiele

### 1.3.3. Bundesliga vs. Premier-League

Für den Vergleich nationaler mit internationalen Spitzenmannschaften sind ähnliche Berechnungen auf Mannschaftsebene durchzuführen. In der vorliegenden Untersuchung sollen abschließend die Laufdistanzen eines deutschen Spitzenteams denen eines internationalen Spitzenteams der englischen „Premier-League“ vergleichend gegenübergestellt werden.

Da bei der internationalen Spitzenmannschaft keine genaue Spielerzuordnung möglich war, wurde der Mannschaftsmittelwert aus allen erhobenen Spielerdistanzwerten errechnet.

Die Standardabweichung wurde unter Berücksichtigung aller Distanzwerte ermittelt.

Für den Vergleich des deutschen Spitzenteams mit dem internationalen Spitzenteam der englischen „Premier-League“ sind die Mittelwerte der drei analysierten Spiele der englischen Mannschaft in einen Gesamtwert umgerechnet worden.

### 1.3.4. Extrapolation

Um die Vergleichbarkeit der ermittelten Ergebnisse generell und speziell mit den in Kapitel 2 aufgeführten Referenzen gewährleisten zu können, müssen sich die Mittelwerte der Gruppen und der Gesamtmannschaft auf die durchschnittliche Dauer eines Fußballspiels beziehen.

In der Untersuchung wurden daher die jeweiligen Gruppen- und Mannschaftsmittelwerte linear auf 90 Minuten extrapoliert.

Da von den insgesamt 473 gemessenen Spielen 31 Spiele als Kurzeinsätze mit einer Spieldauer von 10 bis 30 Minuten einzuordnen sind, musste zunächst geprüft werden, inwieweit die Gesamtberechnung durch die Kurzeinsätze beeinflusst wird.

Die Kurzeinsätze sind jedoch für die statistische Auswertung nicht relevant, da sie zum einen im Verhältnis von nur 31 zu insgesamt 473 Spielen stehen und zum anderen lediglich vier der insgesamt 19 analysierten Spieler zwei oder mehr Kurzeinsätze hatten, diesen Spielern aber sieben Spieler gegenüber stehen, die durchgängig mehr als 30 Minuten im Spiel eingesetzt waren.

Die Mittelwerte aller Kurzeinsätze können Tabelle 6 entnommen werden.

**Tabelle 6** Vergleich der MW aller Spieler, MW=Mannschaftsmittelwert normaler Einsatzzeit (30-90 min) sowie der Kurzeinsätze (10-30 min) nach linearer Extrapolierung, Angaben der MW  $\pm$  s [m].

Gruppe	0-11,0 km/h [m]	>11,0- 14,0 km/h [m]	>14,0- 17,0 km/h [m]	>17,0- 21,0 km/h [m]	>21,0- 24,0 km/h [m]	>24,0 km/h [m]	Gesamt- distanz [m]
<b>Normale Einsatzzeit (n = 442 Spiele)</b>	6739,0 $\pm$ 161,2	1727,6 $\pm$ 200,3	1121,1 $\pm$ 135,4	908,7 $\pm$ 190,3	313,6 $\pm$ 64,1	309,3 $\pm$ 132,1	11103,7 $\pm$ 624,6
<b>Kurzeinsätze (n = 31 Spiele)</b>	6563,8 $\pm$ 439,2	1735,4 $\pm$ 438,5	1263,6 $\pm$ 358,2	1077,3 $\pm$ 393,0	405,7 $\pm$ 241,4	348,0 $\pm$ 228,1	11340,1 $\pm$ 1199,1

Zur Schaffung eines einheitlichen Standards und damit zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden die ermittelten Ausgangswerte des „Amisco Pro“ Systems für alle analysierten Spiele, also sowohl für die 54 gemessenen Spiele der deutschen Mannschaft als auch für die drei Spiele der englischen Mannschaft, für jeden Intensitätsbereich auf die Einheit „zurückgelegte Distanz in Metern pro Spielminute“ transformiert. Des Weiteren wurde ein akkumulierter Bereich von >21,0 km/h festgelegt, bei dem die Bereiche >21,0-24,0 km/h und >24,0 km/h addiert sind.

#### 1.4. Statistische Methoden

Neben den üblichen und bekannten Verfahren der deskriptiven Statistik (arithmetisches Mittel, verschiedene Streuungsmaße) werden multiple Mittelwertsvergleiche eingesetzt. Für den „Pre-Test“ müssen die Varianzen unter den einzelnen Faktorstufen und die Korrelationen zwischen den Faktorstufen homogen sein.

„Post-Hoc“ – Verfahren des multiplen Mittelwertvergleichs erlauben eine einmalige Überprüfung aller Mittelwerte auf Signifikanz des Unterschieds („Duncan-Test“).

Aufgrund der recht großen Zahl von Ausreißern im Bereich unter zehn Minuten effektiver Einsatzzeit wurden die Ausgangswerte des „Amisco Pro“-Systems um diese Werte bereinigt (4-Sigma-Bereich<sup>128</sup>). Auch Kurzeinsätze der Spieler (10 bis 30 min.) wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Für die Ermittlung der Mittelwerte für jeden Intensitätsbereich eines Spielers sowie des Intensitätsbereiches der Gruppe oder der Mannschaft wurden jeweilige arithmetische Mittel verwendet.

Hierbei wurde jeder Wert als Messwiederholung betrachtet. Die Standardabweichung wurde unter Berücksichtigung aller Distanzwerte der jeweiligen Gruppe über die unten stehende Formel errechnet.

Die Berechnung des Standardfehlers wurde als Folgerechnung auf Basis des ermittelten Wertes für die Standardabweichung durchgeführt.

Standardabweichung	Standardfehler	Arithmetischer Mittelwert
$S = \sqrt{S^2}$	$S_E = \frac{S}{\sqrt{n}}$	$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$

S = Standardabweichung

$\sqrt{S^2}$  = Wurzel aus der Standardabweichung

$S_E$  = Standardfehler

$\sqrt{n}$  = Wurzel aus dem Stichprobenumfang

$\bar{x}$  = Das arithmetische Mittel einer Messreihe ( $x_1, \dots, x_n$ )

n = Stichprobenumfang

$\Sigma$  = Summe  $x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n$

**Abbildung 3** Formel zur Berechnung der statistischen Größen.

Die gewonnenen Datensätze und die hieraus abgeleiteten Fragestellungen eins bis drei wurden sowohl mittels Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) als „Pre-Test“ als auch durch multiple Mittelwertvergleichstests (nach DUNCAN) als „Post-Hoc-Test“ überprüft.

Für die Berechnungen der Mittelwerte, der Standardabweichung, des Standardfehlers, der Varianzanalyse sowie des „Duncan-Tests“ wurde das Programm „STATISTICA“, Version 8.0 (StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, USA)<sup>156</sup> eingesetzt.

Die Extrapolation der Werte erfolgte linear von der „Distanz in einer Spielminute“ auf die „Distanz in 90 Minuten Spielzeit“.



**Tabelle 7** : Extrapolation der Werte von der „Distanz in einer Spielminute“ auf die „Distanz in 90 Minuten Spielzeit“.

**Distanz in Metern je Spielminute**

	0 – 11,0 km/h	>11,0- 14,0 km/h	>14,0- 17,0 km/h	>17,0- 21,0 km/h	>21,0- 24,0 km/h	>24,0 km/h	Gesamtdistanz
<b>INNENVERTEIDIGER (n=5)</b>	74,3	16,4	10,2	7,5	2,5	2,1	113,0
<b>S</b>	1,3	2,6	1,6	1,2	0,4	0,3	0,3
<b>AUßENVERTEIDIGER (n=4)</b>	76,5	17,9	11,5	8,7	2,9	3,1	120,4
<b>S</b>	2,0	4,7	3,2	2,2	1,0	0,5	10,0
<b>MITTELFELDSPIELER (n=7)</b>	75,2	20,5	14,1	10,6	3,6	2,4	126,2
<b>S</b>	3,5	2,3	2,4	1,7	1,0	1,9	5,7
<b>STÜRMER (n=3)</b>	72,8	16,5	11,8	10,9	4,3	3,6	119,8
<b>S</b>	0,5	4,6	3,3	2,2	1,2	1,3	10,7
<b>Gesamtmannschaft (n=19)</b>	74,7	17,8	11,9	9,4	3,3	2,8	119,9
<b>S</b>	1,6	1,9	1,6	1,6	0,8	0,7	5,4

**Distanz nach linearer Extrapolierung der Werte**

	0 – 11,0 km/h	>11,0- 14,0 km/h	>14,0- 17,0 km/h	>17,0- 21,0 km/h	>21,0- 24,0 km/h	>24,0 km/h	Gesamtdistanz
<b>INNENVERTEIDIGER (n=5)</b>	6689,0	1472,4	922,0	672,3	228,9	185,8	10170,6
<b>S</b>	118,7	230,9	142,3	104,5	32,2	22,7	22,7
<b>AUßENVERTEIDIGER (n=4)</b>	6884,9	1612,6	1036,4	781,1	264,4	274,8	10838,8
<b>S</b>	176,4	421,1	283,7	200,3	90,7	42,2	901,2
<b>MITTELFELDSPIELER (n=7)</b>	6770,3	1847,4	1264,2	950,5	320,2	219,4	11357,7
<b>S</b>	311,3	209,8	216,0	150,1	92,8	174,2	510,8
<b>STÜRMER (n=3)</b>	6553,1	1481,9	1057,6	979,4	385,3	324,0	10781,1
<b>S</b>	40,6	413,5	293,6	193,2	106,6	116,9	963,5
<b>Gesamtmannschaft (n=19)</b>	6724,3	1603,5	1070,1	845,8	299,7	251,0	10787,1
<b>S</b>	139,6	174,7	142,5	145,0	68,4	60,9	485,9

Mittels einer vierfaktoriellen Varianzanalyse wurden die mutmaßlichen Einflussfaktoren Gruppenzugehörigkeit, Erfolg, Ebene sowie Geschwindigkeit auf ihre Wirkung auf die zurückgelegte Distanz untersucht.

Zur weiteren Überprüfung der Hypothesen wurde anschließend ein multipler Mittelwertvergleichstest in Form des „Duncan-Tests“ durchgeführt.

Das Signifikanzniveau wird, so fern eine Signifikanz mit  $p < 0,05$  besteht, in dieser Untersuchung anhand der „dreistufigen Sternsymbolik“ (Tabelle 8) dargestellt.

**Tabelle 8** P-Werte nach SACHS (1996, S.188).

[*] $0,05 \geq P > 0,01$	[**] $0,01 \geq P > 0,001$	[***] $P \leq 0,001$
--------------------------	----------------------------	----------------------

Trotz der Nachteile der konservativen statistischen Testverfahren, mittels derer der Nachweis geringer Einflüsse nicht geführt werden kann, werden sie dennoch im Rahmen dieser Arbeit angewandt, um einen sicheren Nachweis großer Einflussfaktoren erbringen zu können.

Die festgelegten Maßstäbe für diese Untersuchung bedingen einen größeren Fehler 1. Art.

## 1.5. Ergebnisse

In allen Ergebnisdarstellungen ist zur besseren Übersicht und zu Vergleichszwecken der Werte mit anderen Studien der linear extrapolierte und abgerundete Wert der Distanzen [m] angezeigt.

Die zurückgelegte mittlere Gesamtdistanz ( $\bar{x} \pm s$ ) über die Spieldauer von 90 Minuten beträgt für alle Spieler im Durchschnitt  $10787,1 \text{ m} \pm 485,9 \text{ m}$ . Die Werte der einzelnen Spielergruppen und deren zurückgelegte Durchschnittsdistanz je Intensitätsbereich können Tabelle 9 entnommen werden.

**Tabelle 9** Durchschnittliche Distanz der Spielergruppen je Intensitätsbereich [m], Angabe der MW  $\pm s$  [m]<sup>111</sup>.

Gruppe	0-11,0 km/h [m]	>11,0-14,0 km/h [m]	>14,0-17,0 km/h [m]	>17,0-21,0 km/h [m]	>21,0-24,0 km/h [m]	>24,0 km/h [m]	Gesamtdistanz [m]
IV (n=5)	6689,0 $\pm$ 118,74	1472,4 $\pm$ 230,9	922,0 $\pm$ 142,3	672,3 $\pm$ 104,4	228,9 $\pm$ 32,2	185,9 $\pm$ 22,7	10170,6 $\pm$ 576,0
AV (n=4)	6884,9 $\pm$ 176,4	1612,6 $\pm$ 421,1	1036,4 $\pm$ 283,7	781,1 $\pm$ 200,3	264,4 $\pm$ 90,7	274,8 $\pm$ 42,2	10838,8 $\pm$ 901,2
MF (n=7)	6770,3 $\pm$ 311,3	1847,4 $\pm$ 209,8	1264,2 $\pm$ 216,0	950,5 $\pm$ 150,1	320,2 $\pm$ 92,8	219,4 $\pm$ 174,1	11357,7 $\pm$ 510,7
ST (n=3)	6553,1 $\pm$ 40,6	1481,9 $\pm$ 413,5	1057,6 $\pm$ 293,6	979,4 $\pm$ 193,2	385,3 $\pm$ 106,6	324,0 $\pm$ 116,9	10781,1 $\pm$ 963,5
GM (n=19)	6724,3 $\pm$ 139,6	1603,5 $\pm$ 174,7	1070,1 $\pm$ 142,5	845,8 $\pm$ 145,0	299,7 $\pm$ 68,3	251,0 $\pm$ 60,9	10787,1 $\pm$ 485,9

Die Spieler der Gruppe ST legen im Intensitätsbereich von 0-11km/h die geringste Laufdistanz von  $6553,1 \text{ m} \pm 40,6 \text{ m}$  zurück. Die größte Distanz in diesem Geschwindigkeitsintervall ist mit  $6884,9 \text{ m} \pm 176,4 \text{ m}$  den Spielern der Gruppe AV zuzuordnen. Die Spieler der Gruppe MF legen sowohl im Bereich >11,0-14,0 km/h mit  $1847,4 \text{ m} \pm 209,8 \text{ m}$  als auch im Bereich von >14,0-17,0 km/h mit  $1264,2 \text{ m} \pm 216,0 \text{ m}$  die größte Distanz zurück. Die Spieler der Gruppe IV legen in diesen Bereichen die geringsten Distanzen mit  $1472,4 \text{ m} \pm 230,9 \text{ m}$  und  $922,0 \text{ m} \pm 142,3 \text{ m}$  zurück.

Die größten Laufdistanzen in den Bereichen  $>17,0-21,0$  km/h,  $>21,0-24,0$  km/h und  $>24,0$  km/h legen die Spieler der Gruppe ST zurück. Diese Gruppe kommt hierbei auf  $979,4 \text{ m} \pm 193,2 \text{ m}$ ,  $385,3 \text{ m} \pm 106,6 \text{ m}$  und  $324,0 \text{ m} \pm 116,9 \text{ m}$ . In diesen Intensitätsbereichen legen die Spieler der Gruppe IV mit  $672,3 \text{ m} \pm 104,4 \text{ m}$ ,  $228,9 \text{ m} \pm 32,2 \text{ m}$  und  $185,9 \text{ m} \pm 22,7 \text{ m}$  jeweils die geringsten Distanzen zurück.

In der Gesamtdistanz laufen die Spieler der Gruppe MF mit  $11357,7 \text{ m} \pm 510,7 \text{ m}$  die deutlich höchsten Distanzwerte. Die geringste Gesamtdistanz erreichen die Spieler der Gruppe IV, die im Durchschnitt  $10170,6 \text{ m} \pm 576,0 \text{ m}$  in 90 Minuten zurücklegen.

### **1.5.1. Laufdistanzen bei national gewonnenen und verlorenen Spielen**

Bei der Varianzanalyse mit Messwiederholung wird eine Stichprobe mehrmals in Bezug auf ein bestimmtes Merkmal erfasst. Es handelt sich daher um einen „multivariaten“ Ansatz mit mehreren abhängigen Variablen.

In der Varianzanalyse werden die Mittelwerte durch die Zerlegung der Varianz in eine Streuung zwischen den Gruppen und eine Streuung innerhalb der Gruppen verglichen.

Da alle Einheiten der Merkmalsausprägungen bei der Varianz quadriert werden, ist sie nicht anschaulich. Ein Maß für die tatsächliche Streubreite gibt dagegen die Standardabweichung.

Bei einer sigmabeschränkten Parametrisierung wird die Untersuchung auf die Untersuchung des Parameters „ $\sigma$ “, also die Standardabweichung der Grundgesamtheit, eingeschränkt.

Um eine mehrfaktorielle Varianzanalyse durchführen zu können, muss man also eine komplexe Hypothese wie „Die Untersuchungsfaktoren A, B und C haben keinen Einfluss, also keinen Effekt“ in sieben Teilhypothesen aufteilen.

Dabei spricht man von einer „effektiven Hypothesen-Dekomposition“, eine Zerlegung (Dekomposition) von komplexen Hypothesen in einfachere Einheiten.

**Tabelle 10** Ergebnis der durchgeführten dreifaktoriellen Varianzanalyse<sup>111</sup>.

Effekt	Varianzanalyse mit Messwiederholungen (Varianzanalyse) Sigmabeschränkte Parametrisierung Effektive Hypothesen-Dekomposition				
	SQ	FG	MQ	F	p
Konstante	78075,1	1	78075,1	5132,998	0,000000
Gruppenzugehörigkeit	194,3	3	64,8	4,258	0,024706
Fehler	212,9	14	15,2		
ERFOLG	0,9	1	0,9	1,028	0,327807
ERFOLG*Gruppenzugehörigkeit	5,1	3	1,7	1,869	0,181234
Fehler	12,8	14	0,9		
GESCHW	116914,6	5	23382,9	4091,230	0,000000
GESCHW*Gruppenzugehörigkeit	172,8	15	11,5	2,015	0,026038
Fehler	400,1	70	5,7		
ERFOLG*GESCHW	45,0	5	9,0	10,155	0,000000
ERFOLG*GESCHW*Gruppenzugehörigkeit	24,1	15	1,6	1,811	0,050064
Fehler	62,0	70	0,9		

SQ	= Quadratsumme
FG	= Freiheitsgrade
MQ	= Mittlere Quadratsumme
F	= F-Verteilung / Wahrscheinlichkeitsverteilung
p	= Wahrscheinlichkeitswert / Teststatistik
GESCHW	= Geschwindigkeit
GESCHW*Gruppenzugehörigkeit	= Geschwindigkeit – Gruppenzugehörigkeit
ERFOLG*GESCHW	= Erfolg - Geschwindigkeit

Das Ergebnis der dreifaktoriellen Varianzanalyse bezüglich der Faktoren Erfolg, Geschwindigkeit sowie Gruppenzugehörigkeit kann Tabelle 10 entnommen werden. In der Tabelle sind Faktoren mit einem Einfluss auf die gemessenen Distanzwerte rot gekennzeichnet. Es ist ersichtlich, dass die Faktoren Gruppenzugehörigkeit und Geschwindigkeit (GESCHW) sowohl einzeln als auch als Interaktionseinflüsse Geschwindigkeit – Gruppenzugehörigkeit (GESCHW\*Gruppenzugehörigkeit) und Erfolg – Geschwindigkeit (ERFOLG\*GESCHW) Auswirkung auf die Ergebnisse haben.

Zur Bearbeitung der ersten Frage wurde mit einem „Duncan-Test“ auf Gruppenunterschiede in gewonnenen und verlorenen Spiele getestet. Beim Vergleich der Laufdistanzen gewonnener und verllorener Spiele gibt es keine Unterschiede im Bereich der Spielergruppen IV und MF. Die Spieler der Gruppe AV laufen jedoch in den Intensitätsbereichen >11,0-14,0 km/h, >14,0-17,0 km/h und >17,0-21,0 km/h während gewonnener und verllorener Spielen signifikant unterschiedliche Distanzen. Ebenso läuft die Gruppe der ST in den Bereichen 0-11,0

km/h und >14,0-17,0 km/h signifikant unterschiedliche Werte. Überträgt man diese Ergebnisse in eine Mittelwerttabelle, so ergibt sich folgendes Bild:

**Tabelle 11** Mittelwerte gewonnener und verlorener Spiele der verschiedenen Gruppen in den Intensitätsbereichen [m], Angabe der MW  $\pm$  s [m]<sup>111</sup>.

National gewonnene Spiele (n=23)							
Intensität	0-11,0 km/h [m]	>11,0- 14,0 km/h [m]	>14,0- 17,0 km/h [m]	>17,0- 21,0 km/h [m]	>21,0- 24,0 km/h [m]	>24,0 km/h [m]	Gesamtdistanz [m]
IV (n=5)	6696,9 $\pm$ 144,9	1431,9 $\pm$ 214,2	874,8 $\pm$ 133,2	649,9 $\pm$ 99,0	207,9 $\pm$ 46,8	189,9 $\pm$ 16,2	10041,3 $\pm$ 477,9
AV (n=3)	6894,4 $\pm$ 207,0	1809,0 $\pm$ 195,3*	1125,0 $\pm$ 81,0*	841,5 $\pm$ 29,7*	334,8 $\pm$ 57,6	261,9 $\pm$ 44,1	11276,1 $\pm$ 519,3
MF (n=7)	6788,8 $\pm$ 252,9	1860,3 $\pm$ 278,1	1277,1 $\pm$ 179,1	936,0 $\pm$ 174,6	327,6 $\pm$ 91,8	225,9 $\pm$ 121,5	11408,4 $\pm$ 450,9
ST (n=3)	6665,4 $\pm$ 90,9 <sup>#</sup>	1466,1 $\pm$ 378,0	995,4 $\pm$ 223,2 <sup>#</sup>	979,2 $\pm$ 195,3	394,2 $\pm$ 77,4	374,4 $\pm$ 138,6	10873,8 $\pm$ 905,4
National verlorene Spiele (n=11)							
Intensität	0-11 km/h [m]	>11-14 km/h [m]	>14-17 km/h [m]	>17-21 km/h [m]	>21-24 km/h [m]	>24 km/h [m]	Gesamtdistanz [m]
IV (n=5)	6667,2 $\pm$ 192,6	1539,0 $\pm$ 287,1	985,5 $\pm$ 184,5	726,3 $\pm$ 153,9	254,7 $\pm$ 42,3	189,0 $\pm$ 68,4	10360,8 $\pm$ 789,3
AV (n=4)	6712,2 $\pm$ 331,2	1668,6 $\pm$ 439,2*	1218,6 $\pm$ 418,5*	882,9 $\pm$ 278,1*	262,8 $\pm$ 94,5	233,1 $\pm$ 109,8	10911,6 $\pm$ 888,3
MF (n=7)	6745,5 $\pm$ 256,5	1865,7 $\pm$ 131,4	1287,9 $\pm$ 214,2	966,6 $\pm$ 182,7	306,0 $\pm$ 85,5	218,7 $\pm$ 76,5	11390,4 $\pm$ 434,7
ST (n=3)	6483,5 $\pm$ 72,7 <sup>#</sup>	1475,4 $\pm$ 459,7	1137,4 $\pm$ 431,7 <sup>#</sup>	983,5 $\pm$ 203,2	376,0 $\pm$ 98,7	275,4 $\pm$ 116,7	10731,2 $\pm$ 1126,3

Signifikante Unterschiede:  
 Gruppen AV:\* (>11,0-14,0 km/h, >14,0-17,0 km/h, >17,0-21,0 km/h), markiert eine signifikante Differenz (p<0,05)  
 Gruppe ST: (0-11,0 km/h, >14,0-17,0 km/h), # markiert eine signifikante Differenz (p<0,05)

### 1.5.2. Laufdistanzen auf nationaler und internationaler Ebene

Beim Vergleich der nationalen mit den internationalen Distanzwerten sind bezüglich der Laufdistanzen der Gesamtmannschaft in den unterschiedlichen Intensitätsbereichen keine statistisch signifikanten Aussagen zu treffen.

**Tabelle 12** Angabe der Laufdistanzen der Gesamtmannschaft (GM) in den Kategorien national (grau hinterlegt, n=19) und international (orange hinterlegt, n=17) im jeweiligen Intensitätsbereich [m], Angabe des MW  $\pm$  s [m]<sup>111</sup>.

Ebene	0-11,0 km/h [m]	>11,0- 14,0 km/h [m]	>14,0- 17,0 km/h [m]	>17,0- 21,0 km/h [m]	>21,0- 24,0 km/h [m]	>24,0 km/h [m]	Gesamtdistanz [m]
National (n=45 Spiele)	6711,8 $\pm$ 144,7	1602,0 $\pm$ 182,7	1067,5 $\pm$ 146,3	836,8 $\pm$ 139,9	298,8 $\pm$ 65,2	250,8 $\pm$ 60,0	10762,5 $\pm$ 492,0
International (n=9 Spiele)	6792,5 $\pm$ 121,3	1676,8 $\pm$ 179,1	1119,0 $\pm$ 116,7	940,8 $\pm$ 164,0	310,0 $\pm$ 80,0	256,0 $\pm$ 70,8	11074,0 $\pm$ 549,6

Die Werte der Gesamtmannschaft liegen bei internationalen Spielen in allen Intensitätsbereich geringfügig höher als die Werte bei nationalen Spielen.

Eine differenzierte Betrachtung der Laufdistanzen in den einzelnen Spielergruppen beider Ebenen, nationaler und internationaler Spiele, ist in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13** Angabe der zurückgelegten Distanzen auf nationaler und internationaler Ebene je Intensitätsbereich [m] für die vier verschiedenen Spielergruppen, Angabe MW  $\pm$  s [m]<sup>111</sup>.

GRP	KAT	0-11,0 km/h [m]	>11,0- 14,0 km/h [m]	>14,0- 17,0 km/h [m]	>17,0- 21,0 km/h [m]	>21,0- 24,0 km/h [m]	>24,0 km/h [m]	Gesamt- distanz [m]
IV	Nat (n=5)	6685,6 $\pm$ 136,8	1469,6 $\pm$ 226,0	915,1 $\pm$ 133,5	672,2 $\pm$ 100,7	229,2 $\pm$ 31,2	185,9 $\pm$ 25,7	10157,8 $\pm$ 551,6
	Int (n=5)	6731,2 $\pm$ 127,6	1502,9 $\pm$ 300,3	969,8 $\pm$ 208,9	696,2 $\pm$ 150,5	229,5 $\pm$ 40,3	187,7 $\pm$ 25,7	10317,4 $\pm$ 810,2
AV	Nat (n=4)	6877,2 $\pm$ 190,1	1616,7 $\pm$ 426,4	1038,4 $\pm$ 286,9	769,7 $\pm$ 191,3	265,2 $\pm$ 91,7	272,5 $\pm$ 40,4	10822,2 $\pm$ 892,8
	Int (n=2)	6921,3 $\pm$ 134,4	1876,1 $\pm$ 3,8	1181,8 $\pm$ 8,5	1023,6 $\pm$ 96,0	297,3 $\pm$ 46,8	311,1 $\pm$ 67,8	11611,1 $\pm$ 239,1
MF	Nat (n=7)	6754,0 $\pm$ 230,8	1855,0 $\pm$ 172,2	1266,7 $\pm$ 184,1	940,2 $\pm$ 171,2	323,9 $\pm$ 91,1	221,3 $\pm$ 102,9	11357,9 $\pm$ 400,8
	Int (n=7)	6862,8 $\pm$ 268,5	1777,5 $\pm$ 250,7	1236,4 $\pm$ 157,5	1002,3 $\pm$ 152,1	291,7 $\pm$ 89,1	201,7 $\pm$ 72,9	11288,7 $\pm$ 369,9
ST	Nat (n=3)	6529,6 $\pm$ 31,1	1466,2 $\pm$ 408,7	1050,3 $\pm$ 292,9	965,4 $\pm$ 189,1	376,9 $\pm$ 98,2	323,3 $\pm$ 118,7	10711,7 $\pm$ 923,0
	Int (n=3)	6654,5 $\pm$ 75,7	1549,7 $\pm$ 426,8	1088,4 $\pm$ 304,7	1041,2 $\pm$ 218,9	421,0 $\pm$ 139,0	323,3 $\pm$ 113,5	11078,1 $\pm$ 1121,0

Die internationalen Distanzwerte der Spieler der Gruppe IV sind allesamt geringfügig höher, aber eben nicht signifikant, als die nationalen Distanzwerte dieser Gruppe.

Die Spielergruppe der AV läuft international in allen Intensitätsbereichen eine größere Distanz.

Die Gruppe der MF läuft national in den Bereichen >11,0-14,0 km/h, >14,0-17,0 km/h, >21,0-24,0 km/h sowie in der Gesamtdistanz größere Strecken, in den Bereichen von 0-11,0 km/h und >17,0 -21,0 km/h laufen diese Spieler international eine größere Distanz.

Für die Spieler der Gruppe ST können in internationalen Spielen in den Bereichen von >0-21,0 km/h und in der Gesamtdistanz höhere Werte nachgewiesen werden als bei nationalen Spielen. Im höchsten Intensitätsbereich von >24,0 km/h läuft diese Gruppe international wie national die gleiche Distanz.

**Tabelle 14** Auswertung der durchgeführten vierfaktoriellen Varianzanalyse<sup>111</sup>.

Effekt	Varianzanalyse mit Messwiederholungen (Varianzanalyse) Sigtabeschränkte Parametrisierung Effektive Hypothesen-Dekomposition				
	SQ	FG	MQ	F	p
Konstante	118537,4	1	118537,4	3775,032	0,000000
{1}Gruppenzugehörigkeit	420,8	3	140,3	4,467	0,030931
Fehler	314,0	10	31,4		
{2}EBENE	0,1	1	0,1	0,032	0,860987
EBENE*Gruppenzugehörigkeit	7,8	3	2,6	0,655	0,597841
Fehler	39,6	10	4,0		
{3}ERFOLG	1,5	1	1,5	0,380	0,551362
ERFOLG*Gruppenzugehörigkeit	7,1	3	2,4	0,620	0,617616
Fehler	38,3	10	3,8		
{4}GESCHW	179096,1	5	35819,2	2869,133	0,000000
GESCHW*Gruppenzugehörigkeit	315,7	15	21,0	1,686	0,084827
Fehler	624,2	50	12,5		
EBENE*ERFOLG	3,4	1	3,4	1,501	0,248646
EBENE*ERFOLG*Gruppenzugehörigkeit	0,7	3	0,2	0,111	0,951782
Fehler	22,4	10	2,2		
EBENE*GESCHW	12,6	5	2,5	2,488	0,043446
EBENE*GESCHW*Gruppenzugehörigkeit	12,3	15	0,8	0,807	0,664424
Fehler	50,7	50	1,0		
ERFOLG*GESCHW	20,6	5	4,1	4,065	0,003574
ERFOLG*GESCHW*Gruppenzugehörigkeit	20,1	15	1,3	1,325	0,223331
Fehler	50,6	50	1,0		
EBENE*ERFOLG*GESCHW	13,5	5	2,7	3,005	0,018966
2*3*4*1	18,4	15	1,2	1,360	0,204437
Fehler	45,0	50	0,9		

SQ	= Quadratsumme
FG	= Freiheitsgrade
MQ	= Mittlere Quadratsumme
F	= F-Verteilung / Wahrscheinlichkeitserklärung
p	= Wahrscheinlichkeitswert / Teststatistik
GESCHW	= Geschwindigkeit
GESCHW*Gruppenzugehörigkeit	= Geschwindigkeit – Gruppenzugehörigkeit
ERFOLG*GESCHW	= Erfolg - Geschwindigkeit

Bei der vierfaktoriellen Varianzanalyse wird die Untersuchung hinsichtlich der potentiellen Einflussfaktoren Erfolg, Geschwindigkeit und Gruppenzugehörigkeit um den Faktor Ebene (national vs. international; nominal skalierte Größe) ergänzt. Die bisherigen Untersuchungen, die dreifaktorielle Varianzanalyse zum Vergleich der Laufdistanzen aller Gruppen in den verschiedenen Intensitätsbereichen bei gewonnenen und verlorenen Spielen und der Vergleich der Laufdistanzen auf nationaler und internationaler Ebene, werden also gemeinsam betrachtet. Bei der vierfaktoriellen Varianzanalyse wurden also alle einzelnen Faktoren Gruppenzugehörigkeit, Ebene - nationale oder internationale Spiele -, Erfolg und

Geschwindigkeit (GESCHW) sowie deren Interaktionseinflüsse bezüglich ihres Einflusses auf die Distanzwerte untersucht.

Die Auswertung dieser Analyse wird aus Tabelle 14 ersichtlich.

Sowohl für den Faktor Gruppenzugehörigkeit als auch für den Faktor Geschwindigkeit konnte ein Zusammenhang auf die zurückgelegte Laufdistanz nachgewiesen werden.

Interaktionseinflüsse beziehungsweise eine wechselseitige Beeinflussung der Kombinationsfaktoren Ebene und Geschwindigkeit (EBENE\*GESCHW), Erfolg und Geschwindigkeit (ERFOLG\*GESCHW) sowie Ebene, Erfolg und Geschwindigkeit (EBENE\*ERFOLG\*GESCHW) sind ebenfalls belegbar.

Für die Gegenüberstellung der Gruppenmittelwerte ergeben sich folgende vier Spielkategorien: Gewonnenes Spiel auf nationaler Ebene (nat-gew), verlorenes Spiel auf nationaler Ebene (nat-ver), gewonnenes Spiel auf internationaler Ebene (int-gew) und verlorenes Spiel auf internationaler Ebene (int-ver). In Tabelle 15 sind die mittleren, im Spiel zurückgelegten Distanzen dargestellt und jeweils nach der Spielerposition, der Spielkategorie und dem Geschwindigkeitsintervall (GI) aufgelistet. Weiterführend sind die innerhalb der Spielergruppen und in den einzelnen Geschwindigkeitsintervallen gelaufenen Distanzen statistisch auf Unterschiede zwischen den vier verschiedenen Spielkategorien untersucht worden.



**Tabelle 15** Mittelwerte der jeweiligen Kategorie beider Ebenen in den verschiedenen Intensitätsbereichen [m]; Angabe von Gruppenmittelwerten  $\pm s^{111}$ .

GRP	KAT	GI 1: 0-11,0 km/h [m]	GI 2 >11,0-14,0 km/h [m]	GI 3 >14,0-17,0 km/h [m]	GI 4 >17,0-21,0 km/h [m]	GI 5 >21,0-24,0 km/h [m]	GI 6 >24,0 km/h [m]	Gesamtdistanz [m]
IV	nat gew (n=5)	6697,0 $\pm$ 144,9*	1431,9 $\pm$ 214,2	874,8 $\pm$ 133,2	649,9 $\pm$ 99,0	207,9 $\pm$ 46,8	189,9 $\pm$ 16,2	10041,3 $\pm$ 477,9
	nat ver (n=5)	6667,2 $\pm$ 192,6	1539,0 $\pm$ 287,1*	985,5 $\pm$ 184,5	726,3 $\pm$ 153,9	254,7 $\pm$ 42,3	189,0 $\pm$ 68,4	10360,8 $\pm$ 789,3
	int gew (n=4)	6786,0 $\pm$ 123,3*	1434,6 $\pm$ 323,1*	915,3 $\pm$ 231,3	667,8 $\pm$ 128,7	221,4 $\pm$ 52,2	171,9 $\pm$ 38,7	10197,0 $\pm$ 869,4
	int ver (n=4)	6570,9 $\pm$ 163,8*	1487,7 $\pm$ 277,2	939,6 $\pm$ 150,3	668,7 $\pm$ 135,0	238,5 $\pm$ 42,3	198,0 $\pm$ 8,1	10104,3 $\pm$ 664,2
AV	nat gew (n=3)	6894,0 $\pm$ 207,0	1809,0 $\pm$ 195,3	1125,0 $\pm$ 81,0	841,5 $\pm$ 29,7^	334,8 $\pm$ 57,6	261,9 $\pm$ 44,1	11276,1 $\pm$ 519,3
	nat ver (n=4)	6712,2 $\pm$ 331,2^	1668,6 $\pm$ 439,2	1218,6 $\pm$ 418,5^	882,9 $\pm$ 278,1	262,8 $\pm$ 94,5	233,1 $\pm$ 109,8	10911,6 $\pm$ 888,3
	int gew (n=2)	6921,0 $\pm$ 0^	1858,5 $\pm$ 8,1	1188,0 $\pm$ 50,4^	1116,0 $\pm$ 111,6^	301,5 $\pm$ 54,9	339,3 $\pm$ 49,5	11723,4 $\pm$ 47,7
	int ver (n=2)	6961,5 $\pm$ 279,9^	1896,3 $\pm$ 11,7	1187,1 $\pm$ 33,3	918,9 $\pm$ 24,3^	295,2 $\pm$ 39,6	286,2 $\pm$ 71,1	11546,1 $\pm$ 380,7
MF	nat gew (n=7)	6787,8 $\pm$ 252,9»	1860,3 $\pm$ 278,1	1277,1 $\pm$ 179,1	936,0 $\pm$ 174,6	327,6 $\pm$ 91,8	225,9 $\pm$ 121,5	11408,4 $\pm$ 450,9
	nat ver (n=7)	6745,5 $\pm$ 256,5	1865,7 $\pm$ 131,4	1287,9 $\pm$ 214,2	966,6 $\pm$ 182,7	306,0 $\pm$ 85,5	218,7 $\pm$ 76,5	11390,4 $\pm$ 434,7
	int gew (n=6)	6869,7 $\pm$ 365,4»	1827,0 $\pm$ 368,1	1264,5 $\pm$ 235,8	1071,0 $\pm$ 235,8	305,1 $\pm$ 149,4	207,9 $\pm$ 108,9	11459,7 $\pm$ 696,6
	int ver (n=7)	6883,2 $\pm$ 349,2,1	1813,5 $\pm$ 247,5	1174,5 $\pm$ 165,6	926,1 $\pm$ 110,7	284,4 $\pm$ 92,7	241,2 $\pm$ 174,6	11290,5 $\pm$ 625,5
ST	nat gew (n=3)	6665,4 $\pm$ 90,9#	1466,1 $\pm$ 378,0	995,4 $\pm$ 223,2	979,2 $\pm$ 195,3	394,2 $\pm$ 77,4	374,4 $\pm$ 138,6	10873,8 $\pm$ 905,4
	nat ver (n=3)	6483,5 $\pm$ 72,7#	1475,7 $\pm$ 459,7	1137,4 $\pm$ 431,7	983,5 $\pm$ 203,2	376,0 $\pm$ 98,7	275,4 $\pm$ 116,7	10731,2 $\pm$ 1126,3
	int gew (n=3)	6618,6 $\pm$ 52,2	1537,2 $\pm$ 423,0	1084,5 $\pm$ 314,1	1047,6 $\pm$ 278,1	485,1 $\pm$ 129,6	369,9 $\pm$ 96,3	11142,9 $\pm$ 1071,9
	int ver (n=3)	6740,1 $\pm$ 288,9#	1539,0 $\pm$ 526,5	1081,8 $\pm$ 320,4	987,3 $\pm$ 168,3	335,7 $\pm$ 137,7	259,2 $\pm$ 139,5	10943,1 $\pm$ 1235,7

Signifikante Unterschiede:

IV: 0-11,0 km/h int gew-nat gew und int gew-int ver, >11,0-14,0 km/h nat gew -nat ver \* markiert eine signifikante Differenz (p<0,05)

AV: 0-11,0 km/h int gew-nat ver und nat ver-int ver, >14,0-17,0 km/h int gew-nat ver, >17,0-21,0 km/h int gew-nat gew und int gew-int ver ^ markiert

MF: 0-11,0 km/h von int gew-nat gew » markiert eine signifikante Differenz (p<0,05)

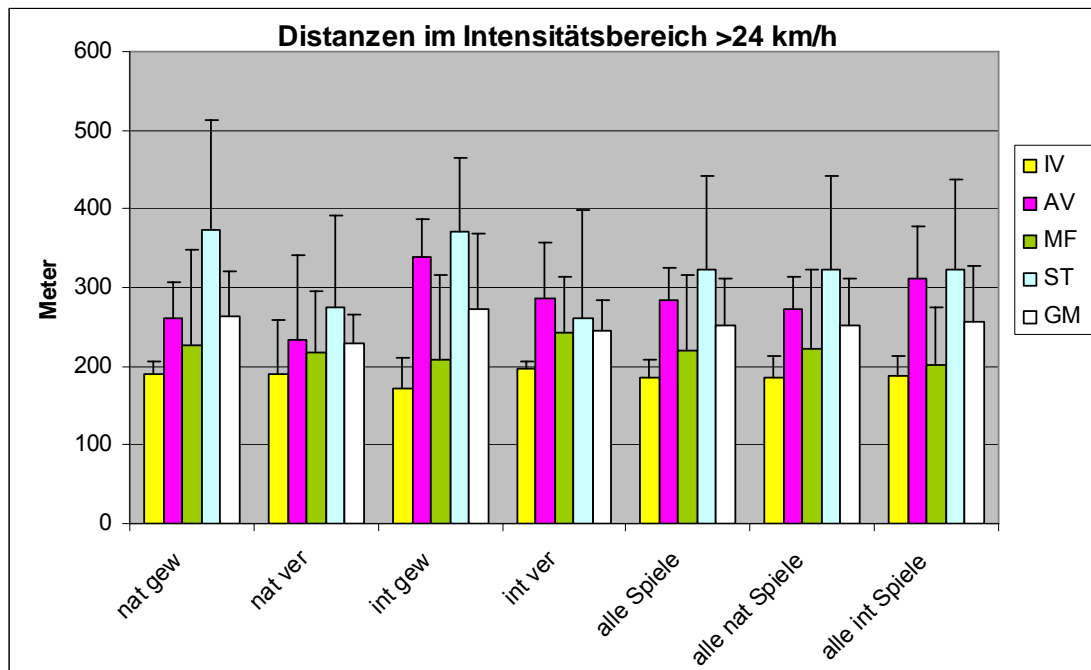
ST: 0-11 km/h von nat gew-int ver bzw. nat gew-nat ver # markiert eine signifikante Differenz (p<0,05)

### 1.5.3. Laufdistanzen im Bereich höchster Intensitäten

Im Geschwindigkeitsbereich >24,0 km/h unterscheiden sich die Distanzwerte der Positionen statistisch nicht signifikant.

Bei der Untersuchung der Gruppenunterschiede in diesem Intensitätsbereich wurden die Ergebnisse der einzelnen Spielergruppen sowie der Gesamtmannschaft hinsichtlich der Kategorien Erfolg, gewonnene oder verlorene Spiele und Ebene, nationale oder internationale Spiele, differenziert. Entsprechend ergeben sich Mittelwerte für die sieben Teilkategorien, national gewonnene Spiele, national verlorene Spiele, international gewonnene Spiele, international verlorene Spiele, alle absolvierten Spiele, alle nationalen Spiele und alle internationalen Spiele. Von allen lassen sich die Mittelwerte des Intensitätsbereiches von >24,0 km/h, wie in

Abbildung 4 zu sehen ist, darstellen. Dabei ist zu beachten, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede vorliegen.



**Abbildung 4** Darstellung der Distanzen im Intensitätsbereich >24,0 km/h, Angabe des MW  $\pm$  se der Laufdistanzen je Kategorie und Ebene [m]<sup>111</sup>.

In Tabelle 16 sind die berechneten Mittelwerte des Intensitätsbereiches von >24,0 km/h differenziert nach den sieben möglichen Kategorien unter Einbeziehung der Durchschnittsdistanzen aller Spiele, aller nationalen und internationalen gewonnenen, verlorenen und unentschiedenen Spiele, dargestellt. Die Mittelwerte der Kategorien „national gewonnen“ und „national verloren“ sowie „international gewonnen“ und „international verloren“ berücksichtigen indes naturgemäß nur die gewonnenen und verlorenen Spiele.

**Tabelle 16** Distanzen des Intensitätsbereiches >24,0 km/h [m];  
Angabe des MW  $\pm$  s [m] sowie der Gruppengröße n<sup>111</sup>.

Gruppe	Intensitätsbereich >24,0 km/h						
	national gewonnen [m]	national verloren [m]	International gewonnen [m]	international verloren [m]	Alle absolvierten Spiele [m]	Alle nationalen Spiele [m]	Alle Internationalen Spiele [m]
N	5	5	4	4	5	5	5
IV	190,1 $\pm$ 16,3	189,9 $\pm$ 68,6	172,2 $\pm$ 38,9	198,2 $\pm$ 7,8	185,8 $\pm$ 2 2,7	185,9 $\pm$ 25,8	187,7 $\pm$ 25,7
N	3	4	2	2	4	4	2
AV	262,3 $\pm$ 43,8	232,9 $\pm$ 109,4	339,1 $\pm$ 49,3	286,1 $\pm$ 71,3	274,8 $\pm$ 42,2	272,5 $\pm$ 40,4	311,1 $\pm$ 67,8
N	7	7	6	7	7	7	7
MF	226,0 $\pm$ 121,3	218,4 $\pm$ 76,7	208,3 $\pm$ 108,6	241,6 $\pm$ 72,4	219,4,0 $\pm$ 97,7	221,3 $\pm$ 102,9	201,7 $\pm$ 72,9
N	3	3	3	3	3	3	3
ST	374,4 $\pm$ 138,4	275,4 $\pm$ 116,7	370,2 $\pm$ 96,0	259,6 $\pm$ 139,4	323,9 $\pm$ 116,9	323,3 $\pm$ 118,7	323,3 $\pm$ 113,5
N	18	19	15	17	19	19	17
GM	263,2 $\pm$ 79,8	229,4 $\pm$ 35,7	272,5 $\pm$ 96,9	246,9 $\pm$ 37,0	251,7 $\pm$ 61,1	251,3 $\pm$ 59,8	256,5 $\pm$ 70,6

Die Spielergruppe IV läuft ihr Minimum in der Kategorie „international gewonnen“ und ihr Maximum in der Kategorie „international verloren“.

Die Spieler der Gruppe AV sprinten im höchsten Intensitätsbereich in der Kategorie „national verloren“ die geringste Distanz und in der Kategorie „international gewonnen“ die größte Distanz.

Die Spielergruppe MF läuft ihr Distanzminimum in der Kategorie „international gewonnene Spiele“. Ihr Maximum absolvieren die Spieler dieser Gruppe in der Kategorie „international verloren“.

Die Gruppe ST weist die geringste Laufdistanz in der Kategorie „international verloren“ auf. Das Maximum läuft diese Spielergruppe im Bereich „national gewonnen“.

Für die Gesamtmannschaft gilt, dass das Minimum an Sprintdistanz in der Kategorie national verlorener Spiele zu finden ist und das Maximum im Bereich von >24,0 km/h in der Kategorie „international gewonnen“.

#### 1.5.4. Bundesligamannschaft vs. Premier League-Team

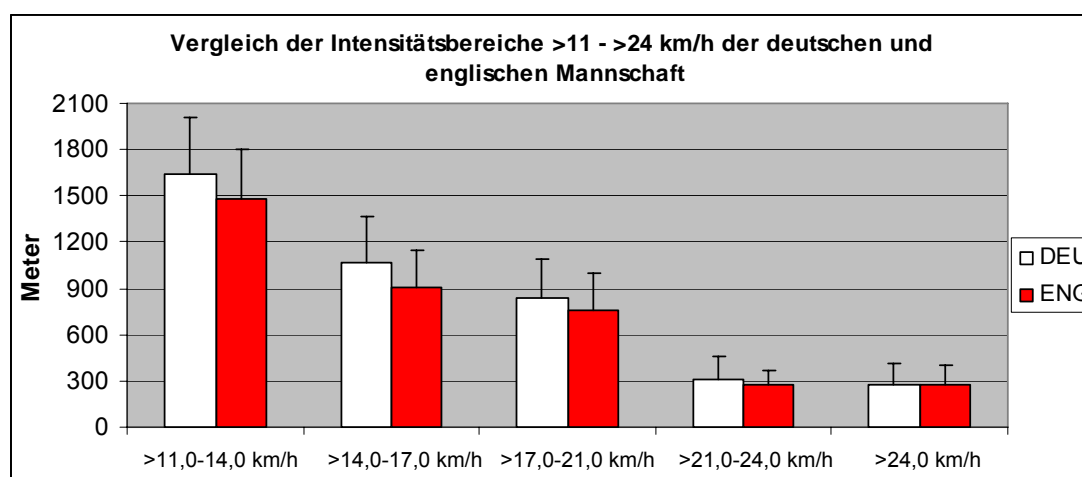
In Tabelle 17 sind die Durchschnittswerte der untersuchten Mannschaften aus Deutschland denen aus England gegenübergestellt. Die Werte der deutschen Mannschaft sind weiß hinterlegt, die der englischen Mannschaft rot.

**Tabelle 17** Vergleich einer deutschen mit einer englischen ProfimannschaftAngaben der Mannschaftsmittelwerte  $\bar{x} \pm s$  [m]<sup>111</sup>.

Mannschaft	0-11,0 km/h [m]	>11,0-14,0 km/h [m]	>14,0-17,0 km/h [m]	>17,0-21,0 km/h [m]	>21,0-24,0 km/h [m]	>24,0 km/h [m]	Gesamtdistanz [m]
DEU	6810,5 ± 212,5	1641,5 ± 362,0	1065,0 ± 302,9	832,7 ± 261,2	309,0 ± 155,5	275,6 ± 141,1	10934,1 ± 858,0
ENG	6754,4 ± 221,4	1476,2 ± 335,3	911,7 ± 236,5	758,4 ± 240,5	274,6 ± 83,4	274,9 ± 124,7	10452,6 ± 819,0

Die englische Mannschaft legt im Mittel, mit Ausnahme des Bereiches mit der höchsten Geschwindigkeit >24,0 km/h, durchgehend geringere Laufdistanzen zurück als die deutsche Mannschaft. Im höchsten Intensitätsbereich von >24,0 km/h, dem Sprintbereich, jedoch legen die Engländer pro Spiel eine annähernd gleich hohe Strecke zurück als die Deutschen.

Die Abbildung 5 zeigt in einem Vergleichsdiagramm die in Tabelle 17 gegenübergestellten Mannschaftsmittelwerte der deutschen (weiß) und der englischen (rot) Mannschaft. Dabei wird deutlich, dass die deutsche Mannschaft in allen Bereichen bis >21,0-24,0 km/h eine größere Distanz zurücklegt.

**Abbildung 5** Vergleich der Mittelwerte der Intensitätsbereiche >11,0-14,0 km/h - >24,0 km/h. der deutschen und englischen Mannschaft [m], Angabe der MW  $\pm s$  [m]<sup>111</sup>.

## 1.6. Diskussion

Ziel dieser Studie war es, die unterschiedlichen Laufprofile bzw. Laufdistanzen in verschiedenen Intensitätsbereichen im Profifußball zu erfassen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen eine mittlere Gesamtdistanz aller Spieler von insgesamt  $10787 \pm 486$  m auf (bei einem Minimum von 8331 m und einem Maximum von 13300 m).

Die Tabelle 18 zeigt eine Übersicht über die Ergebnisse der absolvierten Studie. Es sind Laufdistanzwerte im Minimum, Maximum der jeweiligen Gruppen sowie der Mittelwert und die Streuung der gesamten Mannschaft für die verschiedenen Intensitäten.

**Tabelle 18** Verschiedene Darstellungsformen der Ergebnisse der vorliegenden Studie  
Angabe der Minima, Maxima und des Gesamtmittelwertes; Distanz sowie Zeit auf anteilige Prozentzahl umgerechnet<sup>111</sup>.

Minimum – Maximum der Laufdistanzen in verschiedenen Darstellungen												
Intensität	Distanzbereiche			Zeitbereiche			Anteil an einer Spielzeit von 90min			Anteil an der Gesamtdistanz		
	Min [m]	MW [m]	Max [m]	Min [sec]	MW [sec]	Max [sec]	Min [%]	MW [%]	Max [%]	Min [%]	MW [%]	Max [%]
0-11,0 km/h	6553	6724 ± 140	6885	3528	3631 ± 76	3718	65	67 ± 1	69	65	62 ± 1	57
>11,0-14,0 km/h	1472	1604 ± 175	1879	795	866 ± 95	1015	15	16 ± 2	19	15	15 ± 2	16
>14,0-17,0 km/h	922	1070 ± 142	1264	498	578 ± 77	683	9	11 ± 1	13	9	10 ± 1	11
>17,0-21,0 km/h	672	846 ± 145	979	363	457 ± 78	529	7	8 ± 1	10	7	8 ± 1	8
>21,0-24,0 km/h	229	300 ± 68	385	124	162 ± 37	208	2	3 ± 1	4	2	3 ± 1	3
>24,0 km/h	186	251 ± 61	324	100	136 ± 33	175	2	3 ± 1	3	2	2 ± 1	3

Zur Analyse der vorliegenden Daten sind mehrfaktorielle Varianzanalysen und ein folgender Mittelwertvergleichstest („Duncan-Test“) durchgeführt worden. Hierbei ergaben sich folgende Ergebnisse zu den einzelnen Hypothesen.

Zur Hypothese 1 „Bei den Laufdistanzen in den verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen bezogen auf die Spielpositionsgruppen gibt es bei gewonnenen und verlorenen Spielen keine signifikanten Unterschiede“:

Die Hypothese kann mit dem vorliegenden Datensatz nicht widerlegt werden. Der Vergleich der Distanzen ergibt ein unausgeglichenes Bild der Gruppen. Hierbei unterscheiden sich einige Werte der AV (>11,0-14,0 km/h, >14,0-17,0 km/h, >17,0-21,0 km/h) und ST (0-11,0 km/h, >14,0-17,0 km/h) signifikant und zeigen so Unterschiede von gewonnenen zu verlorenen Spielen auf. Für die Gruppen der IV

und MF lassen sich keine signifikanten Unterschiede nachweisen. Bei verlorenen Spielen legen die AV eine signifikant größere Distanz in den mittleren Bereichen von >14,0-17,0 km/h und >17,0-21,0 km/h zurück. Es findet wohl eine Verlagerung der niedrigen und oberen Intensitäten bei verlorenen Spielen in dieses mittlere Intervall statt. Es wird vermutet, dass hierbei taktische Zwänge oder der Offensivdruck des Gegners einen Einfluss auf die AV hat, da die hochintensiven Bereiche tendenziell eine höhere Distanz bei gewonnenen Spielen aufweisen und somit bei gewonnenen Spielen für vermehrte Offensivaktionen dieser Gruppe sprechen.

Die Distanzen des MF sind bei gewonnenen und verlorenen Spielen auf dem gleichem Niveau angesiedelt. Dies ist wohl aufgrund der verbindenden Rolle von Defensive und Offensive der Fall.

Die ST weisen größere Distanzen in gewonnenen Spielen im Bereich 0-11,0 km/h auf. In verlorenen Spielen laufen die ST im Bereich >14,0-17,0 km/h deutlich mehr Distanz.

Zur Hypothese 2 „Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Laufdistanzen der verschiedenen Positionsgruppen bei nationalen und internationalen Spielen“:

Diese Hypothese kann mit den analysierten Daten in einigen Teilbereichen widerlegt werden. So haben die IV bei international gewonnenen Spielen im Geschwindigkeitsintervall 1 eine signifikant größere Strecke zurückgelegt als bei national gewonnenen und international verlorenen Spielen. Im „modernen, internationalen“ Fußball spielt der „Tempo“- Fußball eine entscheidende Rolle. Der Ball wird innerhalb der Mannschaft schneller zirkuliert. Die Phase des Ballbesitzes jedes einzelnen Spielers ist kürzer, wodurch sich das Spieltempo und die Laufdistanz erhöht. Im Geschwindigkeitsintervall 2 hingegen wurde in national verlorenen Spielen eine signifikant längere Distanz gelaufen als in international gewonnenen. Dass bei den verlorenen Spielen höhere Distanzen zurückgelegt werden, könnte mit dem fehlerhaften gruppentaktischen und individualtaktischen Verhalten, wie dem Stellungsspiel, zusammenhängen.

Die Abstände zwischen den Innenverteidigern sind zu groß, die innere Linie zum Tor – der direkte Weg zum Tor ist nicht zugestellt, fehlende Aufmerksamkeit und Antizipation könnten Anlass dazu sein, warum es bei den verlorenen Spielen zu höheren Laufdistanzen kommt.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch innerhalb der anderen Positionsgruppen (Außenverteidiger, Mittelfeld und Stürmer).

In den übrigen Geschwindigkeitsintervallen gab es für die IV keine signifikanten Unterschiede in den Laufdistanzen zwischen den vier Spielkategorien. Die AV sind im Geschwindigkeitsintervall bei international verloren und international gewonnen signifikant höhere Strecken gelaufen als bei national verloren. Im Geschwindigkeitsintervall 3 war die Laufdistanz bei national verloren signifikant höher als bei international gewonnen und im Geschwindigkeitsintervall 4 war sie bei international gewonnen signifikant größer als bei national gewonnen und international verloren. Bei den MF und ST wurden jeweils nur innerhalb von Geschwindigkeitsintervall 1 signifikante Unterschiede festgestellt. Bei den MF wurde bei international gewonnen eine signifikant höhere Distanz zurückgelegt als bei national gewonnen. Die ST hatten bei international verloren signifikant mehr Meter zurückgelegt als bei national gewonnen und dort wiederum signifikant mehr als bei national verloren.

Zur Hypothese 3 „Im Laufdistanzvergleich der Positionsgruppen gibt es bei Läufen mit höchster Intensität ( $> 24,0$  km/h) keine signifikanten Unterschiede“:

Sie wird mit den vorliegenden Ergebnissen nicht widerlegt, es können keine signifikanten Unterschiede der Gruppen oder gruppeninterne Unterschiede in den einzelnen Teilkategorien aufgezeigt werden.

Der Bereich Sprint, Schnelligkeit oder Läufe mit höchster Intensität wird häufig als leistungslimitierender Faktor erwähnt.

Anhand dieser Studie wird nicht deutlich, dass die gelaufene Distanz mit höchster Intensität den entscheidenden Erfolgsparameter darstellt. Die Schnelligkeit hat unter den konditionellen Leistungsvoraussetzungen im Fußball eine große Bedeutung. Neben der Distanz gibt es aber auch andere leistungsbestimmende Schnelligkeitsanforderungen, wie z. B. die Reaktionsschnelligkeit. Im Fußball treten oft komplexe Situationen auf, indem ein Spieler in der Lage sein muss, schnell zu reagieren, um somit die richtige Anschlussaktion wählen zu können und situationsgerechte Entscheidungen zu treffen. Bedeutsam ist hierbei die Wahrnehmungs- und Entscheidungsschnelligkeit.

Neben den physischen Eigenschaften spielen aber auch gruppentaktische Maßnahmen wie z. B. das schnelle Umschalten von Abwehr auf Angriff und

umgekehrt oder die Sicherheit im Passspiel, bei der Ballannahme und in der Spielfortsetzung, worauf hier nicht näher eingegangen wird, ein tragende Rolle.

Um zukünftig eine bessere Aussage über die Relevanz der Laufdistanz im Bereich höchster Intensität treffen zu können, sollten umfangreichere Studien mit einer größeren Stichprobe erfolgen.

Zur Hypothese 4 „Zwischen einer Spitzenmannschaft aus der Bundesliga und einer aus der Premier League gibt es hinsichtlich der Laufdistanz keine signifikanten Unterschiede“ Auch hier kann unter Berücksichtigung des analysierten Datensatzes die Hypothese nicht widerlegt werden. Dabei laufen die deutsche und englische Mannschaft Distanzen auf einem gleich hohen Niveau. Im Bereich  $>24,0$  km/h beispielsweise 275,6 – 274,9 m, für die Gesamtdistanz ca. 10,5 – 10,9 km. Vergleicht man die Ergebnisse des Gesamtmittelwertes aller Spiele der deutschen mit denen der englischen Mannschaft, so liegen die Distanzen auch hier auf einem ähnlichen Niveau.

### **1.7. Fazit und Ausblick**

Die in der Presse oft vertretene Ansicht, englische Spitzenmannschaften würden ein höheres Laufpensum zurücklegen, kann zumindest mit dem hier vorliegenden Datensatz nicht bestätigt werden. Es ist natürlich darauf hinzuweisen, dass die Analyse eines einzigen Spiels nicht mögliche allgemeine, nationale Muster im Spielverhalten verifizieren oder falsifizieren kann. Die Werte der Deutschen Bundesligaspieler liegen im Vergleich der untersuchten Laufprofile zur englischen Premiere League auf einem ähnlichen Niveau.

Jedoch wurden höhere Werte der Gesamtdistanz sowie der hochintensiven Bereiche bei den Deutschen Bundesligaspielern bei der vorliegenden Studie ermittelt (s. Tab. 17).

Um den Parameter der Laufdistanzen auf Erfolg nachweisen zu können, sollten weiterführende Untersuchungen mit einem Vergleich einer gesamten Saison bzw. mehrerer Spielzeiten mit größerer Stichprobe stattfinden.

Bei dem Bereich hoher Intensitäten bzw. höchster Intensitäten sollte der qualitative Aspekt eine größere Rolle spielen, Was bisher nicht ermittelt wurde, sind die einzelnen Höchstgeschwindigkeiten und Distanzen bei den einzelnen Beschleunigungen.



## **2. Evaluierung von Laufdistanzen in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen im Profifußball**

### **2.1. Methodik**

#### **2.1.1. Datenherkunft**

Als Untersuchungsgut dienten 36 Fußballspieler. Davon gehörten 25 Spieler dem Lizenzkader und weitere elf Spieler dem Perspektivkader an. Die elf Perspektivkaderspieler setzten sich aus besten Spielern der zweiten Mannschaft (Regionalliga Nord), A-Junioren (Bundesliga West) und B-Junioren (Regionalliga West) zusammen. Die Gruppe der Perspektivkaderspieler bestand aus einem Torhüter, einem Innenverteidiger, zwei Außenverteidigern sowie zwei Mittelfeldspielern und fünf Stürmern. Der 25 Spieler starke Profikader bestand aus drei Torhütern, fünf Innenverteidigern, sechs Außenverteidigern, sieben Mittelfeldspielern und vier Stürmern.

#### **2.1.2. Messsystem**

Das Messsystem entspricht dem in Kapitel „Laufprofile im Fußball“.

#### **2.1.3. Messtechnik**

Die Messtechnik entspricht ebenfalls der des Kapitels „Laufprofile im Fußball“.

#### **2.1.4. Untersuchungsgut**

Die zur Auswertung herangezogenen Werte im Bereich der Laufdistanzen und Geschwindigkeitsintervalle sind aus den acht Heimspielen der Hinrunde 2006/2007 mit der Analysesoftware „Amisco Pro“ ermittelt worden.

Zur Erfassung der zurückgelegten Laufstrecken wurden diese zunächst in folgende sechs Geschwindigkeitsbereiche unterteilt:

- Intervall 1 „Traben“: 0-11,0 km/h
- Intervall 2 „Joggen“: 11,1-14,0 km/h
- Intervall 3 „Moderates Laufen“: 14,1-17,0 km/h

- Intervall 4 „Schnelles Laufen“: 17,1-21,0 km/h
- Intervall 5 „Rennen“: 21,1-24,0 km/h
- Intervall 6 „Sprinten“: >24,0 km/h

## 2.2. Statistische Verfahren

Die erzielte Laufdistanz [m] wurde durch die Summe der Spielminuten in den acht Spielen der Hinrunde ( $\text{min}_8$ ) geteilt, so dass für jeden Feldspieler eine mittlere Laufdistanz (mL) pro Geschwindigkeitsintervall zur Analyse herangezogen werden konnte. Diese wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{mL} = m \cdot \text{min}_8^{-1}$$

Die Untersuchungsergebnisse wurden mit der Computersoftware „STATISTICA 7.1“ statistisch ausgewertet und zum Teil grafisch dargestellt. Zur Erhebung der Beziehungen zwischen den Parametern wurde der Pearson'sche Korrelationskoeffizient verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt. Die Anwendungsvoraussetzungen für die korrelationsstatistischen Verfahren (Normalverteilung, Homogenität der Varianz) wurden geprüft und waren vorhanden.

## 2.3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse beschrieben. Die labordiagnostischen Tests wurden sowohl mit den Lizenzkaderspielern als auch mit den Perspektivkaderspielern eines Fußball-Bundesligisten erhoben. Hier leitet sich durch den Ausschluss von Daten mit Messfehlern für die einzelnen Ergebnisse eine unterschiedliche Probandenzahl ab ( $n = 30$ ;  $n = 29$ ;  $n = 34$ ).

### 2.3.1. Zusammenhänge zwischen den einzelnen mittleren Laufdistanzen

Die folgenden Daten beziehen sich ausschließlich auf die eingesetzten Feldspieler des Lizenzkaders (n = 17) einer Bundesligamannschaft.

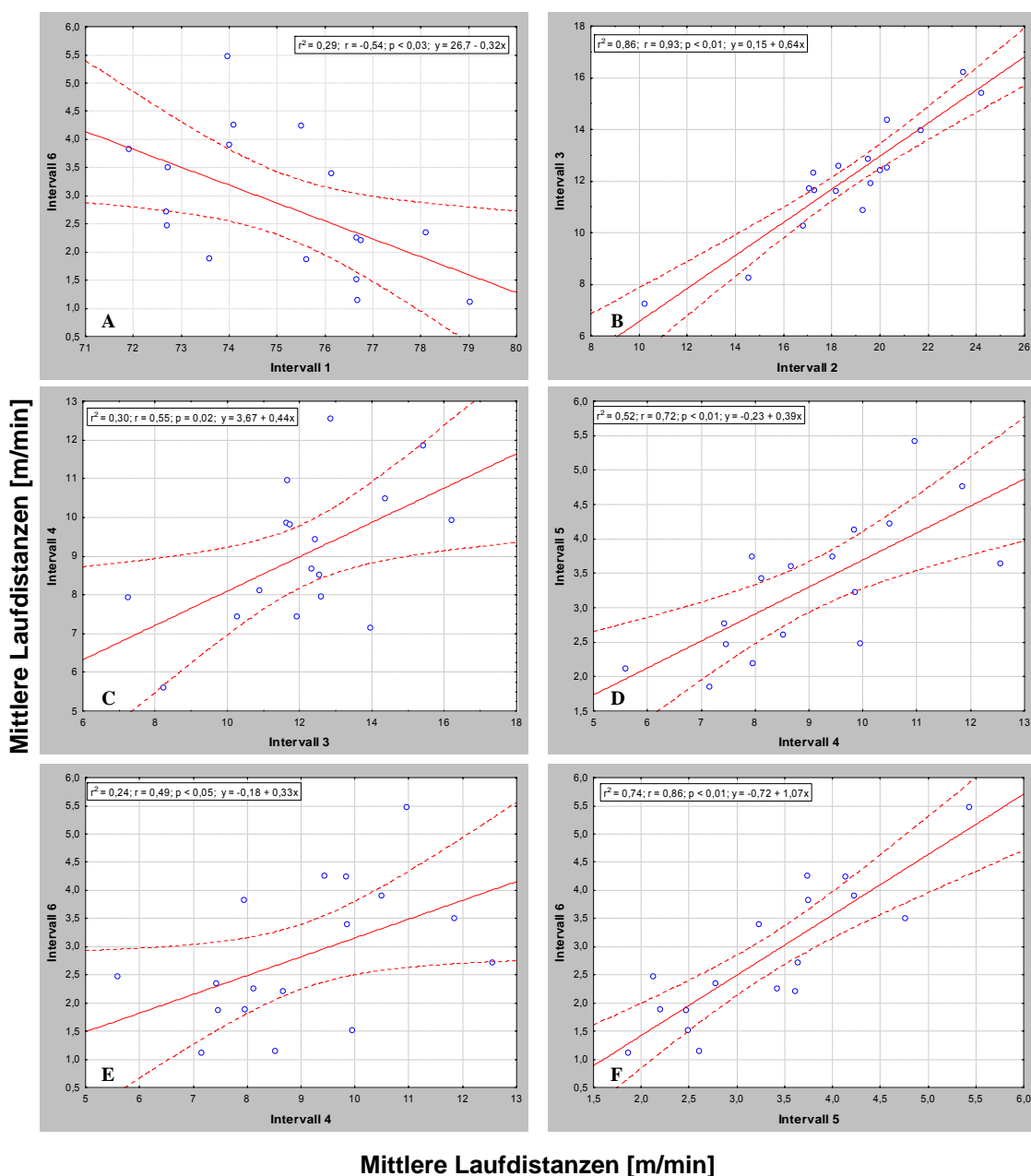
Die mittleren Laufdistanzen (mL) korrelierten untereinander signifikant jeweils mit dem nächst höherem Geschwindigkeitsintervall (Tab. 19)

**Tabelle 19** Korrelationskoeffizienten r zwischen den mittleren Laufdistanzen pro Spielminute in sechs Geschwindigkeitsintervallen.

Mit Stern markierte Koeffizienten sind statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ).

Mittlere Laufleistung (m/min) pro Geschwindigkeitsintervall	Intervall 1 0-11 km/h	Intervall 2 11,1-14 km/h	Intervall 3 14,1-17 km/h	Intervall 4 17,1-21 km/h	Intervall 5 21,1-24 km/h	Intervall 6 >24 km/h
Intervall 1 0-11km/h	1,00	0,39	0,30	-0,32	-0,43	*-0,53
Intervall 2 11,1-14km/h	0,39	1,00	*0,93	0,42	-0,02	-0,28
Intervall 3 14,1-17 km/h	0,30	*0,93	1,00	*0,55	0,09	-0,17
Intervall 4 17,1-21 km/h	-0,32	0,42	*0,55	1,00	*0,72	*0,49
Intervall 5 21,1-24 km/h	-0,43	-0,02	0,09	*0,72	1,00	*0,86
Intervall 6 >24 km/h	*-0,53	-0,28	-0,17	*0,49	*0,86	1,00

Lediglich zwischen Intervall 1 und 2 konnte keine signifikante Beziehung zwischen den mL festgestellt werden ( $p > 0,05$ ).



**Abbildung 6 A** Beziehung der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 1 (0-11,0 km/h) und Intervall 6 (>24,0 km/h). Die Abbildung zeigt eine negative Korrelation mit  $r = -0,53$ ;  $p < 0,05$ .

**Abbildung 6 B** Zusammenhang der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 2 (11,1-14 km/h) und Intervall 3 (14,1-17,0 km/h). Die Abbildung stellt eine positive Korrelation mit  $r = 0,93$  und  $p < 0,01$  dar.

**Abbildung 6 C** Relation der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 3 (14,1-17,0 km/h) und Intervall 4 (17,1-21,0 km/h). Der Korrelationskoeffizient ist mit  $r = 0,55$  positiv und  $p < 0,05$  signifikant.

**Abbildung 6 D** Zusammenhang der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 4 (17,1-21,0 km/h) und Intervall 5 (21,1-24,0 km/h). Die Abbildung zeigt eine positive Korrelation mit  $r = 0,72$  und  $p < 0,01$ .

**Abbildung 6 E** Beziehung der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 4 (17,1-21,0 km/h) und Intervall 6 (>24,0 km/h). Die Abbildung stellt eine positive Korrelation mit  $r = 0,49$  und  $p < 0,05$  dar.

**Abbildung 6 F** Zusammenhang der mittleren Laufdistanzen zwischen Intervall 5 (11,1-14,0 km/h) und Intervall 6 (14,1-17,0 km/h). Der Korrelationskoeffizient ist mit  $r = 0,86$  positiv und  $p < 0,01$  signifikant.

Die zurückgelegte Distanz im Intervall 1 korrelierte negativ mit  $r = -0,53$ ;  $p < 0,05$  (Abb. 6 A) mit der mL im Intervall 6. Der stärkste Zusammenhang mit  $r = 0,93$ ;  $p < 0,01$  (Abb. 6 B) unter den mittleren Laufdistanzen wurde zwischen den Intervallen 2

und 3 gemessen. Die Korrelation zwischen dem 3. und dem 4. Intervall war hingegen mit  $r = 0,55$ ;  $p < 0,05$  deutlich geringer (Abb. 6 C), jedoch zeigten die mL in diesem Intervall außerdem Korrelationen zu Intervall 5 mit  $r = 0,72$ ;  $p < 0,01$  (Abb. 6D) und Intervall 6 mit  $r = 0,49$ ;  $p < 0,05$  (Abb. 6 E). In den beiden höchsten Geschwindigkeitsintervallen 5 und 6 war ein größerer Zusammenhang der mittleren Laufdistanzen festzustellen mit  $r = 0,86$ ;  $p < 0,01$  (Abb. 6 F).

### **2.3.2. Vergleich der mittleren Laufdistanz mit dem Analysesystem Amisco Pro**

Bisher wurden lediglich in einer Studie<sup>36</sup> die Daten des Analysesystems „Amisco Pro“ im Bereich der Spielanalyse quantitativ ausgewertet und publiziert. Die aktuellen Werte von di Salvo et al. (2007) wurden aufgearbeitet, um diese mit den Daten der vorliegenden Arbeit vergleichen zu können. Dazu wurden von 300 Spielern die mittleren Laufdistanzen während 30 Fußballspielen in der Saison 2002/2003 und 2003/2004 durch 90 Spielminuten dividiert (Tab. 20), um die unterschiedlichen Einsatzzeiten der Spieler zu berücksichtigen.

**Tabelle 20** Mittlere Laufdistanzen  $\pm$  Standardabweichung in verschiedenen Geschwindigkeitsintervallen in Fußballspielen in der Primera División und 1. Fußball-Bundesliga. Die abgebildeten Werte basieren auf dem Spielanalysesystem „Amisco Pro“ und beziehen sich auf die Untersuchung von di Salvo et al. (2007) (hellgrau) und der eigenen Untersuchung (dunkelgrau). Die mit Stern markierten Werte stellen die Ergebnisse in identischen Geschwindigkeitsintervallen in beiden Untersuchungen dar.

<b>Geschwindigkeitsintervall</b>	<b>Di Salvo et al. (Primera División)</b>	<b>Eigene Untersuchung (1. Fußball-Bundesliga)</b>
0-11 km/h	*83,1 $\pm$ 5,0 m/min	*75,1 $\pm$ 2,1 m/min
11,1-14 km/h	*9,2 $\pm$ 2,1 m/min	*18,7 $\pm$ 3,3 m/min
14,1-17 km/h	/	12,1 $\pm$ 2,3 m/min
14,1-19 km/h	9,4 $\pm$ 1,6 m/min	/
17,1-21 km/h	/	9,0 $\pm$ 1,8 m/min
19,1-23 km/h	2,3 $\pm$ 1,3 m/min	/
21,1-24 km/h	/	3,3 $\pm$ 1,0 m/min
>23 km/h	1,9 $\pm$ 1,1 m/min	/
>24 km/h	/	2,8 $\pm$ 1,2 m/min
<b>Insgesamt</b>	<b>*106,0 <math>\pm</math> 11,0 m/min</b>	<b>*121,1 <math>\pm</math> 11,6 m/min</b>

Die Mittelwertbetrachtung (Tab. 20) deutscher und spanischer Fußballprofis zeigt, dass die Probanden der 1. Bundesliga ca. 15 Meter pro Spielminute mehr zurücklegen als Spieler auf vergleichbaren Positionen aus Spanien. Dabei weisen die Bundesligaspieler im Intervall 1 (0-11,0 km/h) eine deutlich niedrigere Gesamtdistanz als die spanischen Spieler auf. Der Vergleich in den folgenden Intervallen zeigt aber, dass die Probanden der 1. Bundesliga mit zunehmender Fortbewegungsgeschwindigkeit größere Distanzen pro Spielminute zurücklegen und so diese Differenz kompensieren. Besonders hervorzuheben ist, dass sie im Intervall 2 (11,1-14,0 km/h) die doppelte Strecke pro Zeit, verglichen mit den spanischen Fußballspielern, absolvieren. Auf der Basis dieser Daten ist zurzeit naturgemäß noch keine allgemeine, vergleichende Aussage über das Laufverhalten der spanischen Primera División und der Deutschen Bundesliga möglich. Es sind jedoch weitere umfangreiche Datensätze vorhanden, die angesichts der hier geschilderten ersten Tendenzen intensivere Auswertungen als sinnvoll erscheinen lassen.

## 2.4. Diskussion der Ergebnisdarstellung

Die positiven Korrelationen zwischen den Geschwindigkeitsintervallen 2 (11,1–14,0 km/h) und 3 (14,1–17,0 km/h), 3 (14,1-17,0 km/h) und 4 (17,1-21,0 km/h), 4 (17,1-21,0 km/h) und 5 (21,1-24,0 km/h) sowie 5 (21,1-24,0 km/h) und 6 (>24,0 km/h) verdeutlichen, dass Spieler, die sich vorwiegend im niedrigeren der beiden Geschwindigkeitsbereiche bewegen, auch den nächst höheren Bereich bevorzugen. Darüber hinaus zeigt die positive Korrelation zwischen dem 4. (17,1-21,0 km/h) und 6. (>24,0 km/h) Geschwindigkeitsintervall, dass auch Spieler, die sich überwiegend im Geschwindigkeitsbereich zwischen 17,1-21,0 km/h aufhalten, besonders auch im Bereich > 24km/h zu finden sind. Hingegen zeigt die negative Korrelation zwischen den Geschwindigkeitsintervallen 1 (0-11,0 km/h) und 6 (>24,0 km/h), dass Spieler, die sich vornehmlich im Bereich zwischen 0-11,0 km/h bewegen, sich selten in dem Höchstgeschwindigkeitsbereich aufhalten und umgekehrt. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass einzelne Spieler bestimmte Geschwindigkeitszonen (hoch-mittel-niedrig) mit den verbundenen Laufstrecken bevorzugen. Auf diese Weise sind individuelle Charakterisierungen möglich, die bis dato mit anderen Spielbeobachtungssystemen nicht erstellt werden konnten. Daraus lassen sich unmittelbar Konsequenzen für die bessere Beurteilung der Spielerleistung und das Training ableiten.

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die zurückgelegte Gesamtstrecke und die Laufdistanzen in bestimmten Geschwindigkeitszonen stellt naturgemäß die Ausdauerleistungsfähigkeit der Spieler dar <sup>7;64;116</sup>. Die Messung der aeroben-anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeiten von Leistungsfußballspielern, wie z. B. die maximal erreichte Geschwindigkeit bei einem Feldstufentest, zeigt eine deutliche Korrelation zu der gesamten mittleren Laufdistanz und zu jener in den einzelnen Geschwindigkeitsbereichen <sup>104</sup>. Besonders relevant sind die Durchschnittsgeschwindigkeit bei einem „6x20-Meter-Linearsprinttest“ <sup>104</sup> sowie die erbrachte Leistung beim „Yo-Yo intermittent recovery test“ <sup>86;104</sup>, da diese Parameter als Indikatoren für die zurückgelegten Laufdistanzen in einem Spiel dienen könnten. Die Größe der mittleren Laufdistanz pro Spielminute in den Geschwindigkeitsintervallen 1 bis 6 nimmt zwangsläufig mit zunehmender Fortbewegungsgeschwindigkeit ab <sup>36;134</sup>. Der Vergleich der mittleren Laufdistanz pro Spielminute in verschiedenen Geschwindigkeitsintervallen mit dem Spielanalysesystem „Amisco Pro“ weist jedoch unterschiedliche Ergebnisse in der

Studie von di Salvo et al.<sup>36</sup> und in dieser Untersuchung auf (Tab. 20). Diese lassen sich u. a. durch die unterschiedlich definierten Geschwindigkeitsintervalle erklären<sup>125</sup>. Die Abnahme der mittleren Laufleistung mit steigender Fortbewegungsgeschwindigkeit scheint somit abhängig zu sein von der Festlegung und Anzahl der Geschwindigkeitsintervalle<sup>36;132;123</sup>. Dennoch ist für die Spieler der Bundesliga eine deutlich höhere mittlere Gesamtlauflänge in den Geschwindigkeitsintervallen 2 und 6 (11,1-14,0 km/h und >24,0 km/h) im Vergleich zu den spanischen Fußballspielern festzustellen. Die größere zurückgelegte Laufstrecke der Probanden könnte zum einen durch die stetig gestiegenen physiologischen Anforderungen im Wettkampf<sup>104;123</sup>, zum anderen durch das körperbetontere Spiel in der Bundesliga im Vergleich zu der vermutlich eher taktisch geprägten Spielphilosophie in Spanien erklärt werden<sup>134</sup>.

Die zurückgelegte mittlere Laufdistanz pro Spielminute im „Sprinten“ ist negativ korreliert mit der mittleren Laufdistanz im „0-11,0 km/h“, d. h., dass eine hohe relative Laufdistanz mit niedriger Geschwindigkeit für die Sprintleistung in einem Fußballspiel nicht zwangsläufig förderlich ist. Ab Geschwindigkeitsintervall 2 ist zwischen der relativen Laufdistanz eine positive Korrelation zum nächst höheren Intervall zu beobachten. Fußballspieler, die also eine höhere relative Laufdistanz im „Joggen“ bis zum „Rennen“ erbringen, sind demnach auch in der Lage, höhere Distanzen in einer höheren Geschwindigkeit zu laufen. Sie verfügen anscheinend über größere Glykogenreserven im Skelettmuskelgewebe und eine bessere Regenerationsfähigkeit als andere Spieler, da ihre Leistung bei maximalen Sprints größer ist<sup>7;39;41</sup>.

## 2.5. Fazit und Ausblick

Ziel der Studie war es, anhand von Spielanalysen, Relationen und Zusammenhänge der mittleren Laufdistanzen in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen aufzuzeigen. Die vorliegende Untersuchung konnte eine deutlich höhere mittlere Gesamtlauflänge pro Spielminute deutscher Lizenzspieler gegenüber spanischen Profifußballspielern herausstellen. Eine statistische Absicherung ist aufgrund der fehlenden Rohdaten der spanischen Untersuchung nicht möglich. Die Analyse der Zusammenhänge der Gesamtlauflänge und mittleren Laufdistanzen mit maximaler Geschwindigkeit hat ergeben, dass eine negative Korrelation zwischen der zurückgelegten Laufdistanz mit geringster Fortbewegungsgeschwindigkeit (0-11,0



km/h) und maximaler Fortbewegungsgeschwindigkeit (>24,0 km/h) besteht. Das bedeutet, dass es offenbar klare Spieler bezogene Charakteristika und Präferenzen hinsichtlich der gewählten Geschwindigkeitsintervalle gibt.

Eine positive Korrelation besteht hingegen zwischen höheren Laufleistungen in den Bereichen 11,1-14,0 km/h bis 21,1-24,0 km/h und den mittleren Laufdistanzen > 24,0 km/h. Die Gesamtlaufleistung und die zurückgelegten Distanzen in verschiedenen Geschwindigkeitsintervallen sind zentraler Gegenstand von Spielanalysen im Leistungsfußball. Die angewandte Analysetechnik, Definition und Anzahl der Geschwindigkeitsintervalle hat jedoch einen entscheidenden Einfluss auf das Verständnis und die Bewertung der Laufdistanzen in den verschiedenen Geschwindigkeitsintervallen im Hochleistungsfußball. Moderne Spielanalysesysteme wie „Amisco Pro“ ermöglichen aufgrund ihrer Objektivität eine wissenschaftlich aussagekräftige Analyse und sollten zukünftig auch im Zusammenhang mit einer differenzierten Leistungsdiagnostik verstärkt eingesetzt werden.

Leistungsdiagnostische Ausdauerparameter sind geeignet, Zusammenhänge zur Gesamtlaufstrecke und auch zu mittleren Laufdistanzen mit maximaler Geschwindigkeit zu analysieren. Einschränkend muss bemerkt werden, dass die vorliegenden Daten bislang nur den Vergleich einer deutschen Bundesligamannschaft enthalten.

Die Ergebnisse der Untersuchung führen zu dem Schluss, dass weiterführende Untersuchungen mit modernen Spielanalysesystemen sinnvoll sind, um Erkenntnisse auf die positionsspezifischen Anforderungen im Wettkampf zu erhalten.

### **3. Kraftdiagnostische Ergebnisse**

#### **3.1. Krafttraining der unteren Extremitäten bei Bundesligafußballspielern**

Leistungsdiagnostische Labortests zur Kraftmessung dienen im Profifußball zur Feststellung von muskulären Defiziten, zur Definition von Belastungsintensitäten und zum Nachweis eines Trainingserfolgs. Allerdings werden sie bislang vergleichsweise selten eingesetzt. Durch isometrische und dynamische Krafttests an stationären Messgeräten sowie Sprungkrafttest auf Kraftmessplatten lassen sich jedoch zahlreiche wichtige Informationen bezüglich der isometrischen und dynamischen Krafftigkeiten bestimmter Muskeln und Muskelgruppen erheben. Hier ist insbesondere auch auf das Verhältnis von Agonisten und Antagonisten („Balancen“) zu achten. Zahlreiche Studien zeigten dabei besonders die Bedeutung der Maximalkraft in den unteren Extremitäten für schnellkräftige Bewegungen wie Sprints, Sprünge oder Torschüsse<sup>68;93;140;145</sup>. Neben der Maximalkraft bedingt ebenso das Reaktivkraftvermögen die Sprung- und Schnelligkeitsleistungen eines Fußballspielers<sup>84;85;129</sup>.

Jedoch wurden die isometrischen und dynamischen Krafttests sowie Sprungkraftdiagnostiken im Fußball meist nur isoliert durchgeführt<sup>53;92;108</sup>. Die Relationen der ermittelten Parameter untereinander, die Aufschluss über muskuläre Defizite liefern können, wurden vielfach nicht diskutiert. Entsprechend wendet sich diese Studie der Bedeutung und den Zusammenhängen von isometrischen und dynamischen Kraftparametern für Leistungsfußballspieler zu.

#### **3.2. Methodik**

##### **3.2.1. Untersuchungsgut**

Alle 36 Probanden, davon 25 aus dem Lizenzkader einer Bundesligamannschaft und elf Nachwuchsspieler (U17, U19, Amateure), absolvierten eine differenzierte Leistungsdiagnostik bezüglich ihrer konditionellen Fähigkeiten. Einen wesentlichen Teil der Leistungsdiagnostik stellte die Analyse der Krafftigkeiten im Labor dar. Für diese Studie waren die Ergebnisse für die Knieextensoren, gemessen durch die Leg Extension Machine, und für die Knieflexoren, gemessen durch die Leg Curl Machine, ausschlaggebend. Alle Maschinen waren mit Kraftsensoren und Weggebern ausgestattet (Fa. Gym80 und Mechatronic).

### 3.2.2. Datenherkunft

Alle Spieler absolvierten an den Testgeräten jeweils drei Versuche für die isometrische und dynamische Analyse der Krafftigkeiten der Knieflexoren und der Knieextensoren. Für die Auswertung wurden der beste isometrische und dynamische Maximalkraftwert ( $F_{\max}$ ) in Newton und die dazugehörigen Parameter verwendet. Die zur isometrischen Diagnostik dazu gehörigen Parameter sind:

- $F_{\max \text{ rel}}$  = relative Maximalkraft [ $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]
- RFD = Rate of force Development, also die maximale Steigung der Kraft-Zeit-Kurve

Zusätzliche Parameter der dynamischen Untersuchung sind:

- $F_{\max \text{ dyn rel}}$  = relative dynamische Maximalkraft [ $\text{N} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- $P_{\max}$  = maximale Leistung [W]
- $P_{\max \text{ rel}}$  = maximale relative Leistung [ $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]
- $\text{RFD}_{\text{dyn}}$  = dynamische Rate of Force Development

Bei der dynamischen Messung sowohl der Knieflexoren an der Leg Curl Machine als auch der Extensoren an der Leg Extension Maschine betrug die eingesetzte Zusatzlast 50 Prozent des besten isometrischen Maximalkraftwerts ( $ZL [\text{kg}] = F_{\max} [\text{N}] \cdot (9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})^{-1} \cdot 0,5$ .) Dabei bedeuten:

- ZL = Zusatzlast [kg]
- $F_{\max}$  = gemessene Maximalkraft [N]
- m = Meter
- s = Sekunde

Die Sprungkraftleistung der Spieler wurde anhand von drei verschiedenen Sprungkrafttests, des Squat Jump, Counter Movement Jump und des Drop Jump, mittels einer für den rechten und linken Fuß geteilten Kraftmessplatte (Fa. Mechatronic) diagnostiziert. Die Spieler absolvierten jeweils drei Squat Jumps, Counter Movement Jumps und Drop Jumps. Zur Analyse wurde bei allen Sprüngen

der beste Versuch herangezogen. Bei Squat und Counter Movement Jump war dies die größte Sprunghöhe in zugehörige Kontaktzeit in Millisekunden [ms] ausgewertet.

### 3.3. Ergebnisse

#### 3.3.1. Korrelation zwischen isometrischer und dynamischer Maximalkraft

Die beschriebenen Korrelationen zwischen den isometrischen und dynamischen Kraftparametern wurden nach den Maximalwerten und relativen Maximalwerten ausgerichtet. Außerdem wurde die Beziehung der Maximalkraft zur Rate of Force Development bei der isometrischen Messung untersucht.

**Tabelle 21** Korrelationskoeffizienten  $r$  zwischen der isometrischen Maximalkraft und den dynamischen Kraftparametern an der Leg Extension Machine und Leg Curl Machine.

Die mit Stern markierten Koeffizienten zeigen die signifikante Korrelation ( $p < 0,05$ ) zwischen der isometrischen Maximalkraft an der Leg Extension Machine (hellgrau) und an der Leg Curl Machine (dunkelgrau - geriffelt) zu den dynamischen Kraftparametern am gleichen Gerät.

Isometrie	Dynamik			
	LE F <sub>max</sub> [N]	LE F <sub>max</sub> dyn [N]	LE P <sub>max</sub> [W]	LE RFD dyn [N*sec <sup>-1</sup> ]
	*0,73	*0,51	0,31	0,35
LC F <sub>max</sub> [N]	LC F <sub>max</sub> dyn [N]	LC P <sub>max</sub> [W]	LC RFD dyn [N* sec <sup>-1</sup> ]	LC RPD [W*sec <sup>-1</sup> ]
	*0,89	*0,47	0,16	0,24

**Tabelle 22** Korrelationskoeffizienten zwischen der relativen isometrischen Maximalkraft und der relativen dynamischen Maximalkraft sowie der relativen maximalen Leistung an der Leg Extension Machine und Leg Curl Machine.

Mit Stern markierte Koeffizienten sind statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ) an der Leg Extension Machine (hellgrau) und Leg Curl Machine (dunkelgrau-geriffelt).

Isometrie	Dynamik	
LE F max rel [ $N \cdot kg^{-1}$ ]	LE F max dyn rel [ $N \cdot kg^{-1}$ ]	LE P max rel [ $W \cdot kg^{-1}$ ]
	*0,59	*0,37
LC F max rel [ $N \cdot kg^{-1}$ ]	LC F max dyn rel [ $N \cdot kg^{-1}$ ]	LC P max rel [ $W \cdot kg^{-1}$ ]
	*0,78	0,24

Wie zu erwarten, bestehen zwischen der absoluten Maximalkraft bei der isometrischen Messung an der Leg Extension Machine (LE) Zusammenhänge zu den dynamischen Messungen.

Eine Korrelation hinsichtlich isometrischer ( $LE F_{max}$ ) und dynamischer Maximalkraft ( $LE F_{max\ dyn}$ ) ließ sich nachweisen mit  $r = 0,73$ ;  $p < 0,01$  sowie in geringer Ausprägung zu  $P_{max}$  mit  $r = 0,51$ ;  $p < 0,01$ .

Eine Korrelation ließ sich außerdem zwischen den Werten  $LE F_{max}$  und  $LE_{RFD}$  mit  $r = 0,48$ ;  $p < 0,01$  bei der isometrischen Messung nachweisen.

Für die relative isometrische Maximalkraft an der Leg Extension Machine konnten zu den Parametern bei dynamischer Messung ähnliche Zusammenhänge wie für die  $LE F_{max}$  analysiert werden. Die  $LE F_{max\ re}$  korrelierte mit der  $LE F_{max\ dyn\ rel}$  mit  $r = 0,59$ ;  $p < 0,01$ . Dieser Zusammenhang zeigte sich auch zu dem Parameter der relativen Leistung bei der dynamischen Messung mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,37$ ;  $p < 0,05$ .

Die  $F_{max}$  korrelierte mit der dynamischen Maximalkraft  $F_{max\ dyn}$  an der Leg Curl Machine (LC) mit  $r = 0,89$ ;  $p < 0,01$ . Für das Verhältnis zwischen  $LC F_{max}$  und  $P_{max}$  stellte sich ebenfalls ein Zusammenhang heraus mit  $r = 0,47$ ;  $p < 0,01$ , der beim Vergleich dieser Parameter an der Leg Extension Machine größer (Tab. 21), aber statistisch nicht signifikant war. Zwischen der Maximalkraft und dem RFD an der Leg Curl Machine bei der isometrischen Messung ließ sich jedoch ein stärkerer Zusammenhang als an der Leg Extension Machine feststellen mit  $r = 0,57$ ;  $p < 0,01$ , da der Unterschied zwischen den Korrelationen statistisch nicht signifikant ist.

Die relative isometrische Maximalkraft an der Leg Curl Machine korrelierte mit der LC  $F_{\max \text{ dyn rel}}$  mit  $r = 0,78$ ;  $p < 0,01$ . An der Leg Curl Machine war dieser Zusammenhang größer als bei der Messung am Gerät der Leg Extension (Tab. 22), da auch hier der Unterschied zwischen den Korrelationen statistisch nicht signifikant ist,

### 3.3.2. Korrelation zwischen dynamischer Maximalkraft und der Sprungkraft

Zwischen den dynamischen Kraftparametern an der Leg Extension und Leg Curl Machine konnte keine signifikante Korrelation zu der Sprunghöhe beim Squat Jump und Counter Movement Jump ermittelt werden.

**Tabelle 23** Korrelationskoeffizienten  $r$  zwischen den dynamischen Kraftparametern und den Sprungkraftparametern.

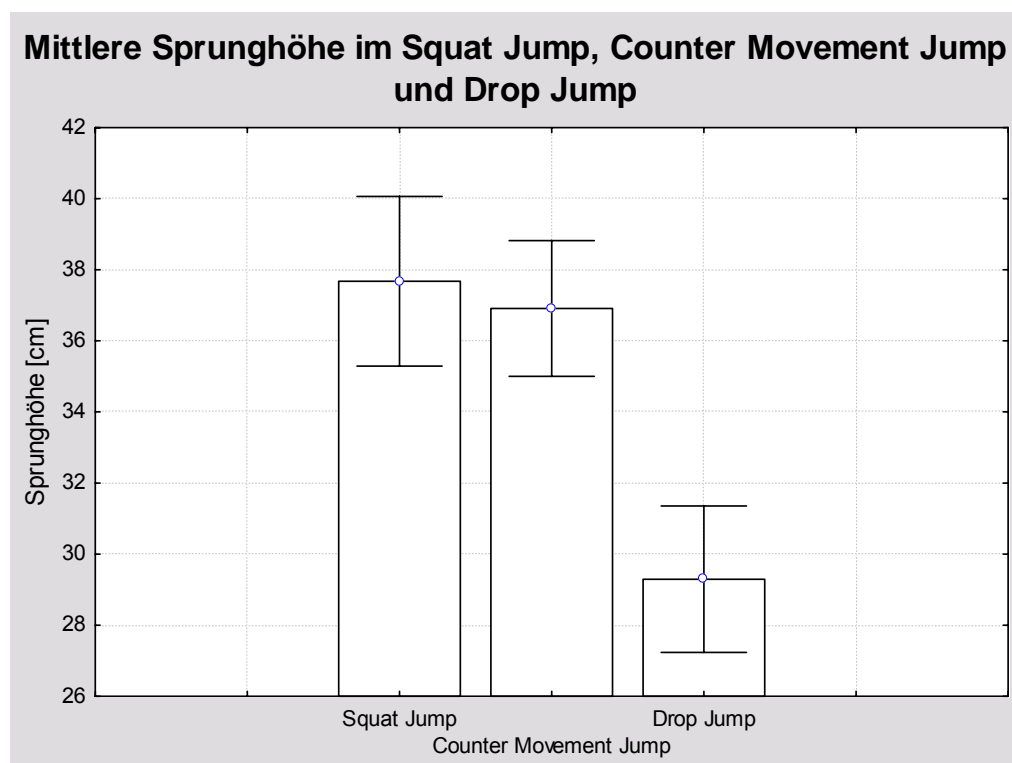
Dargestellt ist  $r$  an der Leg Extension Maschine (hellgrau) sowie an der Leg Curl Machine (dunkelgrau-geriffelt) in Bezug zu der Sprunghöhe [cm] und zu der Kontaktzeit [ms] beim Drop Jump (grau). Mit Stern markierte Koeffizienten sind statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ).

Leg Extension Maschine	DJ Höhe [cm]	DJ Kontaktzeit [ms]	Leg Curl Maschine	DJ Höhe [cm]	DJ Kontaktzeit [ms]
$F_{\max \text{ dyn}}[\text{N}]$	*0,44	0,19	$F_{\max \text{ dyn}}[\text{N}]$	*0,47	0,23
$F_{\max \text{ dyn rel}}[\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}]$	0,20	-0,10	$F_{\max \text{ dyn rel}}[\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}]$	0,22	-0,07
$P_{\max}[\text{W}]$	*0,60	*0,38	$P_{\max}[\text{W}]$	0,22	0,09
$P_{\max \text{ rel}}[\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}]$	*0,45	0,18	$P_{\max \text{ rel}}[\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}]$	0,09	-0,05
$\text{RFD}_{\text{dyn}}[\text{N} \cdot \text{sec}^{-1}]$	-0,06	-0,26	$\text{RFD}_{\text{dyn}}[\text{N} \cdot \text{sec}^{-1}]$	0,06	-0,08
$\text{RPD}[\text{W} \cdot \text{sec}^{-1}]$	-0,12	0,03	$\text{RPD}[\text{W} \cdot \text{sec}^{-1}]$	-0,05	0,42

Alle hier dargestellten Korrelationen sind zwar signifikant, die Korrelationen an sich sind jedoch alle sehr niedrig. Damit ergibt sich praktisch kein Zusammenhang. Die Aussage der Signifikanz muss jedoch aufgrund der kleinen Stichprobengröße kritisch betrachtet werden.

Die dynamischen Maximalkraftwerte  $F_{\max \text{ dyn}}$  an der Leg Extension Maschine mit  $r = 0,44$ ;  $p < 0,02$  und an der Leg Curl Maschine mit  $r = 0,47$ ;  $p < 0,01$  korrelierten mit den ermittelten Sprunghöhen im Drop Jump. Die Relation zeigte sich zwischen der maximalen Leistung  $P_{\max}$  mit  $r = 0,60$ ;  $p < 0,01$  und der relativen maximalen Leistung  $P_{\max \text{ rel}}$  mit  $r = 0,45$ ;  $p < 0,02$  zu der Sprunghöhe im Drop Jump. Für die maximale Leistung  $P_{\max}$  an der Leg Extension Maschine konnte außerdem ein signifikanter Zusammenhang zu der Kontaktzeit bei Tiefsprüngen mit  $r = 0,38$ ;  $p < 0,05$  ermittelt werden.

Die im Durchschnitt erzielten Sprunghöhen beim SJ, CMJ und DJ sind in der folgenden Grafik abgebildet mit  $n = 34$ ; Abb. 7.



**Abbildung 7** Mittlere Sprunghöhe Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung im Squat Jump, Counter Movement Jump und Drop Jump.

Die Abbildung zeigt die durchschnittliche Sprunghöhe mit  $37,7 \pm 6,8$  cm beim Squat Jump, mit  $36,9 \pm 5,5$  cm im Counter Movement Jump und mit  $29,3 \pm 5,9$  cm im Drop Jump.

Die erzielte Sprunghöhe war im Mittel ( $37,7 \pm 6,8$  cm) beim SJ im Vergleich zu dem CMJ ( $36,9 \pm 5,5$  cm) und DJ ( $29,3 \pm 5,9$  cm) am größten (Abb. 7). Die erzielte Sprunghöhe beim SJ ( $37,7 \pm 6,8$  cm) und CMJ ( $36,9 \pm 5,5$  cm) war nicht signifikant unterschiedlich. Im Vergleich zum DJ ( $29,3 \pm 5,9$  cm) war sie beim SJ und CMJ signifikant größer ( $p < 0,01$ ).

Die höchste Messung bei allen absolvierten Sprungformen wurde mit 56 cm beim Squat Jump analysiert. Im Mittel betrug die Bodenkontaktzeit der Spieler  $182,6 \pm 26,1$  ms mit einer Gesamtdifferenz von 90 ms zwischen der langsamsten und schnellsten Kontaktzeit.

### 3.4. Diskussion der Ergebnisdarstellung

In der vorliegenden Untersuchung werden die Auswertungsergebnisse der labordiagnostisch erhobenen Daten von professionellen Leistungsfußballspielern an der Leg Extension Machine und an der Leg Curl Machine hinsichtlich folgender Kernthesen und Fragen bezüglich eines effektiven Ergebnistransfers in die Trainingspraxis von Leistungsspielern diskutiert:

Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft der Knieflexoren und Knieextensoren und der Schnellkraft und maximalen Leistung bei Profispielern.

Die Ausprägung des dynamischen Kraftniveaus der Knieflexoren und –extensoren beeinflusst die Qualität von Relativkraft und schnellkräftigen Bewegungen.

Kann folglich ein Schnellkraft orientiertes Maximalkrafttraining im Fußball zur Verbesserung der reaktiven Krafftähigkeiten eingesetzt werden?

Hinsichtlich maximaler Ausprägung von Kraft und Leistung bei einer konzentrischen Arbeitsweise von Knieflexoren und Knieextensoren am gleichen Gerät besteht ein Zusammenhang zwischen der isometrischen Maximalkraft dieser beiden Muskelgruppen und der dynamischen Maximalkraft sowie maximalen Leistung. Zudem hat die isometrische Maximalkraft einen entscheidenden Einfluss auf das Niveau der Explosivkraft bei isometrischen Messungen sowohl an der Leg Extension als auch an der Leg Curl Machine.

Insofern offenbart sie sich bei Leistungsspielern als geeigneter Indikator für das Kraftniveau insbesondere der Knieextensoren<sup>53</sup>. Darüber hinaus erlaubt der isometrische Maximalkraftwert fundierte Annahmen und Aussagen über deren Ausprägungsgrad bei dynamischer Arbeitsweise im Labor<sup>71</sup>.

Indes weisen die individuellen Maximalwerte der Fußballspieler bei den einzelnen Kraftparametern eine große Streuung auf. Die Spannweite für die isometrische Maximalkraft reicht von 1650,5 N als niedrigstem gemessenen Wert und 3235,3 N als höchstem an der Leg Extension Machine gemessenen Wert ( $\Delta N = 1584,8$ ). Gleiches gilt auch für die Messung der dynamischen Maximalkraft an diesem Gerät, denn auch bei diesem Kraftparameter ist das Maximum mit 2071,6 N doppelt so hoch wie das Minimum mit 1025,0 N ( $\Delta N = 1046,6$ ).



Auch an der Leg Curl Machine haben die Messungen vergleichbare Streuungsdistanzen mit LC  $F_{\max} = 1192,7 \text{ N}$  zu  $2082,3 \text{ N}$  ( $\Delta N = 889,7$ ) und LC  $F_{\max_{\text{dyn}}} = 539,0 \text{ N}$  zu  $1278,1 \text{ N}$  ( $\Delta N = 739,1$ ) ergeben.

Eine mögliche Ursache für diese Unterschiede könnte in den unterschiedlichen Leistungsniveaus und dem unterschiedlichen Alter der Testpersonen liegen, da Fußballspieler eine heterogene Gruppe bilden, die sowohl aus Profi- und Amateur- als auch Nachwuchsspielern besteht.

Bisherige Studien haben bei isokinetischen Kraftmessungen der Knieextensoren und Knieflexoren signifikante Unterschiede zwischen französischen Erstliga-, Zweitliga- und Amateurligaspielern nachgewiesen<sup>33</sup>.

Die hier diskutierte Studie ergab in Bezug auf Messungen im Bereich der Knieextensoren signifikante Unterschiede zwischen Profi- und Jugendspielern hinsichtlich der Messwerte LE  $F_{\max}$  ( $2739,3 \pm 355,4 \text{ N}$  vs.  $2369,6 \pm 452,5 \text{ N}$ ;  $p < 0,05$ ), LE RFD ( $11322,2 \pm 4605,8 \text{ N} \cdot \text{sek}^{-1}$  vs.  $7802,7 \pm 4486,2 \text{ N} \cdot \text{sek}^{-1}$ ;  $p < 0,05$ ) und LE  $P_{\max}$  ( $1547,2 \pm 550,1 \text{ W}$  vs.  $1183,2 \pm 256,3 \text{ W}$ ;  $p \leq 0,05$ ).

Auch beim Vergleich von Profifußballspielern mit Junioren wurden signifikante Unterschiede gemessen. Mit LC RFD ( $6556,2 \pm 1785,0 \text{ N} \cdot \text{sek}^{-1}$  vs.  $5101,3 \pm 1626,6 \text{ N} \cdot \text{sek}^{-1}$ ;  $p < 0,05$ ) und LC  $P_{\max}$  ( $1257,3 \pm 375,7$  vs.  $891,0 \pm 124,9 \text{ W}$ ;  $p < 0,01$ ) lagen die Werte der Profispieler deutlich höher.

In LC  $F_{\max}$  konnten bei diesem Vergleich jedoch keine besonderen Divergenzen zwischen Profis und Junioren festgestellt werden.

Beim Vergleich griechischer Jugendnationalspielern mit anderen gleichaltrigen Fußballspielern<sup>53</sup> wurden im Rahmen isometrischer Messungen der Knieextensoren sowohl eine signifikant höhere Maximalkraft als auch eine signifikant höhere Explosivkraft gemessen

Basierend auf der Annahme einer Wechselbeziehung zwischen dynamischer Maximalkraft bei isokinetischen Messungen der Knieextensoren und Ballgeschwindigkeit bei Schüssen<sup>93;103;30</sup> oder maximalen Sprints<sup>108;112</sup> gewinnt das dynamische Kraftniveau der Kniestrecker an Relevanz für Wettkämpfe als bedeutsamer Faktor für maximal beschleunigende Bewegungen.

Vorbehaltlich einer gezielten Überprüfung unterlegt die ermittelte Korrelation ( $r = 0,73$ ) zwischen isometrischer und dynamischer Maximalkraft die Annahme der

Existenz entsprechender Zusammenhänge. Für die Explosivkraft bei den Profifußballspielern ist die erwiesene Beziehung zwischen Maximal- und Schnellkraft<sup>66;26</sup> nur unter isometrischen Bedingungen zu beobachten mit  $r = 0,57$  bei der Leg Curl Machine und  $r = 0,48$  an der Leg Extension Machine.

Auch bezüglich der Relativkraft lassen sich diese Beziehungen zwischen isometrischer zur dynamischen Maximalkraft und zur maximalen Leistung an den eingesetzten Geräten feststellen. Damit wird die Annahme der Existenz einer Relation zwischen Maximal- und Relativkraft bei Leistungsspielern<sup>146</sup> verifiziert.

Obgleich die Korrelationen nicht signifikant unterschiedlich sind, ist dennoch sowohl an der Leg Extension Machine als auch an der Leg Curl Machine die Ausprägung des Verhältnisses zwischen den relativen isometrischen und dynamischen Parametern weniger stark als die Relation bei den einzelnen absoluten Parametern.

An der Leg Curl Machine ergab sich für das Verhältnis von relativer Maximalkraft und relativer Leistung kein signifikanter Zusammenhang ( $r = 0,24$ ).

Die gemessene isometrische Relativkraft der Leistungsspieler erlaubt Aussagen zum dynamischen Leistungsniveau der betroffenen Muskeln im Labor, insbesondere der Knieextensoren, auch wenn dabei der Einfluss individueller Maximalkraftkapazitäten der Spieler auf das Spiel<sup>65</sup> möglicherweise unterbewertet und außer Acht gelassen wird.

Sowohl die leistungsdifferenzierte Analyse bei Nachwuchsspielern<sup>53</sup> als auch die geschlechtsspezifische Untersuchung von Helgerud et al.<sup>65</sup> haben eine bedeutsam höhere Relativkraft bei männlichen Leistungsfußballspielern in den unteren Extremitäten belegt.

Bei den drei verschiedenen Sprungformen Drop Jump (DJ), Squat Jump (SJ) und Counter Movement Jump (CMJ) konnte nur für die Sprunghöhe beim DJ eine Beziehung zu den dynamischen Kraftparametern an der Leg Curl Machine und an der Leg Extension Machine festgestellt werden. Konkret konnte ein Zusammenhang zwischen dem dynamischen Maximalkraftwert, insbesondere dem Wert der Kniestrecker bei maximal schnellen isolierten Kontraktionen an der Maschine, und der Sprunghöhe beim DJ nachgewiesen werden. Auch für die Kontaktzeit beim DJ

und die maximal erbrachte Leistung der Knieextensoren lässt sich ein begründeter Zusammenhang konstatieren.

Entscheidend hierfür könnte die maximal schnelle Kontraktion der Kniestreckmuskeln sein, die den maximalen Kraftimpuls der Sprungmuskulatur und die Bodenkontaktzeit bestimmt, da für den DJ, anders als beim SJ oder CMJ, ein maximaler Kraftimpuls bei einer möglichst kurzen Bodenkontaktzeit kennzeichnend ist.

Bencke et al.<sup>11</sup> und Bobbert et al.<sup>18</sup> haben in ihren Untersuchungen die maximal schnelle Kontraktion als spezifische Kraftentfaltung der Knieextensoren als relevanten Einflussfaktor für die Sprunghöhe, insbesondere beim DJ, identifiziert.

Dabei scheint das Leistungsniveau der konzentrischen Arbeitsweise der Muskulatur die exzentrisch-konzentrische Muskelarbeit im kurzen DVZ beim DJ zu unterstützen. Ebenso befördert eine höhere Arbeitsintensität oder Leistung der Knieextensoren (=größere verrichtete Arbeit pro Zeit) sowohl die Sprunghöhe als auch die Bodenkontaktzeit beim DJ.

Bei einer Steigerung des Leistungsniveaus der Spieler nimmt auch die vertikale Sprunghöhe zu<sup>42;46;124</sup>. Dieser positive Zusammenhang zwischen Leistungsniveau und Sprunghöhe wurde von Gissis et al.<sup>53</sup> auch gesondert für den DJ belegt. Die vorliegende Untersuchung bestätigt insofern die Ergebnisse anderer Untersuchungen, die explizit für Fußballspieler einen positiven Effekt des Reaktivkrafttrainings auf schnellkräftige Bewegungen nachgewiesen haben<sup>35;105;131</sup>.

Die in dieser Untersuchung nachgewiesenen Zusammenhänge ermöglichen, ausgehend vom vornehmlich an der Leg Extension Machine ermittelten dynamischen Kraftniveau, Aussagen über die Qualität der Reaktivkraft zu treffen und damit letztlich auch Prognosen zu schnellkräftigen Bewegungen bei Leistungsfußballspielern zu geben. Zudem bedeutet die Erkenntnis dieser Zusammenhänge auch die Möglichkeit qualitativer Interventionen zur Verbesserung des dynamischen Kraftniveaus der Knieextensoren und –flexoren durch ein schnellkräftiges Training an entsprechenden Trainingsgeräten.

Bei Fußballspielern sollte daher zur Stärkung des Reaktivkraftvermögens ein Schnellkraft orientiertes Maximalkrafttraining als begleitende Maßnahme standardmäßig eingesetzt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung widerlegen immer noch vorhandene Vorbehalte gegen ein schnellkräftiges Training zur Beförderung der reaktiven Kraftfähigkeiten von Fußballspielern.

Von den drei verschiedenen Sprungformen generierte der Squat Jump durchschnittlich die größte Sprunghöhe bei konzentrischer Arbeitsweise der Sprungmuskulatur.

Als Erklärung dafür kommen die außerordentliche Schnellkraftentfaltung der Sprungmuskulatur bei rein konzentrischer Arbeitsweise oder ein weniger ausgeprägtes Reaktivkraftvermögen in den unteren Extremitäten der analysierten Leistungsspieler in Frage.

Das Untersuchungsergebnis von 22,3 Prozent niedrigerer Sprunghöhe beim DJ legt die Annahme eines weniger gut ausgeprägten Reaktivkraftvermögens nahe und geht konform mit der These von Schmidtbleicher<sup>130</sup>, wonach eine niedrigere Sprunghöhe beim DJ als beim SJ noch Leistungsressourcen für reaktive, schnellkräftige Bewegungen offenbart.

Jedoch ist die Sprunghöhe im DJ dahingehend zu relativieren, dass die Messtechnik als entscheidender Einflussfaktor auf das Messergebnis berücksichtigt werden muss. Denn alle DJ-Leistungen von Fußballspielern, bei denen die Werte mit mobilen Sprungkraftmatten ermittelt wurden<sup>84;25</sup>, lagen deutlich über den gemessenen Werten an unterschiedlichen stationären Kraftmessplatten<sup>53;85</sup>. Dabei liegen die Ursachen mutmaßlich in den bekannten Problemen in der Kinematik von Absprung und Landung.

Die maximal erreichte Höhe im DJ lag zwar unterhalb der im SJ erzielten Höhe, aber die Leistungsspieler konnten beim DJ schnelle DVZ und dabei mit 180 ms eine gute bis sehr gute mittlere Kontaktzeit<sup>57;84,130</sup> erzielen.

Aufgrund dieser Ergebnisse ist nicht zwangsläufig zu unterstellen, dass bei standardisierter Ausführung der Sprungtechnik auf Kraftmessplatten im Labor die größte Sprungleistung bei Leistungsspielern im Counter Movement Jump erreicht wird.

Auch die Sprungleistungen im DJ müssen im Vergleich zu jenen im SJ genauer und detaillierter analysiert werden.

Die Analyse und Auswertung der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung führt zu der Hypothese, dass Leistungsfußballspieler eine höhere Sprunghöhe mit rein konzentrischer Muskelkraft trotz einer guten reaktiven Leistungsfähigkeit im langsamen und schnellen DVZ aufbringen können.

Grundsätzlich sind vor dem Hintergrund der Auswertung der labordiagnostisch erhobenen Daten in dieser Untersuchung, für professionelle Leistungsfußballspieler die allgemein anerkannten Sachverhalte für Sprungkraftparameter, wie von Schmidtbleicher<sup>130</sup> und Frick<sup>45</sup> vertreten, zu diskutieren.

### **3.5. Fazit und Ausblick**

Ziel der Studie war die Untersuchung möglicher Zusammenhänge zwischen isometrischen und dynamischen Kraftparametern in den unteren Extremitäten sowie zwischen labordiagnostischen Sprungparametern und dynamischen Kraftparametern in den unteren Extremitäten von Leistungsfußballspielern.

Die isometrische Maximalkraft der Knieextensoren und -flexoren hat eine elementare Bedeutung auf die Explosivkraft sowie auf die dynamische Maximalkraft. Bei den relativen Werten finden sich ähnliche Zusammenhänge zwischen den isometrischen und dynamischen Werten der gleichen belasteten Muskulatur. Die Erkenntnis, dass bei der Spannweite der einzelnen Kraftparameter große interindividuelle Differenzen auch bei Leistungsspielern zu erkennen sind, spricht für eine differenzielle Leistungsdiagnostik. Ihr Hauptziel ist es, durch Identifizierung individueller Stärken und Schwächen eine optimierte trainingsinduzierte Verbesserung der leistungslimitierenden Faktoren im Fußball zu ermöglichen. Fußballspezifische Bewegungsabläufe werden dominiert von beschleunigenden bzw. abbremsenden „Kraftmanifestationsformen“. Für die Kraftdiagnostik im Leistungsfußball ist es daher von großer Bedeutung, neben der maximalen isometrischen Kraft auch die maximale dynamische Leistung zu erfassen und keine isokinetischen Muskelfunktionsanalyse zu absolvieren<sup>120;132;146</sup>. Der erhobene Maximalkraftwert und die maximale Leistung der Knieextensoren wirken sich positiv auf die Sprunghöhe und Kontaktzeit des Drop Jumps bei Leistungsfußballern aus. Außerdem sollte die Erfassung der reaktiven Schnellkraftleistungen mittels der drei Sprungkrafttests als standardisierter Teil einer differenzierten Leistungsdiagnostik bei Fußballspielern im Profibereich erfolgen.

Eine differenzierte Kraftdiagnostik im Leistungsfußball sollte eine isometrische Kraftdiagnostik mit den Parametern der Maximalkraft, der relativen Maximalkraft, der maximalen Steigung der Kraft-Zeit-Kurve und der dynamischen Kraftdiagnostik mit den Parametern der maximalen Leistung, der relativen maximalen Leistung und der Leistungskomponente Kraft mal Geschwindigkeit beinhalten. Die differenzierte Leistungsdiagnostik hat dabei die Zielstellung, individuelle Stärken und Schwächen frühzeitig zu erkennen, Längsschnitte der einzelnen Spieler zu erstellen und auf deren Grundlage individuelle Trainingsprogramme an den individuellen Leistungsstand anzupassen. Das Fußballspiel enthält zum großen Teil sehr einseitige muskuläre Beanspruchungen. Dies führt zu einer einseitigen muskulären Kraftentwicklung der Leistungsmuskulatur und zur Vernachlässigung der Muskulatur der Antagonisten sowie der Haltemuskulatur. Um ein solches Missverhältnis zwischen den verschiedenen Muskelgruppen zu überprüfen, sollten isometrische und dynamische Kraftmessungen erfolgen, d.h. es sollten Tests durchgeführt werden, die Auskunft über das Zusammenspiel der Muskelgruppen geben, wobei die verschiedenen Muskelanspannungen berücksichtigt werden.

Im Fußball dominieren vor allem dynamische und hochexplosive Bewegungen.

Diese erfordern eine schnellkräftige und ausdauernde Muskulatur.

## 4. Ausdauerdiagnostische Ergebnisse

### 4.1. Längs- und Querschnittsanalysen anhand von Feldstufentestergebnissen

Das Laktat ist in Deutschland in den siebziger und achtziger Jahren Richtung weisend erforscht worden. Das hat dazu beigetragen, die Aufmerksamkeit auf das Problem möglicher Überlastungen zu lenken und diese Problematik zu verringern. Verschiedene Schwellenkonzepte (4 mmol, IAS u. a.) dienen und dienen noch heute zur Trainingssteuerung von Intensitäten und Umfängen. Man orientiert sich allerdings national noch häufig an einem traditionellen Wissensstand.

Im Fußball ist nach allen gängigen Meinungen in der Literatur eine ausgeprägte Ausdauerleistungsfähigkeit eine wichtige Voraussetzung, um über ein ganzes Spiel und über eine ganze Saison hinweg die Spielleistung auf hohem Niveau halten zu können<sup>5;8;41;69;77;118;132;146</sup>. Dabei stellt der Fußballsport hohe Anforderungen an alle Erscheinungsformen der Ausdauerleistungsfähigkeit. Dies gilt zunächst für die aeroben Fähigkeiten: Sie ermöglichen den Ausdauer limitierten Leistungserhalt über 90 bis 120 Minuten Spielzeit bzw. wirken sie einem Leistungsabfall während dieser Zeit entgegen. Außerdem bedingen sie die Fähigkeiten der Regeneration nach intensiven Spiel- und Trainingseinheiten und der Erholung von kurzzeitigen hochintensiven Belastungsspitzen (Sprints, Zweikämpfe, Pressingsituationen, etc.) während eines Spiels oder einer Trainingseinheit. Ebenfalls bedarf es einer gut ausgebildeten anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, die es erlaubt, solche hochintensiven Spielsituationen explosiv und mit höchster Leistung zu absolvieren und sie möglichst lange durchhalten zu können<sup>5;41;118;121;132</sup>.

Die Verbesserung und die optimale Ausbildung der aeroben und anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeit ist daher eines der Hauptziele des Konditionstrainings im Fußball. Um das Ausdauertraining zu optimieren, nehmen im Prozess der Leistungssteuerung regelmäßige leistungsdiagnostische Maßnahmen eine entscheidende Rolle ein. Die Bestimmung eines aktuellen Leistungszustandes und die Ermittlung individueller (evtl. nicht ausgeschöpfter) Potenziale und Kapazitäten einzelner Spieler sind ausschlaggebend für eine individuell konzipierte Trainingsgestaltung.

Die Parameter, die maßgeblich zur Beurteilung der Ausdauerfähigkeit herangezogen werden, sind die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2\text{max}$ ) und die so genannte anaerobe Schwelle (ANS)<sup>5;68;69;76;132</sup>. Dabei stellt die  $VO_2\text{max}$  die Kenngröße für die aerobe Leistungsfähigkeit – also die Fähigkeit zur aeroben Energiebereitstellung – dar. Die ANS hingegen ist das Kriterium zur Bewertung der rein aeroben Grundlagenausdauer<sup>5;68;77;89;132</sup> und wird bei Laufleistungen vorwiegend als die höchste Geschwindigkeit dargestellt, die aufgrund der ausbleibenden Laktatanhäufung über einen längeren Zeitraum aufrecht gehalten werden kann.

Die Diagnostik der anaeroben Schwelle erfolgt in der Regel mittels eines Feldstufentests (FST). Dabei wird zunächst die Laktat-Leistungskurve (LLK) ermittelt, aus der folglich die ANS berechnet wird<sup>63;89</sup>. Der Feldstufentest kann für eine große Anzahl von Spielern mit einem geringen organisatorischen, zeitlichen und finanziellen Aufwand durchgeführt werden. Zur Bestimmung anderer aussagekräftiger Kenngrößen der Ausdauerleistungsfähigkeit, wie die  $VO_2$ , bedarf es apparativer und komplexer Labortests. Der zeitliche und finanzielle Aufwand von Laboruntersuchungen für eine komplette Fußballmannschaft sowie das dafür benötigte Fachpersonal ist im Vergleich zum FST deutlich höher<sup>40</sup>.

Dies ist vermutlich einer der Gründe, warum im deutschen Profifußball, wie auch in vielen anderen Mannschaftssportarten, vorwiegend die Bestimmung der anaeroben Schwelle, mittels eines FST, zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit durchgeführt wird<sup>13</sup>. Hinzu kommt, dass sich die deutschsprachigen (sowohl wissenschaftliche als auch sportpraktische) Veröffentlichungen der letzten Jahre zum Thema Ausdauerdiagnostik im Fußball ausschließlich auf die Darstellung des FST in Verbindung mit der Laktatleistungsdiagnostik als die am besten geeignete diagnostische Methode beschränken<sup>13;49;50;51;73;106;141</sup>. So verwundert es nicht, dass bei dieser Fokussierung der fußballspezifischen Beiträge auf den FST, ausschließlich dieser in der Praxis Anwendung findet. Diese Beschränkung wird außerdem dadurch begünstigt, dass sowohl die Trainingsgestaltung als auch die Leistungsdiagnostik im deutschen Leistungsfußball vorwiegend auf Trainererfahrungen mit geringer wissenschaftlicher Basis beruhen<sup>100</sup>. Dies hat in den vergangenen Jahren dazu geführt, dass neuere wissenschaftliche Erkenntnisse und Entwicklungen im Bereich der Ausdauerdiagnostik nur in wenigen Fällen berücksichtigt wurden.



Denn, so gut die LLK und die daraus berechnete ANS – je nach dem wie sie definiert ist - als Beurteilungskriterium der Grundlagenausdauer angemessen sein mag, ist ihre Aussagekraft, über die für den Fußball vielseitigen Anforderungen an die Ausdauerleistungsfähigkeit, jedoch sehr beschränkt. Die Folge ist, dass eine Steuerung des Ausdauertrainings auf Ergebnissen diagnostischer Verfahren beruht, deren Aussagekraft nur auf den Bereich der Grundlagenausdauer, also unterhalb der Dauerleistungsgrenze, limitiert ist. So werden andere, ausschlaggebende Erkenntnisse und Kenngrößen über aerobe und anaerobe Fähigkeiten leistungsdagnostisch nicht erfasst und somit auch nicht in die Trainingssteuerung für das Ausdauertraining mit einbezogen <sup>15</sup>.

Für das Ausdauertraining hat diese ausschließliche Ausrichtung an der ANS die Folge, dass im deutschen Fußball an vielen Stellen bevorzugt extensiv und umfangsorientiert trainiert wird. Möglicher Grund ist u. a. ein Fehlverständnis oder eine Fehlinterpretation grundlegender Zusammenhänge des Energiestoffwechsels, insbesondere des Laktats. Denn das Laktat wird oft irrtümlich als schädliches „Abfallprodukt“ des anaeroben Stoffwechsels angesehen und beschrieben, das in erhöhter Konzentration zur Muskelermüdung und weiter zum Leistungsabfall bis hin zum Leistungsabbruch führt. Daher gelte es, höhere Laktatkonzentrationen möglichst zu vermeiden. Völlig außer Acht gelassen wird jedoch, dass Laktat kein schädliches Endprodukt, sondern ein Zwischenprodukt im Glucoseabbau ist, das nicht minder als energiereiches Substrat aerob zur Energieerzeugung verstoffwechselt wird. Doch die negativ behaftete Vorstellung über das Laktat ist in der Trainingspraxis teilweise so manifestiert, dass in vielen Fällen (hoch-)intensive Trainingsbelastungen, aus Sorge vor einer zu starken Laktatproduktion und -akkumulation, vermieden werden. Als Konsequenz dieser Fehleinschätzung, wird das Ausdauertraining betont extensiv und Umfang orientiert konzipiert. Fest steht, dass bei anaeroben Belastungen die muskuläre Ermüdung mit einer steigenden Blutlaktatkonzentration einhergeht. Ob jedoch das Laktat tatsächlich die Ermüdung über die so genannte Laktatazidose induziert, wird in den letzten Jahren sehr kontrovers diskutiert <sup>18;82;126</sup>.

Ebenso wenig wird berücksichtigt, dass gerade bei maximalen intensiven Ausdauerbelastungen (90 – 95 Prozent  $VO_2max$ ) das aerobe System voll aktiviert

wird. Das durch die ebenfalls hochgefahrenere anaerobe Energiebereitstellung produzierte Laktat dient dabei verstärkt als Energiequelle<sup>32;114;115</sup>.

Mehrere Publikationen zeigen auf, dass (hoch)intensives Ausdauertraining im Fußball zur signifikanten Vergrößerung vom Schlagvolumen führt, was wiederum mit einer signifikanten Verbesserung der  $VO_2\text{max}$  einhergeht<sup>40;64;69;70;146</sup>. Weitere Untersuchungen berichten gleiche Anpassungen an ein intensives und an ein extensives, Umfang orientiertes Ausdauertraining über den Zeitraum von fünf bis acht Wochen<sup>24;52;76</sup>. Dies wäre ein Vorteil intensiver Belastungen, da z. B. während einer Vorbereitungsphase von fünf bis acht Wochen für die gleichen Anpassungen ein erheblich geringerer Zeitaufwand nötig wäre, als bei einem extensiven, Umfang orientierten Training.

Der Fußballsport stellt aus physiologischer Sicht an alle Energie liefernden Systeme hohe Anforderungen. Schnellkräftige anaerobe Belastungssituationen sind genauso Erfolg entscheidend wie die Fähigkeiten, über die ganze Spielzeit ein möglichst hohes Spieltempo beizubehalten und die schnelle Regeneration von intensiven und umfangreichen Spiel und -Trainingsbelastungen. Eine ausgeprägte Ausdauerleistungsfähigkeit ist somit eine Voraussetzung, um über eine ganze Saison hinweg die Spielleistung auf hohem Niveau halten zu können. Eine gut ausgeprägte Ausdauerleistungsfähigkeit ist jedoch das Resultat einer langjährigen sportlichen Ausbildung. Schon in den Juniorenklassen müssen die konditionellen Grundlagen gelegt und gefestigt werden, die eine Verträglichkeit von Höchstbelastungen, wie sie auf professioneller Ebene auftreten, ermöglichen.

Um das Ausdauertraining zu optimieren und so eine höchstmögliche Ausdauerleistungsfähigkeit zu erreichen, muss diese wiederum regelmäßig leistungsdiagnostisch überprüft werden. Neben der  $VO_2\text{max}$ , der Kenngröße für die maximale aerobe Kapazität, gilt die anaerobe Schwelle als einer der wichtigsten Parameter zur Beschreibung der Ausdauerleistungsfähigkeit, denn sie ist das Kriterium zur Beurteilung der Dauerleistungsgrenze und somit auch der aeroben Grundlagenausdauer.

Die anaerobe Schwelle wird in der Praxis sehr oft mittels eines Feldstufentests ermittelt. Dieser kann für eine große Anzahl von Spielern mit einem geringen organisatorischen, zeitlichen und finanziellen Aufwand durchgeführt werden. Zur Bestimmung anderer aussagekräftiger Kenngrößen der Ausdauerleistungsfähigkeit, wie der  $\text{VO}_2$ , bedarf es apparativer und komplexer Labortests. Der zeitliche Aufwand von Laboruntersuchungen für eine komplette Fußballmannschaft beträgt ca. das Fünffache im Vergleich zum Feldstufentest.

Folge dieser Entwicklung ist, dass in vielen Vereinen die Steuerung des Ausdauertrainings ausschließlich auf Grundlage der anaeroben Schwellen stattfindet. Aus diesem Grund sind im Laufe der letzten Jahre wesentlich mehr Daten bezüglich der anaeroben Schwelle erhoben worden als für andere bedeutende Parameter, die nur mittels komplexer Laboruntersuchungen bestimmt werden können. Eine langjährige Dokumentation, Beschreibung und Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit von vielen Spielern und Mannschaften, von Jugendauswahlen bis hin zu Profimannschaften, ist daher momentan nur auf Basis der bisher erhobenen Werte der anaeroben Schwelle zu realisieren.

Die folgende Ausarbeitung zeigt den Verlauf bzw. die Entwicklung der Grundlagenausdauerfähigkeit mehrerer Mannschaften (U17 bis Lizenzkader) eines professionellen Fußballvereins anhand der anaeroben Schwelle. Dies geschieht für die Saisons 2003/2004 bis 2007/2008.

Zum einen wird ein Querschnittvergleich zwischen Mannschaften unterschiedlichen Alters- und Leistungsniveaus dargestellt. Dabei werden die ermittelten Werte der anaeroben Schwelle zu einem bestimmten Zeitpunkt im Saisonverlauf gegenübergestellt, um somit eventuelle Differenzen in der Grundlagenausdauerfähigkeit zu erkennen.

Weiterhin gilt es, die Veränderung der Grundlagenausdauerfähigkeit innerhalb einzelner Mannschaften während einer Saison zu beschreiben, und dies in einer Längsschnittaufnahme über die letzten vier bis fünf Jahre hinweg.

## 4.2. Methodik

### 4.2.1. Datenmaterial

Die Ergebnisse aller leistungsdiagnostischen Tests von vier Mannschaften der letzten fünf Saisons wurden entsprechend der Fragestellung aufgearbeitet und statistisch analysiert. Bei den Mannschaften handelt es sich um die U17, die U19, die Amateurmansschaft und die Lizenzmannschaft eines Fußballvereins, dessen erste Mannschaft in der ersten Bundesliga spielt. Mit Ausnahme der Amateure gehörten die Mannschaften in den letzten Jahren zu den Topteams ihrer jeweiligen Spiel- und Altersklassen, so dass das Leistungsniveau in Relation auf die Spielklasse und das Alter der Spieler vergleichbar hoch ist. Die Anzahl und der Zeitpunkt der durchgeführten leistungsdiagnostischen Tests waren über die letzten Jahre von Mannschaft zu Mannschaft unterschiedlich. Das vorhandene Datenmaterial ist somit heterogen. Bei allen Mannschaften jedoch fanden die meisten Tests zu Beginn der Vorbereitung für die Hinrunde (VP1) sowie zur Vorbereitung für die Rückrunde (VP2) statt. In einigen Spielzeiten wurden zusätzliche Tests am Ende der VP1, zum Ende der Hinrunde und zum Ende der Saison durchgeführt. Und in wenigen Ausnahmen wurden auch Tests mitten in der Saison angesetzt. Die durchgeführten Tests wurden als leistungsdiagnostische Maßnahme verstanden, mit der Intention, den Fitnessstand jedes einzelnen Spielers zu überprüfen und gegebenenfalls steuernd zu intervenieren. Jeder Spieler, der gesund und beschwerdefrei war, nahm an den Tests teil. Da aber während einer Saison immer verletzungsbedingte Ausfälle zu verzeichnen sind, haben nicht immer alle Spieler einer Mannschaft alle Tests absolvieren können. Eine unterschiedlich große Anzahl an Teilnehmern von Test zu Test war die Folge. Hinzu kommt, dass jeder durchgeführte Test in die Auswertung mit einbezogen wurde. Kriterien, die normalerweise bei der Auswahl einer Teilnehmerstichprobe berücksichtigt werden müssen, wie z.B. der Gesundheitsstand der Teilnehmer (verletzt, rekonvaleszent, gesund), Mindestanzahl an absolvierten Trainingseinheiten und die Teilnahme an allen Test, können bei der Arbeit mit Leistungsfußballern so gut wie gar nicht eingehalten werden. Eine Schwierigkeit, die auch von anderen Autoren angedeutet wird<sup>22;31;38</sup>.

#### **4.2.2. Ausdauer- und Bestimmung der anaeroben Schwelle**

Bei dem leistungsdiagnostischen Test handelte es sich um einen Feldstufentest. Dieser wurde immer auf derselben 400 m Tartanbahn absolviert. Das Testprofil wurde weitreichend an die Vorgaben von Mader et al.<sup>89</sup> angepasst, die diesen Test auf dem Laufband zur Ermittlung des maximalen Laktat-Steady-State und somit der maximalen Dauerleistungsgrenze konzipiert haben. Die Startgeschwindigkeit lag bei 2,8 m/s, die Stufendauer bei 5:00 min. Nach jeder Stufe wurde die Geschwindigkeit um 0,4 m/s erhöht, die Pause zwischen den Stufen betrug 30 Sekunden. Aufgrund der Feldtestbedingungen konnten die Vorgaben vom Labortest bezüglich Stufendauer und Pause bei dem angewendeten Test nicht exakt übernommen werden. Jede Stufe hatte jedoch eine Dauer von mindestens fünf Minuten, so dass bei jeder Stufe, die unterhalb der anaeroben Schwelle gelaufen wurde, sich ein Laktat-Steady-State einstellen konnte. Die anhand dieses Testschemas ermittelte Laufgeschwindigkeit, bei der eine Blutlaktatkonzentration von 4 mmol/l erreicht und somit nach dem Modell von Mader et al. (1976) das maximale Laktat-Steady-State eingestellt wird, bezeichnet man als anaerobe Schwelle<sup>89</sup>. Im weiteren Verlauf dieser Ausarbeitung wird die anaerobe Schwelle daher nur abgekürzt „V4“ (Geschwindigkeit bei 4 mmol/l) genannt.

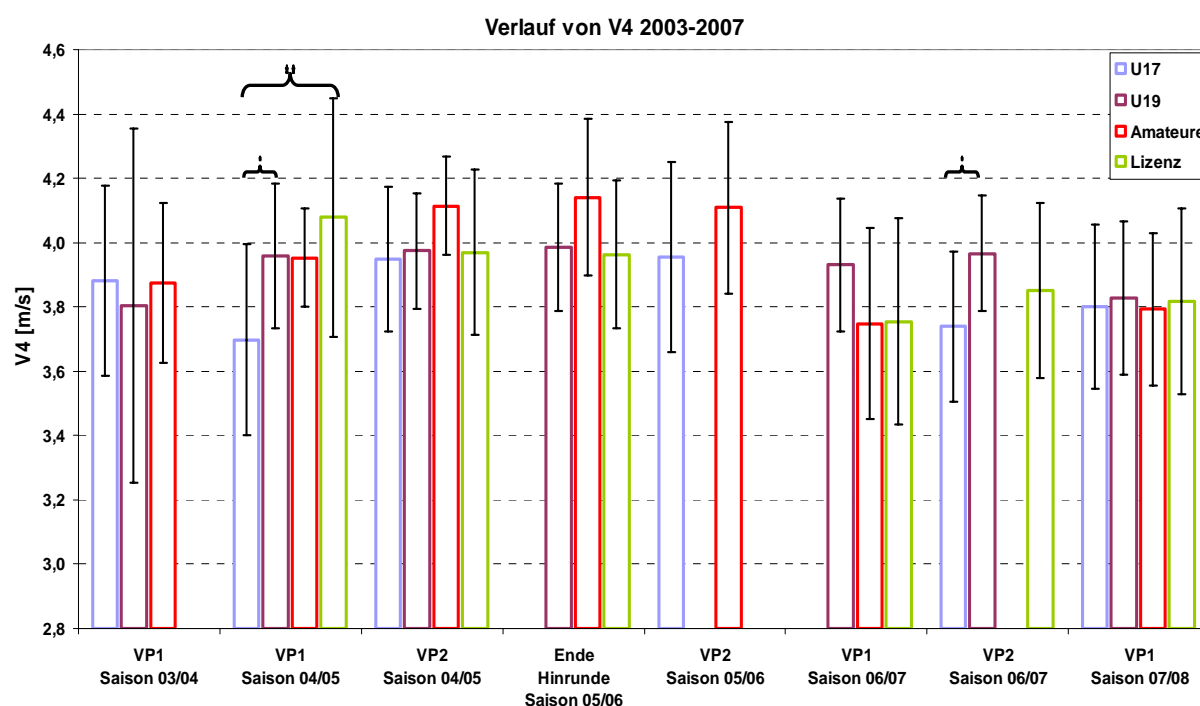
#### **4.3. Statistische Verfahren**

Zur deskriptiven Darstellung der Daten werden das arithmetische Mittel und die Standardabweichung verwendet. Für die interindividuelle Analyse wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) oder ein unabhängiger t-Test zur Feststellung von Unterschieden zwischen den Mannschaften zum gleichen Zeitpunkt im Saisonverlauf durchgeführt. Zur Identifikation von Veränderungen im Verlauf einer Saison innerhalb einer Mannschaft wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwertwiederholung oder ein abhängiger t-Test benutzt. Einzeleffekte wurden mittels des Turkey-LSD-Test berechnet. Als Signifikanzgrenze galt  $p < 0,05$ .

## 4.4. Ergebnisse

### 4.4.1. Vergleich zwischen den Mannschaften

Die statistische Auswertung der Daten ergab, dass es in den meisten Testzeitpunkten im Laufe der letzten fünf Jahre bezüglich der Grundlagenausdauer, gemessen an der V4, keine signifikanten Differenzen zwischen den unterschiedlichen Mannschaften gab (Abb. 8). Lediglich zur Vorbereitung der Saison 04/05 war die mittlere V4 bei der U17 signifikant niedriger als bei der U19 und der Lizenzmannschaft. Ebenso zur VP2 in der Saison 06/07 - da war die mittlere V4 der U17 signifikant niedriger als bei der U19.



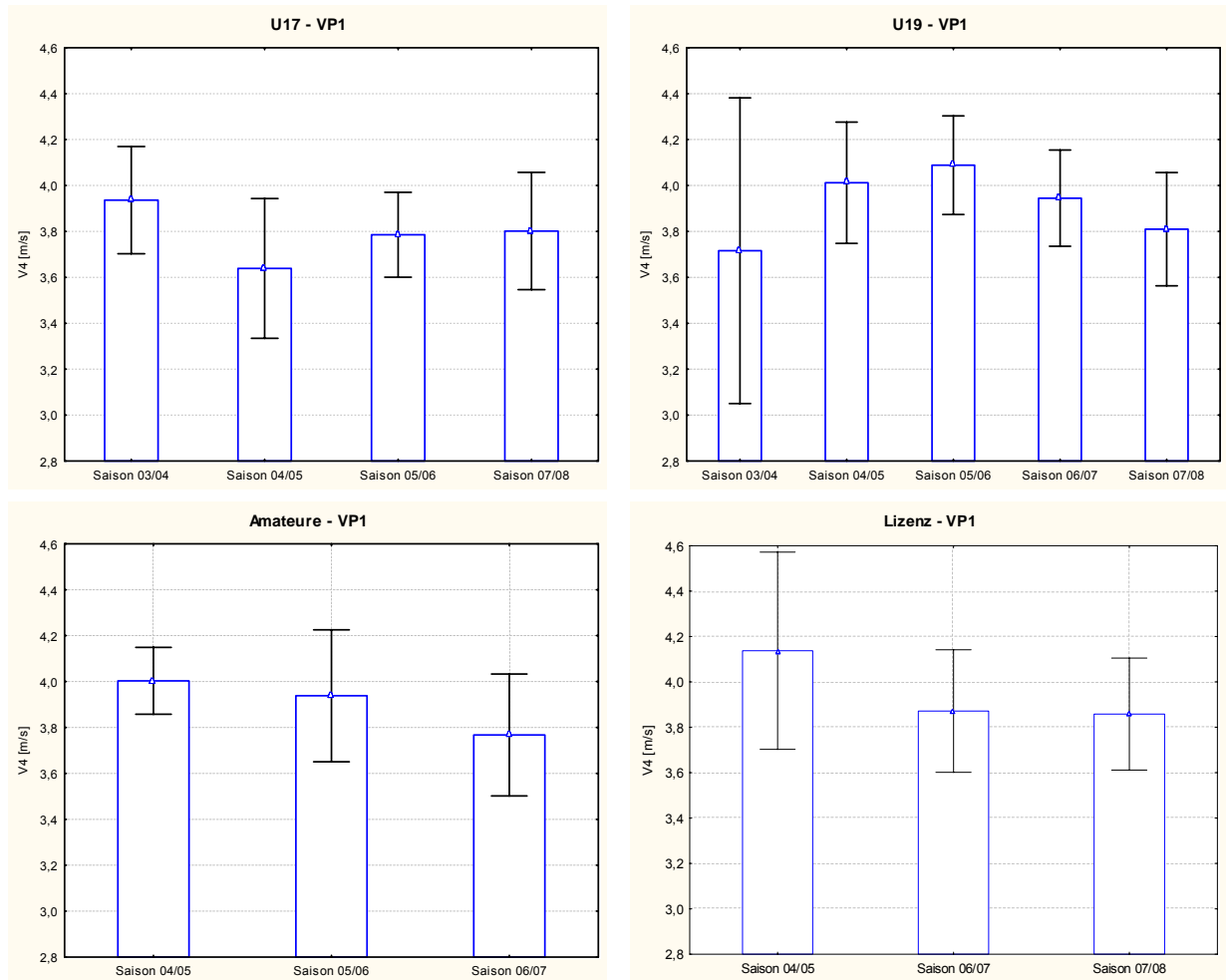
**Abbildung 8** Vergleich zwischen den Mannschaften zum gleichen Zeitpunkt im Saisonverlauf über die letzten Jahre.

Werte angegeben in Mittelwert und SD, \* signifikanter Unterschied zwischen den Mannschaften ( $p < 0,05$ ), \*\* signifikanter Unterschied zwischen den Mannschaften ( $p < 0,01$ ).

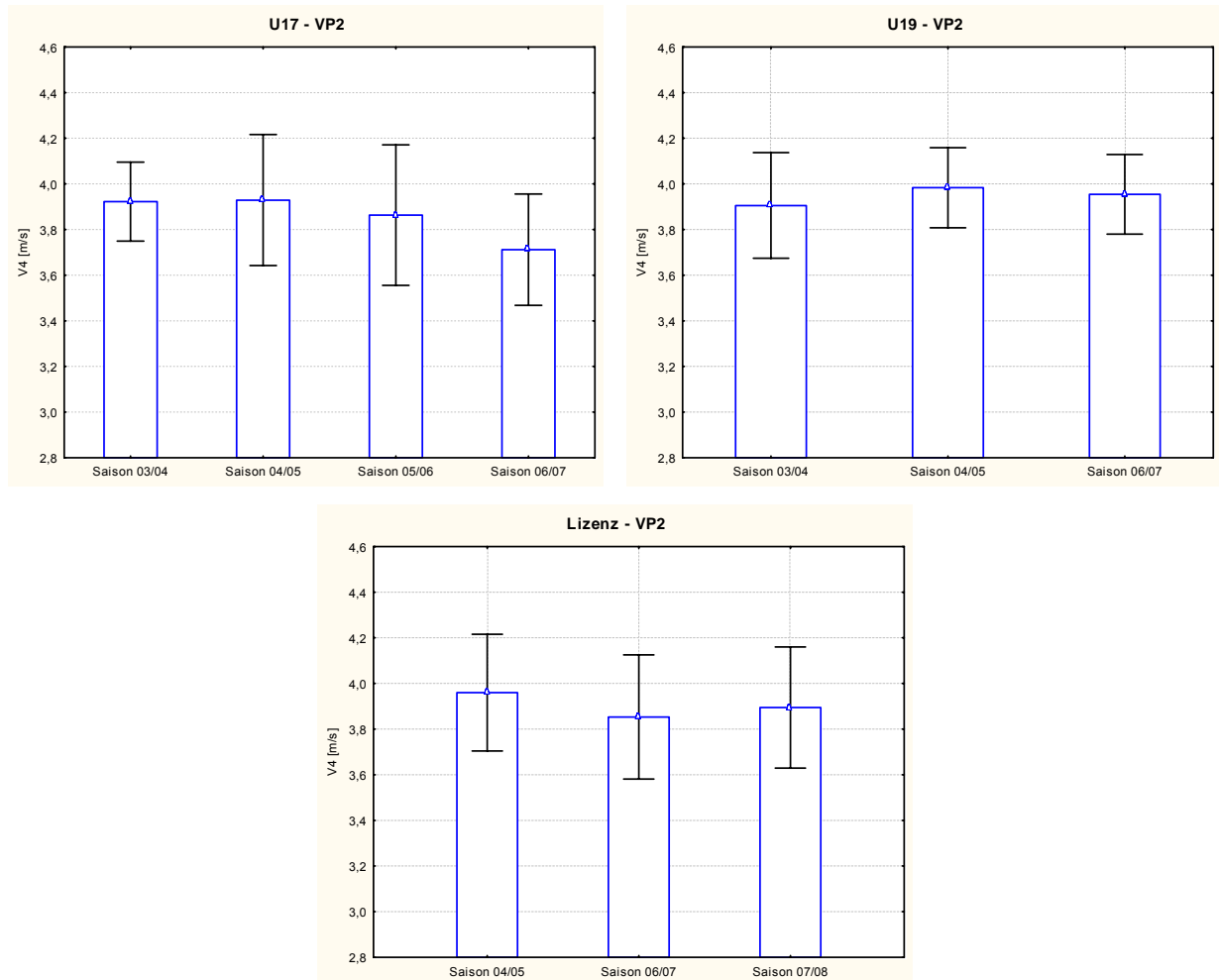
### 4.4.2. Veränderungen im Mehrjahresverlauf

Die statistische Analyse der Daten ergab, dass sich die mittlere V4 jeder Mannschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt der Saison im Verlauf mehrerer Jahre nicht signifikant verändert hat. Dies gilt, wie die Abb. 9 veranschaulicht, für die Vorbereitung zur Hinrunde, wie auch für die Vorbereitung zur Rückrunde (Abb. 10).

In den letzten Jahren sind bei den Amateuren keine leistungsdiagnostischen Tests zu Vorbereitung der Rückrunde durchgeführt worden.



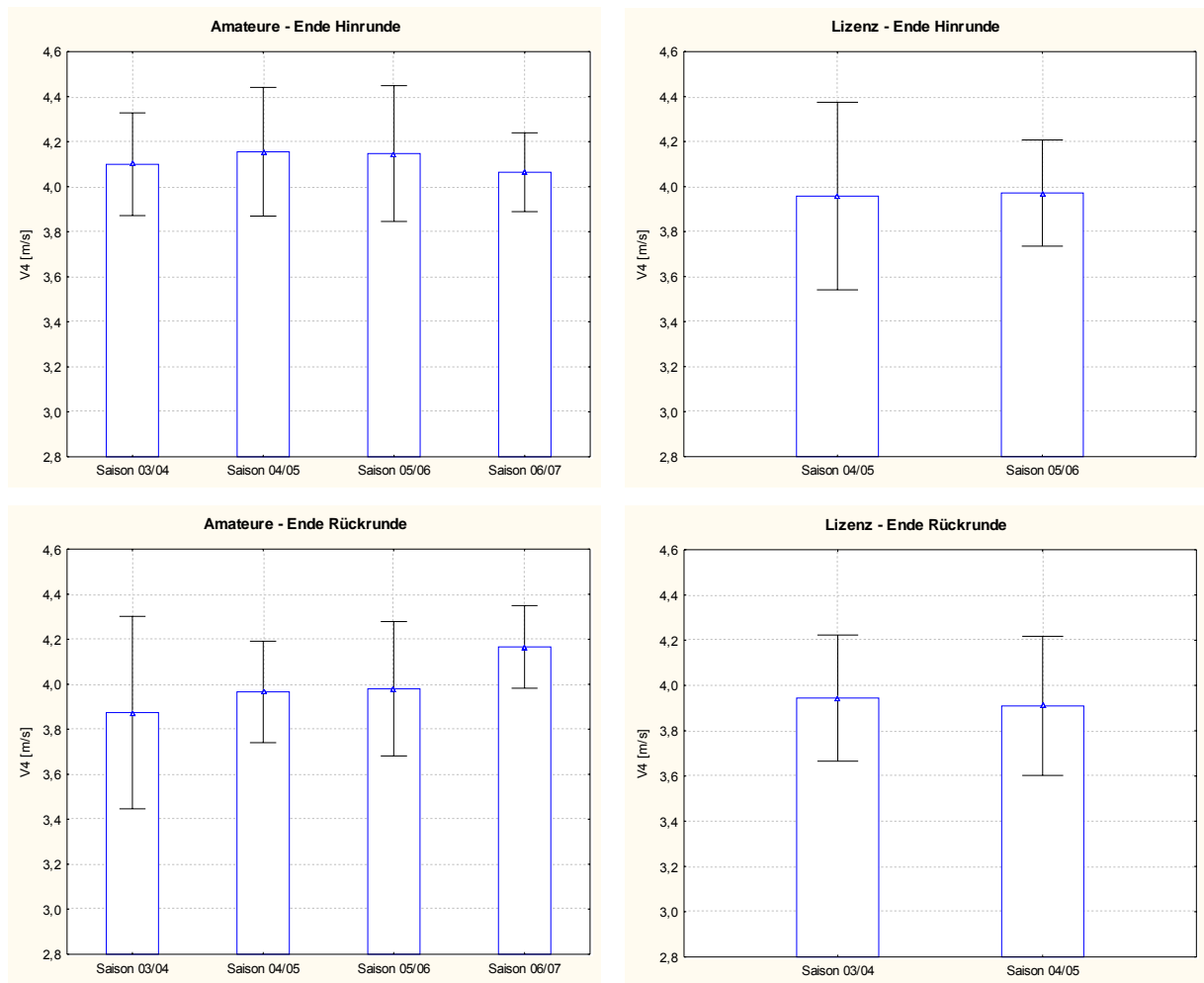
**Abbildung 9** Mehrjahresverlauf der V4 zu Beginn der VP1 bei allen Mannschaften. Werte angegeben in Mittelwert und SD.



**Abbildung 10** Mehrjahresverlauf der V4 zum Zeitpunkt der VP2 bei der U17, U19 und Lizenzmannschaft. Werte angegeben in Mittelwert und SD.

Am Ende der Hinrunde und am Ende der Rückrunde gibt es ebenfalls keine Unterschiede (Abb. 11). Tests zu diesen beiden Zeitpunkten sind jedoch seltener durchgeführt worden, bei der U17 und U19 überhaupt nicht.





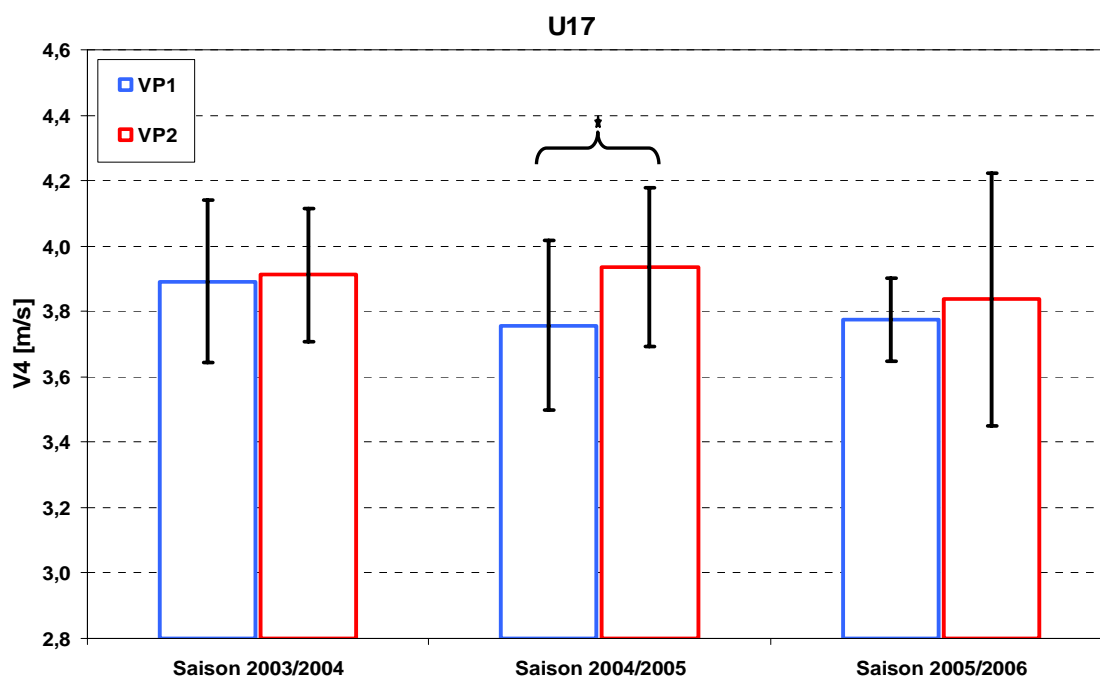
**Abbildung 11** Mehrjahresverlauf der V4 am Ende der Hinrunde bei allen Mannschaften  
Werte angegeben in Mittelwert und SD.

#### 4.4.3. Veränderungen der V4 in Saisonverlauf

Mit Hilfe der Varianzanalyse lassen sich keine generellen Unterschiede sichern. In jeder Mannschaft ist jedoch deskriptiv eine Verbesserung der V4 in allen Saisons zu erkennen. In fast allen Fällen ist die V4 zu Beginn der VP1 niedriger als zu den anderen Testzeitpunkten der Saison. Aus diesem Grund werden Einzelbetrachtungen angestellt.

##### 4.4.3.1. U17

Für die U17 wurden in den Saisons 03/04 bis 07/08 nur in drei Spielzeiten zwei Tests durchgeführt, jeweils zu Beginn der VP1 und zu Beginn der VP2. Eine statistisch signifikant höhere V4 zu Beginn der VP2 gab es in der Saison 04/05.

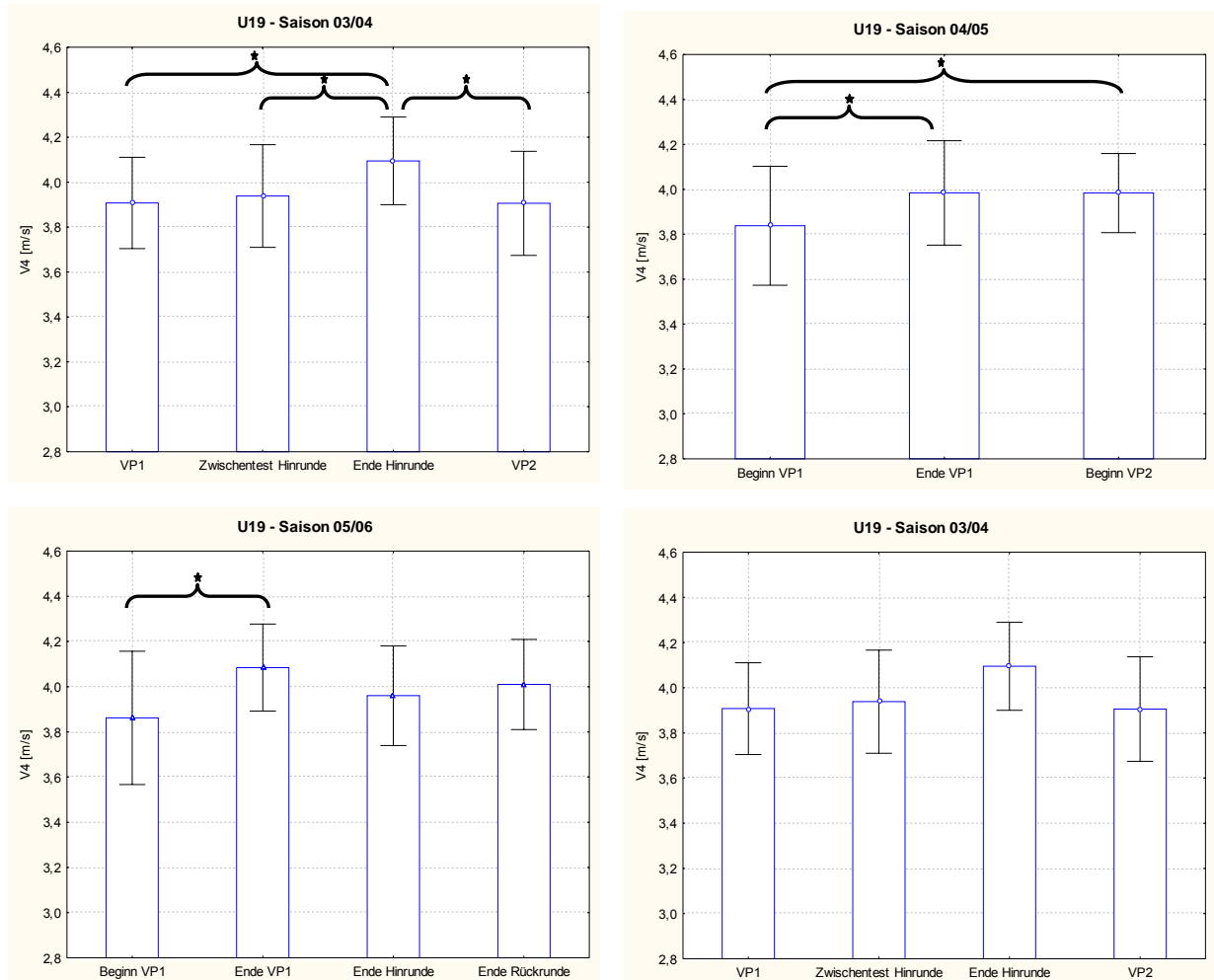


**Abbildung 12** V4 in der VP1 und der VP2 der U17 in den Saisons 03/04, 04/05 und 05/06. Werte angegeben in Mittelwert und SD, \* signifikanter Unterschied zwischen VP1 und VP2 ( $p > 0,05$ ).

##### 4.4.3.2. U19

Bei der U19 zeigten sich in drei von vier untersuchten Spielzeiten statistische signifikante Veränderungen der V4. Während sich in der Saison 03/04 eine Verbesserung der V4 erst am Ende der Hinrunde einstellte, wurde diese in den Saisons 04/05 und 05/06 bereits nach der Saisonvorbereitung gemessen. In der Saison 04/05 fand bis zur Rückrundenvorbereitung eine weitere Verbesserung statt,

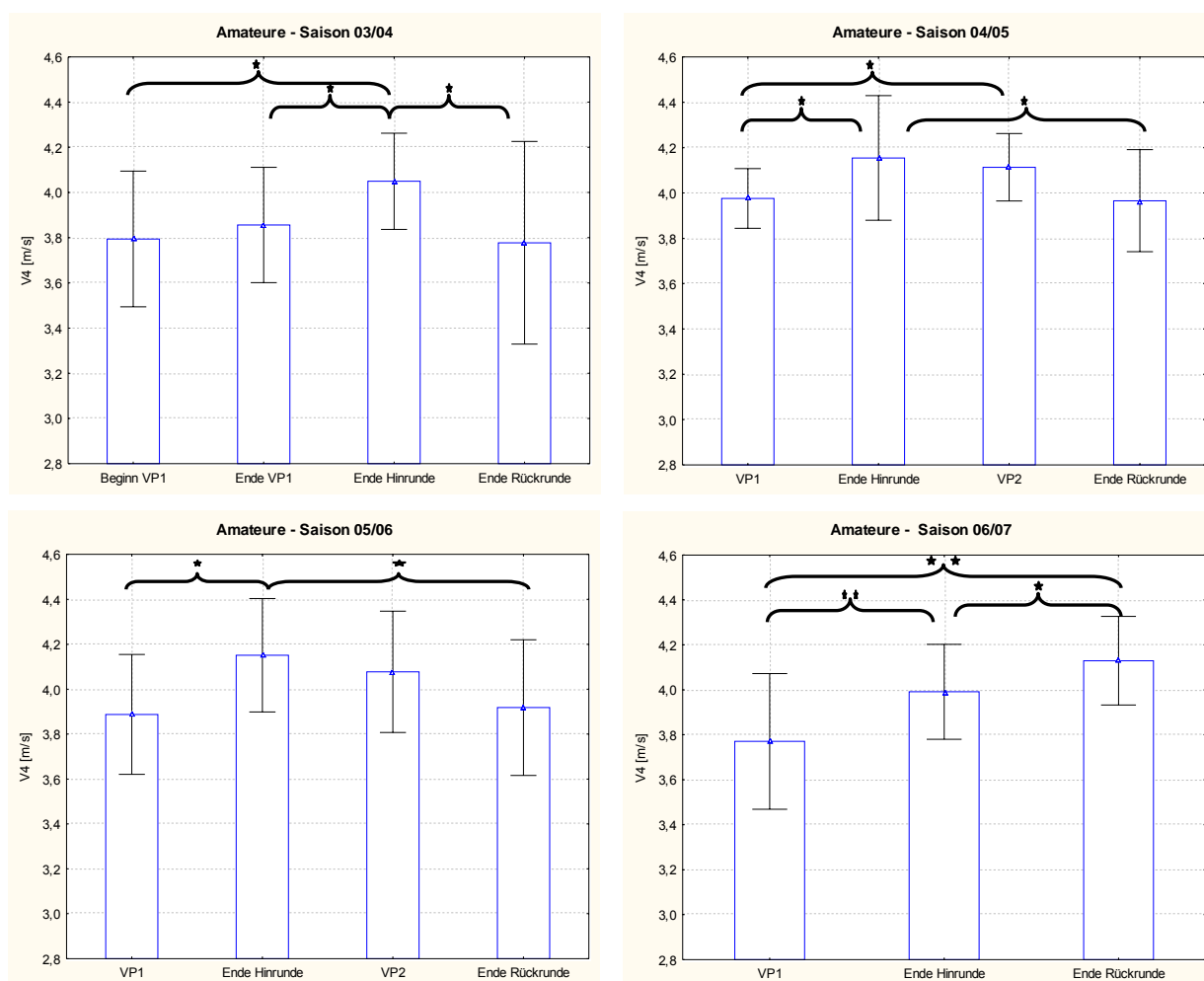
in der Saison 05/06 hingegen gab es keine weiteren Veränderungen. Ebenfalls keine Veränderungen gab es in der Saison 06/07 während der Hinrunde. Für diese Saison sind während der Rückrunde keine Werte erhoben worden.



**Abbildung 13** U19, V4 zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Saisonverlauf der Saisonen 03/04 bis 06/07. Werte angegeben in Mittelwert und SD, \* signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ( $p > 0,05$ ).

### 4.4.3.3. Amateurm Mannschaft

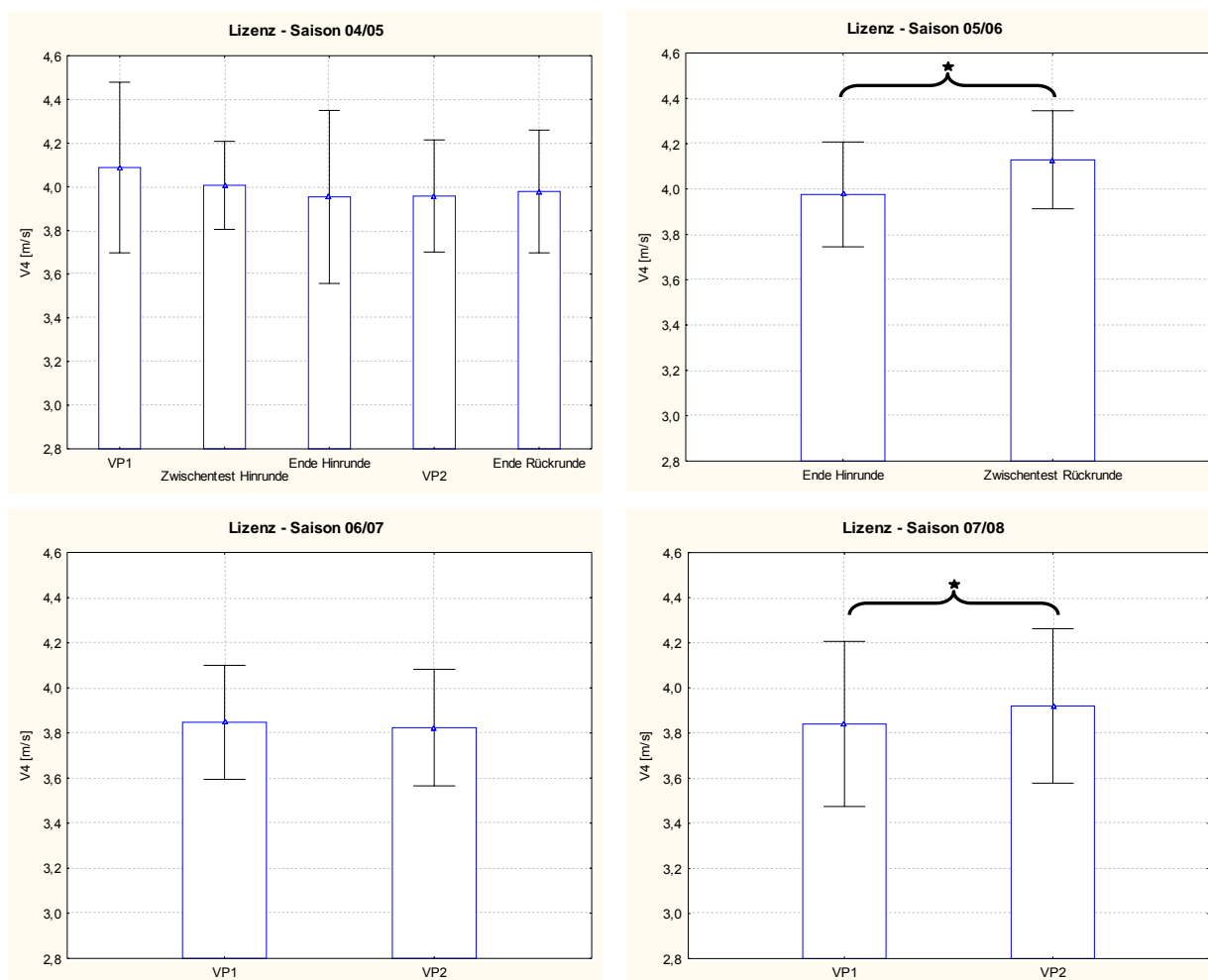
Ein ähnliches Verhalten der V4 zeigen die Testdaten der Amateurm Mannschaft. Die mittlere V4 ist bei späteren Tests signifikant höher als der Ausgangswert zu Beginn der Saisonvorbereitung. In den vier untersuchten Spielzeiten stellte sich eine Verbesserung der V4 bis zum Ende der Hinrunde ein. In der Saison 03/04 kam es anschließend bis zum Ende der Rückrunde zu einem signifikanten Abfall der V4. In den Saisons 04/05 und 05/06 konnte über die Winterpause das Niveau vom Ende der Hinrunde gehalten werden, es kam jedoch bis zum Ende der Saison ebenfalls zu einem signifikanten Abfall der V4. Anders sieht es in der darauf folgenden Saison 06/07 aus. Hier konnte ein stetiger signifikanter Anstieg der V4 von Beginn der VP1 an, über das Ende der Hinrunde, bis zum Saisonende hin verzeichnet werden.



**Abbildung 14** Amateure, V4 zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Saisonverlauf den Saisons 03/04 bis 06/07. Werte angegeben in Mittelwert und SD, \* signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ( $p > 0,05$ ), \*\* signifikanter Unterschied zwischen den Mannschaften ( $p > 0,01$ ).

#### 4.4.3.4. Lizenzmannschaft

Die Datenlage ermöglicht nur für die Saison 04/05 eine Beschreibung der V4-Entwicklung im Saisonverlauf. Eine Verbesserung der V4 im Vergleich zum Test vom Beginn der VP1 ist nicht erkennbar. In dieser Saison blieb die V4 die ganze Zeit über konstant. In den anderen drei Saisons wurden jeweils nur zwei Tests durchgeführt. In der Saison 05/06 fand der erste Test am Ende der Hinrunde statt. Der zweite Test in der Mitte der Rückrunde ergab eine signifikant höhere V4. In den Saisons 06/07 und 07/08 wurden dann jeweils die Tests zu Beginn der Vorbereitung für die Hinrunde und für die Rückrunde absolviert. Während in der Saison 06/07 die V4 zwischen den beiden Tests gleich blieb, war in der Saison 07/08 die V4 bei Beginn der VP2 signifikant höher als zu Beginn der VP1.



**Abbildung 15** Lizenz, V4 zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Saisonverlauf den Saisons 04/05 bis 07/08. Werte angegeben in Mittelwert und SD, \* signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ( $p > 0,05$ ).

## 4.5. Diskussion

### 4.5.1. Vergleich zwischen den Mannschaften

Es gibt aufgrund der bisher geringen nationalen als auch internationalen Publikationslage keine Vergleichbarkeit mit der Auswertung des vorliegenden Datenmaterials. Die Gegenüberstellung der Werte ergab, dass die Teams zu den gleichen Zeitpunkten im Saisonverlauf, bis auf zwei Ausnahmen bei acht gemeinsamen Messzeitpunkten, keine Unterschiede in der V4 aufwiesen.

Diese Beobachtung lässt unterschiedliche Diskussionsansätze zu. Ähnliche V4-Werte deuten darauf hin, dass alle vier Mannschaften ein ähnliches Niveau in der aeroben Grundlagenausdauer haben. Auf dem ersten Blick wäre so eine Erkenntnis unerwartet und überraschend, da man bei einer professionellen Lizenzmannschaft, die am internationalen Wettbewerb teilnimmt, eine höhere aerobe Grundlagenausdauer erwarten würde als z.B. bei einer U17-Juniorenmannschaft.

Auch der Trainingsumfang und die Wettkampfbelastung, die bei der Profimannschaft zweifellos höher ist als bei den anderen Mannschaften, würden eher für eine bessere V4 der Profimannschaft sprechen. Der Grund für das gleiche hohe Niveau in der Grundlagenausdauer kann nur vermutet werden. Unterschiedliche Schwerpunkte und Maßnahmen in der Trainingssteuerung, mit unterschiedlicher Gewichtung auf die Grundlagenausdauer sind eine mögliche Erklärung.

Rückschlüsse auf die Ausdauerleistungsfähigkeit sind auch indirekt über die Laufleistung im Wettkampf möglich. Einige Spielbeobachtungen zeigen, dass Lizenzspieler größere Strecken laufen als Junioren- und Amateurspieler<sup>41;104</sup>, eine andere Untersuchung hingegen berichtet, dass jugendliche Spieler gleiche und sogar höhere Distanzen laufen können als Erwachsene<sup>134</sup>. Eigene, nicht veröffentlichte Analysen einzelner Juniorenspieler bestätigen diese Beobachtung. Letzteres würde dafür sprechen, dass es keine Unterschiede in der Grundlagenausdauer zwischen Lizenzspielern und Junioren geben muss, vor allem unter der Berücksichtigung von Untersuchungsergebnissen, die den positiven Einfluss einer verbesserten Ausdauerleistungsfähigkeit auf die Laufleistung belegen<sup>64</sup>. Ein indirekter Umkehrschluss, welcher besagen würde, dass größere zurückgelegte Laufdistanzen

im Spiel auf einer hohen Ausdauerleistungsfähigkeit basieren, scheint plausibel, ist jedoch nur bedingt zulässig. Zwar spricht ein großes Laufpensum für eine gut ausgeprägte Ausdauerleistungsfähigkeit, diese kann aber im Einzelfall vorwiegend im anaeroben Intensitätsbereich stattfinden und in hohem Maße motivationsbedingt sein. Hingegen können Spieler und Mannschaften mit hoher Grundlagenausdauer je nach Situation oder Spielverlauf ein Spiel eher „ruhig“ angehen. Die zurück gelegten Laufstrecken würden somit nicht die Ausdauerleistungsfähigkeit widerspiegeln. Nur aus Längsschnittanalysen von Spielbeobachtungen würde eine annähernd qualitativ gültige Aussage über die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit erlauben. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Spielpositionen sind dabei jedoch zu berücksichtigen<sup>5;9;15;99;132</sup>.

Der qualitative Unterschied zwischen Mannschaften unterschiedlicher Leistungsklassen wird nicht durch eine größere Grundlagenausdauer bedingt. Eine höhere spielerische Qualität steht daher nicht im Widerspruch zu einem gleichen Niveau in der Grundlagenausdauer. Unbeantwortet bleibt deshalb die Frage, ob ein höheres Niveau in der Ausdauerleistungsfähigkeit zu einer größeren Spielerleistung führen würde.

Es sollte aber nicht außer Acht gelassen werden, dass eine solide aerobe Ausdauerfähigkeit unabdingbar für eine hohe Belastungsverträglichkeit ist. Weiterhin haben Helgerud et al. in ihrer Untersuchung belegt, dass eine verbesserte aerobe Ausdauer mit einer höheren Laufleistung einhergeht, was wiederum die Spielleistung positiv beeinflusst hat<sup>64</sup>.

Aber auch die fußballspezifischen Anforderungen an die Ausdauerfähigkeiten sind wesentlich komplexer und nur mit einer guten Grundlagenausdauer nicht zu erfüllen. Zwar ist der als V4 dargestellte maximale Laktat-Steady-State der Hauptparameter zur Bewertung der Grundlagenausdauer, dieser Wert wiederum wird jedoch durch andere physiologische Kenngrößen beeinflusst, die nur mittels komplexerer Tests bestimmt werden können. Vor allem die  $VO_2\text{max}$  ist von großer Bedeutung, denn Sie ist nicht nur die Kenngröße für die maximale aerobe Fähigkeit. Gemeinsam mit der Laktat-Leistungskurve lassen sich anhand der  $VO_2$  Athleten hinsichtlich ihrer Ausdauerfähigkeiten und ihres Energiestoffwechselprofils detaillierter beschreiben<sup>15</sup>.

Die Erstellung von individuellen Ausdauerprofilen, z.B. ob ein Spieler ein aerober Dauerläufer oder eher im anaerob-laktaziden Bereich seine Stärke hat, wird dadurch ermöglicht. Der herkömmliche Feldstufentest mitsamt der ermittelten V4 kann derart differenzierte Informationen nicht liefern<sup>15</sup>. Die Grundlagenausdauer alleine spiegelt nicht die Ausdauerfähigkeit von Fußballspielern wider und dient daher im Hochleistungsbereich nicht als einzig aussagekräftige Größe zur Bewertung von Ausdauerqualitäten. Dies bedeutet also auch, dass mittels des bisher überwiegend angewendeten Testverfahrens zur Ausdauerdiagnostik nicht alle möglichen Unterschiede in den Komponenten der Ausdauerleistungsfähigkeit zwischen den getesteten Mannschaften gezeigt werden konnten.

#### **4.5.2. Veränderungen der V4 im Saisonverlauf**

Die Auswertung der Daten ergab, dass, unabhängig von der Mannschaft, es in einigen Saisons zu signifikanten Veränderungen der V4 im Saisonverlauf kam. McMillan et al.<sup>96</sup> untersuchten ausführlich die Veränderungen der anaeroben Schwelle bei professionellen Jugendfußballspielern während einer Saison. Der erste von sechs Tests fand zu Beginn der VP1 statt. Beobachtet wurde ein signifikanter Anstieg der anaeroben Schwelle einige Wochen nach Beginn des Spielbetriebs. Das höhere Niveau der anaeroben Schwelle blieb dann über die ganze Saison hinweg konstant. In den vorliegenden Daten konnten zwar für alle Mannschaften auch signifikante Veränderungen der anaeroben Schwelle im Saisonverlauf gegenüber dem Wert zu Beginn der VP1 festgestellt werden, ein einheitliches Muster wie bei der Studie von McMillan et al.<sup>96</sup> lässt sich jedoch nicht erkennen. Einerseits zeigten sich Veränderungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Saisonverlauf; mal während der Hinrunde, mal erst am Ende der Hinrunde oder erst zur Rückrunde. Andererseits gab es auch Saisons, in denen keine signifikanten Veränderungen der V4 festgestellt wurden (U17: Saison 03/04, 05/06; U19: Saison 06/07, Lizenz: Saison 04/05, 06/07). Signifikante Verbesserungen der anaeroben Schwelle während der Vorbereitungsphase lassen sich darauf zurückführen, dass die Spieler nach vier- bis fünfwöchiger Sommerpause vergleichsweise untrainiert wieder in das Training einsteigen<sup>21</sup>. Solche Verbesserungen der V4 nach der VP1 wurden ebenfalls in zwei Fällen beobachtet (U19: Saison 04/05 und 05/06), in anderen Fällen blieben sie jedoch aus (U19: Saison 03/04, Amateure: Saison 03/04). Somit werden gleichzeitig zwei kontroverse Ergebnisse bestätigt. Brady et al.<sup>21</sup> hatte bei einer schottischen



Erstligamannschaft eine Verbesserung der anaeroben Schwelle während der VP1 registriert, Dunbar<sup>38</sup> fand hingegen in einem englischen Zweitligateam keine. Brady et al.<sup>21</sup> begründen ihre Beobachtung ebenfalls mit einem untrainierteren Zustand nach der Sommerpause bzw. damit, dass die Trainingsvorgaben seitens der Trainer an die Spieler für die Zeit der Sommerpause nicht effektiv genug gewesen waren. Im genauen Gegensatz dazu erklärt Dunbar<sup>38</sup>, in der von ihm untersuchten Mannschaft keine Unterschiede zwischen Beginn der Vorbereitung und Saisonbeginn gefunden zu haben, gerade weil die Spieler während der Sommerpause selbstständig ein Ausdauertrainingsprogramm durchgeführt haben. Das Ausdauerniveau hätte so über die Sommerpause so hoch gehalten werden können, dass durch die VP1 diesbezüglich keine Verbesserungen erzielt wurden.

Durch die Winterpause kommt es dazu, dass die Vereine jeweils eine Vorbereitungsphase zu Beginn der Saison (VP1) und zu Beginn der Rückrunde (VP2) haben - eine zeitliche Einteilung, die in den anderen europäischen Topligen nicht existiert. Leistungsdiagnostische Maßnahmen werden vorwiegend zu Beginn der Vorbereitungsphasen durchgeführt, um dementsprechend in der Vorbereitung steuernd einzugreifen.

Für diese Zeitpunkte im Saisonverlauf liegen auch die meisten Testdaten vor. Aber aus dem Vergleich VP1 – Ende Hinrunde, bzw. VP1 – VP2, ergibt sich ebenfalls kein einheitliches Bild. Es gibt Saisons, in denen sich signifikante Verbesserungen der V4 zwischen Beginn der VP1 und Ende der Hinrunde und/oder VP2 zeigen (U17: Saison 04/05; U19: Saison 03/04, 04/05; Amateure: alle; Lizenz: Saison 07/08), aber es gibt auch einige, bei denen es zu keinen signifikanten Veränderungen kam. Mit dieser Beobachtung bestätigen wir teilweise die Resultate von Casajús<sup>31</sup> und Brady et al.<sup>21</sup>. Casajús<sup>31</sup> hatte bei einer spanischen Erstligamannschaft eine signifikante Verbesserung der anaeroben Schwelle zwischen Beginn der Hinrunde und Beginn der Rückrunde beobachtet, wobei die Vorrundentests erst unmittelbar vor Beginn der Spielzeit angesetzt wurden. Der Effekt der Vorbereitungsphase auf die anaerobe Schwelle wurde somit nicht direkt erfasst. Brady et al. hingegen registrierten in zwei aufeinander folgenden Saisons eine Erhöhung der anaeroben Schwelle zwischen dem Beginn der VP1 und dem Ende der Hinrunde<sup>21</sup>. Dabei scheint eindeutig zu sein, dass die Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit während der VP1 bis zur

Rückrunde beibehalten und sogar durch den regelmäßigen Spielbetrieb weiter ausgebaut werden.

Die Aufrechterhaltung eines verbesserten V4-Niveaus bis zum Saisonende, wie sie von McMillan et al.<sup>96</sup> beschrieben wird, konnte nur in einem Fall beobachtet werden (U19: Saison 05/06). In den meisten Fällen wurde zum Saisonende hin eher ein Abfall der V4 auf Niveau der VP1 verzeichnet (U19: Saison 03/04, U21 Saisons 03/04, 04/05, 05/06). Eine Beobachtung, die mit den Untersuchungsergebnissen von Brady et al.<sup>21</sup> einhergeht. Dunbar beschreibt ebenfalls einen Abfall der V4, dieser fiel jedoch nicht statistisch signifikant aus. Ermüdungserscheinungen, verbunden mit einer niedrigeren Leistungsfähigkeit zum Ende der Saison hin, gelten als mögliche Ursachen für den Abfall der Ausdauerleistungsfähigkeit<sup>38</sup>. Allerdings werden von Brady et al. auch trainingsrelevante Gründe in Erwägung gezogen. So wird zum Ende der Saison hin das Ausdauertraining herunter gefahren, um die aufkommende Ermüdung nach einer langen und intensiven Saison etwas zu kompensieren und so für die verbleibenden Spiele möglichst ausgeruht zu sein<sup>21</sup>.

In nur einem unserer beobachteten Fälle kam es zu einer stetigen Verbesserung der V4 bis hin zum Saisonende (Amateure: Saison 06/07). Diese Beobachtung geht nicht mit anderen bisher publizierten Ergebnissen einher. Als mögliche Gründe für diese saisonale Entwicklung sind vorwiegend trainingsinhaltliche Maßnahmen anzunehmen.

Grundlegend muss angemerkt werden, dass die Ergebnisse dieser Untersuchung nur eingeschränkt mit den Resultaten anderer Arbeitsgruppen vergleichbar sind. Dadurch, dass unterschiedliche Arbeitsgruppen auch unterschiedliche Vorstellungen über das Konzept der anaeroben Schwelle befürworten und auch die angewandten Testprotokolle teilweise stark voneinander abweichen, ist die Vergleichbarkeit der erhobenen Leistungswerte kaum möglich. Ein Vergleich von Untersuchungsergebnissen bezüglich des Verhaltens bzw. der Veränderungen der anaeroben Schwelle im saisonalen Verlauf ist aber dennoch legitim. Vergleichbarer sind Werte der  $VO_2\text{max}$ , die ebenfalls in einer Vielzahl von Studien erhoben worden sind. Zwar werden hier auch von den unterschiedlichen Arbeitsgruppen

unterschiedliche Testprotokolle verwendet, für die Identifizierung der  $VO_2\text{max}$  gelten jedoch einheitliche Standardkriterien.

#### 4.5.3. Veränderungen im Mehrjahresverlauf

Wie oben gezeigt, haben bereits einige Arbeitsgruppen die Veränderungen der Ausdauerleistung während einer Saison untersucht. Dabei galt es in erster Linie anhand der gewonnenen Erkenntnisse, das Verhalten und die Entwicklung der Ausdauerfähigkeit innerhalb einer Spielzeit zu beschreiben und diese auf Basis sportartspezifischer Gegebenheiten (z.B. Periodisierung, Wettkampfkalender) und den durchgeführten Trainingsmaßnahmen zu eruieren und zu bewerten. Konsequenzen müssten erarbeitet und umgesetzt werden, damit z.B. durch entsprechende Trainingsinterventionen Schwankungen oder der Abfall der Ausdauerleistungsfähigkeit zum Saisonende hin möglichst vermieden werden können.

Die Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit über mehrere Jahre hinweg ist bisher kaum berücksichtigt worden. Den hier dargestellten Beobachtungen nach, gab es in allen Mannschaften über die letzten vier bis fünf Jahre hinweg zum gleichen Zeitpunkt im Saisonkalender keine Verbesserung der Grundlagenausdauer. Auch Brady et al.<sup>21</sup> haben in ihren über zwei Saisons gemessenen Daten keinen Unterschied zwischen den zwei Tests jeweils zu Beginn der VP1 gefunden. Grundsätzlich ist es schwer, die Langzeitentwicklung einer ganzen Mannschaft genau zu bewerten. Denn durch die teilweise hohe Fluktuation, die durch Neuzugänge, Abgänge und verletzungsbedingte Ausfälle entsteht, ändert sich der Kader von Saison zu Saison so sehr, dass eine Kontrolle derselben Stichprobe nicht möglich ist. Im Juniorenbereich wird die Fluktuation durch das altersbedingte Aufrücken in die nächste Altersstufe verstärkt. Mögliche Verbesserungen und Entwicklungen für einen gesamten Kader werden daher nicht erfasst. Langfristige Entwicklungen können somit eigentlich nur für einzelne Spieler betrachtet werden. Trotz dieser Schwierigkeiten ist eine solche Gegenüberstellung sinnvoll, würde man vergleichen wollen, ob beispielsweise Trainingsmaßnahmen zur Verbesserung der Ausdauer während der Sommerpause oder zum Saisonende hin gewirkt haben. Einerseits um zu sehen, ob man so mit einer höheren Ausdauerleistungsfähigkeit in

die Vorbereitung gehen kann als zur vorangegangenen Saison und andererseits, ob der Leistungsabfall zum Ende der Saison eventuell vermieden werden konnte.

#### **4.6. Fazit und Ausblick**

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die durch die V4 repräsentierte Grundlagenausdauer im Laufe der Saison unterschiedlich verhalten kann. In Einzelfällen stieg sie im Laufe der Saison gegenüber dem Initialwert vom Beginn der VP1 an. Im weiteren Saisonverlauf wurden sowohl ein Abfall, eine Beibehaltung als auch eine weitere Steigerung beobachtet. In einigen Fällen änderte sich die V4 während der Saison nicht. Diese unterschiedlichen Befunde bestätigen den bisherigen Forschungsstand in der Literatur. Die bisher publizierten Arbeiten berichten ebenfalls von unterschiedlichen Verläufen der anaeroben Schwelle während einer Saison. Demnach unterliegt die saisonale Entwicklung der V4 keinem einheitlichen Muster, sondern nur dem Einfluss der Trainingssteuerung. Besonders die Phase zum Saisonende hin, in der es oft zum Abfall der V4 kommt, steht unter besonderer Beobachtung. Weiterhin wurde gezeigt, dass es bezüglich der V4 keine Unterschiede zwischen Mannschaften unterschiedlicher Spiel- und Altersklassen gibt. Die Methode, ausschließlich anhand der V4 und der Leistungslaktatkurve die Ausdauerleistungsfähigkeit zu diagnostizieren, sollte hinterfragt werden. Sie liefert nicht genug Informationen für eine präzise Beschreibung von Ausdauerfähigkeiten. Mögliche Unterschiede in den Energiestoffwechselkapazitäten zwischen Mannschaften unterschiedlicher Spiel- und Altersklassen werden somit nicht identifiziert.

In einer weiteren Ausarbeitung zum Thema Energiebereitstellung/Ausdauerdiagnostik und Trainingssteuerung wird der Feld-Stufen-Test, mit seiner Steuergröße V4, der Spiroergometrie ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) gegenübergestellt. Schwellenkonzepte (4mmol, IAS u.a. Schwellen) und Laktattests dienen noch heute dazu, Intensitäten und Umfänge in der Belastungsgestaltung festzulegen. Die folgende Studie soll das Verständnis von Laktat und der daraus folgenden Trainingssteuerung und Festlegung der Belastungsnormative aufzeigen.

#### 4.7. Feldstufentest vs. Spiroergometrie

Der Feldstufentest, der seit Ende der achtziger Jahre als Symbol für den modernen Profifußball und dessen Nähe zur Sportwissenschaft steht, muss nach heutiger Erkenntnislage hinterfragt werden.

In den letzten Jahren sind im deutschen Fußball Anstrengungen erkennbar, mit auf neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhenden, modernen und innovativen Trainingsmethoden, das Training an den Einzelnen abzustimmen und somit dessen Fähigkeiten noch besser zu entwickeln. Nicht nur für eine optimale orthopädische und internistische Versorgung der Spieler wird gesorgt, sondern auch für deren sportwissenschaftliche Betreuung (Leistungsmedizin, Biomechanik, Trainingswissenschaft, Psychologie, Sporternährung etc.). Nicht umsonst entstehen nun auch in der Bundesliga, nach dem Vorbild großer europäischer Topvereine, moderne Leistungszentren, die den Mannschaften optimale Möglichkeiten im Bereich Leistungsdiagnostik, Therapie und Training bieten.

Bei all diesen Bemühungen und Investitionen wirkt es daher paradox, dass bei der Ausdauerdiagnostik in vielen Bereichen immer noch ausschließlich nach ANS getestet wird, obwohl deren Aussagekraft nur auf die Grundlagenausdauer limitiert ist. Daher wird die ANS, als alleiniger Parameter zur Klassifizierung der Ausdauerleistungsfähigkeit eines Spielers und als einzige Steuerungsgröße des Ausdauertrainings, dem Anspruch einer Optimierung des Trainings durch Individualisierung nicht gerecht <sup>15</sup>.

Eine detaillierte Beschreibung und Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeiten und die Erstellung eines genaueren Ausdauerprofils auf Basis leistungsphysiologischer Parameter, kann mittels eines Feldstufenstests und der daraus bestimmten LLK und ANS nicht erfolgen. Denn identischen LLK samt ANS bei mehreren Spielern können unterschiedliche Stoffwechselzusammenhänge und somit unterschiedliche energetische Kapazitäten zu Grunde liegen. Die mittels Stufentest erhobene LLK resultiert u. a. aus dem Verhältnis der maximalen anaeroben Fähigkeit und der maximalen aeroben Kapazität ( $VO_{2max}$ ) <sup>15;90</sup>. Dies bedeutet, dass Spieler mit unterschiedlich hohen Ausprägungen dieser Stoffwechselfähigkeiten eine gleiche LLK und ANS aufweisen können. Wird in so

einem Fall das Training nur auf Basis der ANS gesteuert, würden die Spieler das gleiche Training absolvieren, obwohl bei ihnen unterschiedliche Stoffwechselleistungen vorliegen. Die daraus resultierende Trainingssteuerung wäre individuell nicht optimal.

Ebenfalls nicht ausreichend beschreiben werden die Trainingseffekte. Unterschiedliche Individuen reagieren unterschiedlich auf dieselben Trainingsreize (gleiche Belastung, ungleiche Beanspruchung). Durch die Bewertung von Leistungsveränderungen ausschließlich an der LLK, können weder die Ursachen für deren mögliche Verschiebung ergründet, noch können andere trainingsbedingte Anpassungen erkannt werden. Zumal Veränderungen physiologischer Faktoren nicht zwangsläufig mit einer Verschiebung der ANS einhergehen müssen. Eine differenzierte Aussage zur Trainingsanpassung bzw. Trainingswirkung ist daher nur im Verbund aller erhobenen Daten möglich.

Messwerte im Test											
Geschwindigkeit (m/s)	Zeit/km (hh:mm:ss)	%v bei 4 mmol/l	Dauer (min)	Laktat (mmol/l)	HF (1/min)	VO <sub>2</sub> (absolut) (ml/min)	VO <sub>2</sub> (relativ) (ml/min/kg)	VCO <sub>2</sub> (ml/min)	RQ	AMV (l/min)	AA
Ruhe			1:00	0,7	53	499	5,9	445	0,90	13,7	28,0
2,8	05:57	63	5:00	0,9	110	2637	31,4	2390	0,91	63,5	24,1
3,2	05:13	73	5:00	0,9	132	3116	37,1	2990	0,96	77,1	24,8
3,6	04:38	82	5:00	1,3	149	3536	42,1	3477	0,98	94,0	26,6
4,0	04:10	91	5:00	2,2	158	3850	45,8	3911	1,02	109,4	28,4
4,4	03:47	100	5:00	3,9	173	4279	50,9	4464	1,04	131,6	30,8
4,8	03:28	109	5:00	6,9	182	4806	57,2	5186	1,08	157,6	32,8
E3				5,8	117						

Schwellenwerte						
Laktat (mmol/l)	Geschwindigkeit (m/s)	Zeit/km (hh:mm:ss)	HF (1/min)	VO <sub>2</sub> (absolut) (ml/min)	VO <sub>2</sub> (relativ) (ml/min/kg)	RQ
2,0	3,9	04:16	156	3767	44,8	1,01
4,0	4,4	03:47	173	4293	51,1	1,04

Maximalwerte im Test						
Laktat (mmol/l)	HF (1/min)	VO <sub>2</sub> (absolut) (ml/min)	VO <sub>2</sub> (relativ) (ml/min/kg)	RQ	AMV (l/min)	AA
6,9	182	4865	57,9	1,08	160,7	35,2

**Abbildung 16** Erhobene Parameter und gemittelte Werte für jede Belastungsstufe eines Laufband-Stufentests sowie die berechneten Schwellenwerte (V<sub>2</sub> und V<sub>4</sub>) und die gemessenen Maximalwerte.

Anders als beim größten Teil der deutschen Vereine und der Nationalmannschaften, ist in anderen Ländern der Einsatz spiroergometrischer Untersuchungen, sowohl in den Spitzenvereinen der Liga als auch in den Nationalteams, der Standard in der Ausdauerdiagnostik<sup>2;68;70;146</sup>.

Eine Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen, in Kooperation mit Vereinen der ersten englischen und schottischen Liga zeigen, dass der standardmäßige Einsatz der Spiroergometrie als leistungsdiagnostische Maßnahme bei einer Profi-

Fußballmannschaft trotz des deutlich größeren Aufwands zu bewältigen ist<sup>2,68;70;146</sup>. Auch immer mehr deutsche Vereine erkennen den Nutzen und die Vorteile der Spiroergometrie und berücksichtigen sie verstärkt in ihren leistungsdiagnostischen Konzepten.

Wird der FST jedoch durch einen im Labor durchgeführten Laufband-Stufentest (LST) ersetzt und durch den Einsatz spirometrischer Untersuchungen erweitert, wird das ganze Testverfahren qualitativ aufgewertet. Einerseits wird dadurch die Standardisierung der leistungsdiagnostischen Maßnahmen verbessert, welche einen genaueren Längsschnittvergleich der Testergebnisse erlauben. Bedeutender ist jedoch, dass sich anhand der spiroergometrischen Daten detailliertere Informationen bezüglich der unterschiedlichen Stoffwechselkapazitäten des Athleten gewinnen lassen. Weiterführend lassen sich, in Abhängigkeit des angewendeten Testprotokolls, Aussagen über Laufökonomie und durch zusätzlich indirekt kalorimetrische Auswertungen Informationen über den Energieumsatz und den Substratstoffwechsel (Kohlenhydrate/Fette) bei unterschiedlichen Leistungsstufen treffen<sup>43;44,79</sup>.

Ziel ist es, hinsichtlich der Trainingssteuerung für jeden einzelnen Spieler ein auf sein ausdauerphysiologisches Profil individuelles und somit auch effizienteres Ausdauertrainingsprogramm zu erstellen.

Absicht dieses Kapitels ist es, spiroergometrisch anfallende Kenngrößen aufzuzeigen, die sich in besonderer Weise für die Leistungsdiagnostik im Profifußball eignen und auf deren Grundlage umfassendere und differenziertere Kenntnisse über die energetische Stoffwechsellistung der einzelnen Spieler ermöglicht werden. Die Konsequenz ist, dass bei Umsetzung dieser Erkenntnisse für einzelne Spieler andere Trainingsinhalte- und Schwerpunkte resultieren, als wenn die Trainingsplanung ausschließlich nach der ANS erfolgen würde.

#### **4.8. Methodik**

28 männliche Profifußballer (Alter:  $22,7 \pm 3,8$  Jahre; Gewicht:  $79,0 \pm 7,2$  kg; Größe:  $183,1 \pm 7,5$  cm) einer Bundesligamannschaft absolvierten zu Beginn der

Vorbereitung zur Saison 2008/2009 im Rahmen der leistungsdiagnostischen Untersuchung einen Ausdauerstest zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit.

#### 4.9. Testprotokoll

Die ausdauerdiagnostischen Untersuchungen wurden zu Beginn der achtwöchigen Vorbereitungsperiode durchgeführt. Im Rahmen eines neuen, erweiterten leistungsdiagnostischen Konzeptes fanden die Tests unter standardisierten Laborbedingungen auf dem Laufband und nicht mehr in Form eines FST statt. Auf dem Laufband galt es, einen Stufentest zu bewältigen, der dem von Mader et al.<sup>89</sup> konzipierten Belastungsprofil zur Ermittlung der ANS entsprach (Startgeschwindigkeit: 2,8 m/s; Stufensteigung: 0,4 m/s; Laufbandneigung: 1°; Stufendauer: 5:00 min.; Pause zwischen den Stufen: 30 s). In den 30 Sekunden Pause zwischen den Stufen wurden 20 µl Kapillarblut aus dem Ohrläppchen zur Laktatbestimmung entnommen. Zusätzlich wurden die Spieler den ganzen Test über an einen Spirometer (ZAN 600 USB, ZAN Messgeräte GmbH, Oberthulba, Deutschland) angeschlossen, respiratorische Parameter wurden somit Breath by Breath registriert. Die Spieler wurden angewiesen, sich maximal auszubelasten. Die Absicht war, mittels der Spirometrie einen möglichst maximalen Wert der  $VO_2$  zu bestimmen. Ein Stufentest mit Stufendauern von 5 min ist jedoch keine alleinige Methode zur Bestimmung der  $VO_{2max}$ , da die für die Messung der  $VO_{2max}$  allgemein geltenden Kriterien<sup>3</sup> nicht erfüllt werden. Die Maximalwerte im ST liegen unter der  $VO_{2max}$ <sup>88</sup>. Sie ermöglichen dennoch eine annähernd genaue Quantifizierung der maximalen aeroben Fähigkeit der Spieler. Es muss aber beachtet werden, dass die Differenz zwischen  $VO_{2max}$  und dem  $VO_2$ -Peak im ST individuell unterschiedlich hoch ausfallen kann, bis zu zehn Prozent<sup>88</sup>.

In einigen deutschen Lehrbüchern zum Fußballtraining wird der FST als submaximaler Test beschrieben, der in erster Linie zur Ermittlung der ANS dienen soll und daher nicht bis zur maximalen Ausbelastung durchgehalten werden muss<sup>13;140</sup>. Während der hier vorgestellten Untersuchung wurde jedoch anhand spiroergometrisch erfassten Größen kontrolliert, ob vor dem Testabbruch ausgewählte Ausbelastungskriterien (Respiratorischer Quotient (RQ) > 1,1; Atemäquivalent (AÄ) > 30; Atemfrequenz (BF) > 60) erfüllt wurden.



Auf Basis der entnommenen Blutproben und der daraus gemessenen Laktatkonzentration wurde die LLK gebildet. Nach MADER et al.<sup>89</sup> wurde die ANS berechnet. Dabei ist hier festgelegt, dass MADER et al. die von ihnen bestimmte ANS mit dem maximalen Laktat-Steady-State (maxLaSS) gleichsetzen<sup>90;89</sup>. Diese Festlegung ist von großer Wichtigkeit, da das Konstrukt der ANS in der Sportphysiologie international nicht einheitlich definiert ist und auf unterschiedlichen Konzepten und Berechnungen beruht. Nach MADER et al.<sup>89;90</sup> stellt sich der maxLaSS bei einer Laktatkonzentration im Blut von 4mmol/l ein. Mit dem von MADER et al.<sup>89;90</sup> konzipierten Testprotokoll für einen Laufbandstufentest (LST) lässt sich valide die Geschwindigkeit (V) ermitteln, bei der sich eine Laktatkonzentration von 4 mmol/l und somit das maxLaSS einpendelt. Die Herzfrequenz wurde ebenso wie die respiratorischen Größen kontinuierlich erfasst. Daraus wurden folgende Parameter, die für die Trainingssteuerung und für diese Ausarbeitung relevant sind, erhoben: Die V4 (in diesem Fall gleich maxLaSS), Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) an jeder Belastungsstufe und an der V4, der im Test erreichte Maximalwert der Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ -Peak), die Herzfrequenz (HF) am Ende jeder Belastungsstufe, der V4 sowie die maximale Herzfrequenz (HFmax) und die maximale Laktatkonzentration. Anhand dieser Daten lässt sich beurteilen, welcher Anteil an der gesamt erbrachten Maximalleistung vorwiegend aerob gedeckt bzw. über einen verstärkten anaeroben Stoffwechsel mit einhergehender Laktatanhäufung erbracht wurde.

Auf Basis dieser Erkenntnisse über die (unterschiedlich große) Ausprägung der aeroben und anaeroben Fähigkeiten, lassen sich differenzierte Trainingsvorgaben ableiten, die das individuelle Stoffwechselprofil der Spieler berücksichtigen.

Im Gegensatz zu den in der Fußball- und Ausdauertrainingsliteratur beschriebenen und in die Praxis umgesetzten Methoden der Belastungssteuerung, lassen sich so gezielt mögliche Defizite in der Grundlagenausdauer und/oder der anaeroben Fähigkeit angehen. Denn in der Trainingspraxis und der Wissenschaft erfolgt die Festlegung der Intensitätsbereiche nach zwei Mustern. Bei Anwendung der LLK wird die ANS gleich 100 Prozent gesetzt und als Bezugspunkt zur Ableitung der unterschiedlichen Trainingsintensitäten verwendet, die als Prozent-ANS angegeben werden<sup>7;20;37;41;61</sup>. Bei spiroergometrischen Untersuchungen erfolgen die

Intensitätsvorgaben vorwiegend in Form von festgelegten Prozentsätzen oder Prozentbereichen der  $\text{VO}_2\text{max}$  oder der maximalen Herzfrequenz (HFmax) 64;68,69;70;146

#### 4.10. Exemplarische Einzelfallergebnisse

Exemplarisch wird anhand der Testdaten von drei Spielern (S1, S2, S3) gezeigt, dass ähnliche LLK und gleiche V4-Werte aus unterschiedlichen Kombinationen metabolischer/physiologischer Kapazitäten resultieren können. Wird das Ausdauertraining auf Basis der V4 gesteuert, würden alle drei Spieler das gleiche Programm absolvieren. Unter Berücksichtigung der  $\text{VO}_2$  und dem daraus erkennbaren Verhältnis zwischen aerober und anaerober Kapazität, lassen sich unterschiedliche Trainingsschwerpunkte und Intensitäten für die drei Spieler festlegen.

**Tabelle 24** Anthropometrische Daten der Spieler sowie leistungsdiagnostische Daten an der V4 und Maximalwerte im Stufentest.

	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	V4 [m/s]	HF 4mmol [1/min]	rel. $\text{VO}_2$ bei 4mmol [ml/min/kg]	Max Laktat [mmol/l]	Max HF [1/min]	Peak rel. $\text{VO}_2$ [ml/min/kg]
<b>Spieler 1 (S1)</b>	30	182	76,0	3,8	168	47,7	8,8	186	55,0
<b>Spieler 2 (S2)</b>	22	182	65,0	3,8	168	46,2	9,2	195	61,6
<b>Spieler 3 (S3)</b>	26	191	84,0	3,8	172	57,5	5,3	173	59,7

Wie aus Tabelle 24 entnommen werden kann, weisen alle drei Spieler eine gleiche V4 von 3,8 m/s auf. Aus Abbildung 17 wird erkennbar, dass auch die LLK einen fast identischen Verlauf haben.

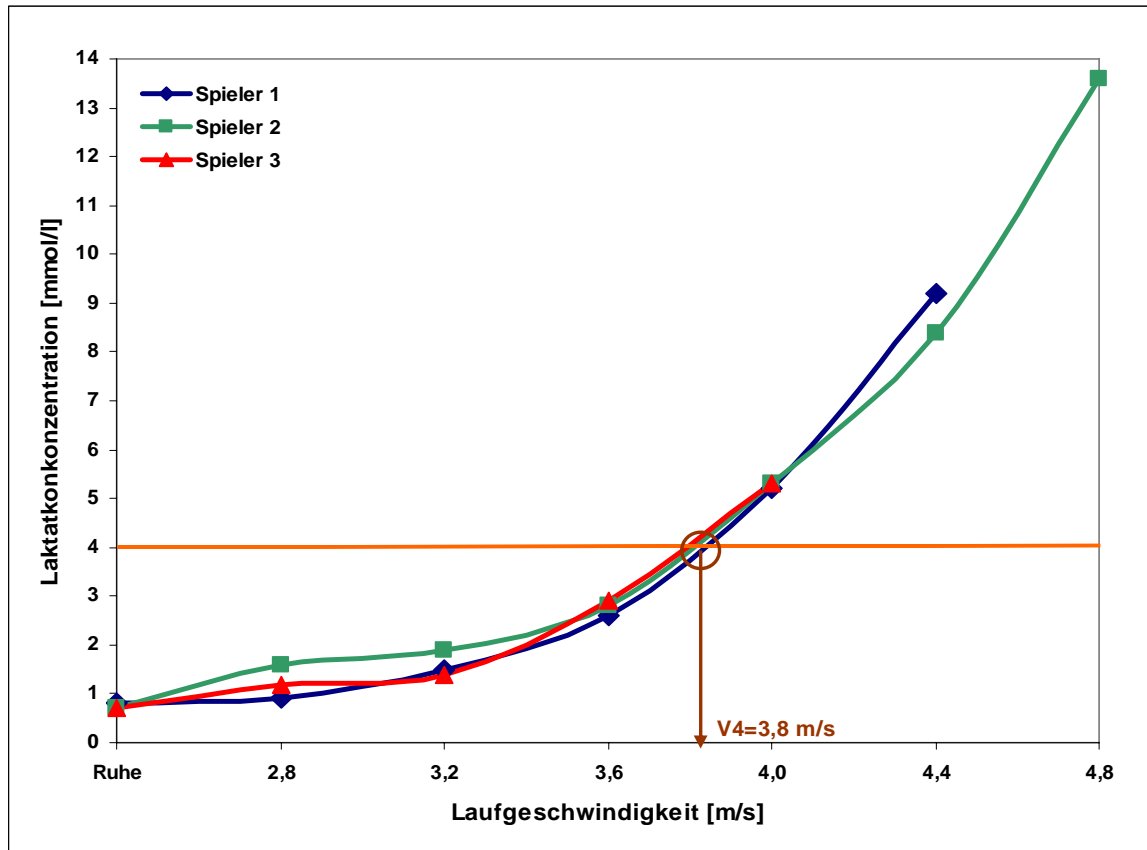


Abbildung 17 LLK der 3 Spieler im Stufentest.

Nur die Belastungsdauer und somit auch die im Test erreichten maximalen Laktatwerte sind unterschiedlich hoch. Das alleine deutet schon darauf hin, dass zwar die drei Spieler absolut gesehen über eine gleiche Grundlagenausdauer verfügen, diese aber mit unterschiedlichen Stoffwechsellmustern erbracht werden. Eine genaue Analyse der Daten ergab, dass bei S1 die  $VO_2$  an der V4 bei 87 Prozent des  $VO_2$ -Peak lag. Bei Spieler 2 waren es 75 Prozent und bei Spieler 3 96 Prozent. Dies verdeutlicht, dass die drei Spieler ihre aerobe Kapazität unterschiedlich stark ausnutzen. S3 kann somit einen durchaus größeren Anteil seiner aeroben Kapazität frei von Laktatanhäufung ausschöpfen als Spieler 1 und 2. Diese größere Nutzbarkeit des  $VO_2$ -Peaks stellt zwar relativ gesehen eine bessere Grundlagenausdauer dar, berücksichtigt man jedoch die verrichtete Arbeit (Abbruch nach 5 min bei 4,0 m/s), ist die Gesamttestleistung nicht mehr so gut einzuordnen. Denn Spieler 2 erreicht die V4 zwar schon bei 75 Prozent seines  $VO_2$ -Peaks, er kann aber bei gleicher Schwellenleistung noch 25 Prozent seiner maximalen aeroben Kapazität über eine größere anaerobe Stoffwechselleistung Energie für weitere zwei Belastungsstufen generieren (Abbruch nach 5 min bei 4,8 m/s). Für so einen deutlichen Leistungsunterschied würde man primär eine deutliche Differenz im  $VO_2$ -Peak

vermuten, da diese auch eher mit einer größeren Ausdauerleistung in Verbindung gebracht wird. In diesem Fall liegt der  $\text{VO}_2$ -Peak beider Spieler jedoch so nahe beieinander (S2: 61,6 ml/min/kg; S3: 59,7 ml/min/kg), dass dieser nicht den Unterschied der im Test erbrachten Leistung bedingen kann. Dieser lässt sich durch eine höhere laktazide Fähigkeit erklären, die sich wiederum im maximalen Laktatwert widerspiegelt. Dieser beträgt bei S2 9,2 mmol/l, bei S3 hingegen 5,3 mmol/l. Ein anderes Stoffwechsellmuster weist S1 auf. Dieser Spieler hat im Test eine Belastungsstufe mehr als S3 absolviert (Abbruch nach 5 min bei 4,4 m/s), weist dabei jedoch einen niedrigeren  $\text{VO}_2$ -Peak und eine geringere aerobe Ausschöpfung ( $\text{VO}_2$  an der V4 bei 87 Prozent  $\text{VO}_2$ -Peak) auf. S1 verfügt somit ebenfalls über eine höhere anaerobe Kapazität als S3, die es ihm ermöglicht, bei gleichzeitiger Laktatakkumulation die vorgegebene Leistung einer Belastungsstufe länger aufrechtzuerhalten. Er vermag es aber nicht, an die Leistung von S2 heranzukommen. Der um 10 ml/min/kg höhere  $\text{VO}_2$ -Peak von S2 dürfte in diesem Fall für den Leistungsunterschied ausschlaggebend sein.

#### 4.11. Diskussion und Schlussfolgerung

Aus dem dargestellten Vergleich zwischen den drei Spielern sollte deutlich werden, dass trotz eines ähnlichen Verlaufs der LLK und einer gleichen V4 sich die Ausdauerkapazitäten erheblich unterscheiden. Es handelt sich damit um Unterschiede, die bei einem FST ohne Spirometrie unbeachtet geblieben wären. Demnach würden die Intensitätsvorgaben als Prozent-V4 erfolgen und die drei Spieler würden das gleiche Programm für das Ausdauertraining absolvieren. Unter Berücksichtigung der zusätzlich erhobenen spirometrischen Daten, wären für die einzelnen Spieler individuellere differenziertere Trainingsschwerpunkte zu setzen, da sie Ihre Stärken bzw. Defizite in unterschiedlichen Komponenten der Ausdauerleistungsfähigkeit haben.

Auf die beschränkte Aussagekraft der LLK und der V4 machten Bleicher et al.<sup>15</sup> schon aufmerksam. Sie bemängeln, dass eine auf die Bestimmung der LLK reduzierte Leistungsdiagnostik nicht genügend Informationen über die unterschiedlichen Energiestoffwechselkapazitäten liefert, wodurch das metabolische Leistungsprofil eines Sportlers nicht hinreichend genau charakterisiert werden kann. Sie weisen ausdrücklich auf die Notwendigkeit der spirometrischen Messung

während des Laufbandstufentest und der Bestimmung der  $VO_2\max$  mittels eines Maximaltests hin. Weitere fußballspezifische Publikationen nennen ebenfalls die spiroergometrisch erfasste  $VO_2\max$ , die Laufökonomie, die ANS sowie anaerobe Kapazitäten als bestimmende Faktoren der Ausdauerleistungsfähigkeit 5;8;15;68;77;132;146

In diesem Zusammenhang soll auch verdeutlicht werden, dass bei der Ausarbeitung von individuell differenzierten Ausdauertrainingsprogrammen, möglichst alle Parameter, respiratorische Größen und die Laktatkonzentrationen, berücksichtigt werden müssen. Diese Ausarbeitung zeigt, dass die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit ausschließlich anhand der LLK zu Belastungen einzelner Spieler führen kann, die nicht spezifisch auf die Verbesserung möglicher Defizite ausgerichtet sind. Dies ist aber ebenfalls der Fall, wenn Intensitätsvorgaben für das Ausdauertraining in Form von einheitlichen Prozentsätzen der  $VO_2\max$  oder der  $HF\max$  erfolgen, so wie es zu Trainings- und Studienzwecken fast standardmäßig praktiziert wird. Das in dieser Arbeit aufgeführte Beispiel der drei Spieler sowie zahlreiche Untersuchungen zeigen <sup>81;101;142</sup>, dass solche Vorgaben zu individuell unterschiedlichen metabolischen Reaktionen und Beanspruchung führen, denn sie berücksichtigen ebenfalls nicht die individuell unterschiedlich ausgeprägten Stoffwechsellkapazitäten.

Nur eine genaue Erfassung und Berücksichtigung der unterschiedlichen Teilbereiche der Ausdauerleistungsfähigkeit ermöglicht eine differenzierte und individuell abgestimmte Trainingsgestaltung. Weiterhin müssen im Prozess der Leistungssteuerung bei der Evaluierung des Trainings die unterschiedlichen Stoffwechsellparameter in ihrer Vielseitigkeit berücksichtigt werden.

Bei Betrachtung der wissenschaftlichen Fachliteratur in dem Bereich Leistungsdiagnostik und Training wird erkennbar, dass es zwischen den unterschiedlichen Arbeitsgruppen keine einheitlichen Definitionen und Testprotokolle zur Bestimmung der leistungsdiagnostischen Parameter gibt. Die Anwendung der Spiroergometrie samt Messung der Laktatkonzentration zur Ausdauerleistungsdiagnostik im Großteil der internationalen fußballspezifischen Untersuchungen zeigt jedoch, dass deren Einsatz in der Leistungsdiagnostik von überragendem Stellwert ist und somit weiter im deutschen Spitzenfußball etabliert werden sollte. Weiterhin lassen sich über die gemessenen  $VO_2$  direkt quantitative

Rückschlüsse über die erbrachte Energieleistung ziehen, da der verbrauchte Sauerstoff im linearen Verhältnis zur der aerob umgesetzten Energie steht. Dies ist jedoch weniger für die Berechnung der im Test erbrachten Gesamtleistung wichtig als für die Ermittlung des Energieumsatzes bei auswählbaren Leistungsstufen. Aus diesem lassen sich weiterführend Wirkungsgrad und Laufökonomie für ausgewählte Leistungsstufen berechnen. Eine quantitative Bestimmung der anaerob umgesetzten Energie ist mittels der spiroergometrischen Daten nicht möglich. Eine steigende Laktatkonzentration ist zwar ein Indikator für die erhöhte anaerob umgesetzte Energiemenge, aber eine genaue Berechnung ist auch darüber nicht möglich, denn sie gibt nicht genau wieder, wieviel Energie anaerob Laktat erzeugt wird.

Die Laktatkonzentration im Blut gilt verbreitet noch als die Bilanz aus Laktatproduktion und -elimination in Muskulatur, Herz und Leber. In den letzten Jahren hat die wissenschaftliche Forschung neue Erkenntnisse hervorgebracht, die eine erweiterte Sichtweise auf das Laktat hinsichtlich dessen Funktionen, Wirkungen<sup>49;54</sup> und Kinetik<sup>55;80</sup> ermöglichen. Vor allem die Erkenntnisse über den Laktattransport deuten darauf hin, dass bei der Beurteilung der Blutlaktatkonzentrationen auch dem Transport zwischen unterschiedlichen Kompartimenten (Muskel  $\leftrightarrow$  Plasma  $\leftrightarrow$  Erythrozyten) oder innerhalb des gleichen Gewebes, also zwischen den Fasern eines Muskels Bedeutung zukommt<sup>80</sup>. Dies impliziert auch, dass z.B. trainingsbedingte Veränderung der ANS nicht unbedingt die Folge einer veränderten Laktatproduktion sein muss, sondern ebenfalls durch eine erhöhte Aktivität des Laktattransports bedingt sein kann. Weitere Befunde geben außerdem Grund zum Anlass, die bisher vor allem in der Sportpraxis fest verankerten Vorstellungen zum Laktat zu überprüfen und zu erweitern. Diese Befunde betrachten Laktat vor allem als ein Produkt des anaeroben Stoffwechsels, welches bei steigender Anhäufung eine Übersäuerung induziert und somit zur Muskelermüdung führt. Einerseits wird auch auf biochemischer Ebene kontrovers diskutiert, ob das Laktat überhaupt eine Ermüdung herbeiführen kann und andererseits scheinen andere Faktoren entscheidender für die Muskelermüdung zu sein als das Laktat<sup>18;19;82;126</sup>. Außerdem besitzt Laktat neben seiner Rolle als Brennstoff, für Herz und Gehirn<sup>32</sup>, aber auch für die Arbeitsmuskulatur, Funktionen als Signalmolekül, das u. a. Wachstums- und -neubildungsvorgänge, z.B. von Gefäßen und Sehngewebe, stimulieren kann<sup>114</sup>.

Hohe Laktatwerte, wie sie bei hochintensiven Belastungen auftreten, sind demnach also nicht schädlich und per se nicht der Grund für einen Leistungsabfall. In Anlehnung an diese modernere Betrachtungsweise des Laktats, liefern aktuelle Trainingsstudien Erkenntnisse, die der bisherigen Ansicht und Lehrmeinung über Anpassungen spezifischer Trainingsbelastungen entgegentreten und somit auch neue trainingsmethodische Aspekte aufzeigen. Neuere Untersuchungen zeigen, dass mit hochintensivem Training (HIT) gleiche Initialanpassungen im aeroben System und Leistungsverbesserungen erzielt werden, wie mit einem klassischen, extensiven Ausdauertraining<sup>29;52</sup>. Der große Vorteil von HIT war, dass die dafür aufgewandte Zeit und der Trainingsumfang ca. 70 Prozent bzw. 90 Prozent geringer waren als beim klassischen Ausdauertraining. Diese Ergebnisse stoßen eine trainingsmethodische Diskussion an, bei der die bisher geltenden Vorstellungen über die Spezifität der Anpassung an einen bestimmten Reiz zumindest erweitert werden müssen<sup>62</sup>. Dennoch wäre es sehr verfrüht, jetzt schon über eine komplette Umstellung in der Methodik im Ausdauertraining nachzudenken, denn zum einen sind die veröffentlichten Studien nur mit untrainierten Personen durchgeführt und nur wenige Parameter des aeroben Stoffwechsels untersucht worden, und zum anderen ging die Trainingsintervention in den Versuchen nur über zwei bis acht Wochen. Befunde über die Nachhaltigkeit der Effekte von HIT und über die Anpassungen über einen längeren Zeitraum gibt es noch nicht. Für den Fußballsport sind die Erkenntnisse hinsichtlich HIT jedoch von besonders großem Interesse. Da hierbei eine Vielzahl von Fähigkeiten trainiert werden müssen, ist es von großem Vorteil, wenn in der sechs- bis achtwöchigen Saisonvorbereitung durch den Einsatz von HIT mehr Zeit für andere Schwerpunkte aufgewendet werden könnte.

Aber nicht nur unter leistungssportlichem Aspekt wurden in den letzten Jahren die Effekte von HIT verstärkt erforscht, sondern auch in der therapeutischen Anwendung bei unterschiedlichen Krankheitsbildern. So hat HIT bei Krankheiten wie Diabetes Typ1<sup>59;58</sup> sowie bei Lungen- und koronaren Herzerkrankungen<sup>74;127</sup> zu einer Verbesserung der Glucoseregulation<sup>58</sup> des aeroben Stoffwechsels<sup>59;127</sup> und von respiratorischen Kenngrößen<sup>74</sup> geführt. Bei einigen der untersuchten Parameter war die Verbesserung durch HIT signifikant höher als durch extensives Training<sup>74;127</sup>.

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse, so wie methodische und technische Innovationen, gilt es zu beachten und zu verfolgen. Sie werden dazu führen, dass das Verständnis der Komplexität des Energiemetabolismus zunimmt und auch ein

besser abgesichertes Wissen ermöglichen, welches in Zukunft einen Zugang in die Leistungssportpraxis in Form von innovativen Trainings- und Diagnostikmethoden finden wird.

#### **4.12. Zusammenfassung**

Im deutschen Fußball ist der überwiegende Ansatz der Leistungsdiagnostik die Ermittlung einer LLK und ANS mittels FST. Die ANS ist daher das Hauptkriterium zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit und zur Steuerung des Ausdauertrainings. Spiroergometrische Untersuchungen hingegen werden im deutschen Fußball kaum angewandt, obwohl sie in der Wissenschaft, national und international, in vielen anderen Sportarten den leistungsdiagnostischen Standard darstellen. Mögliche Gründe dafür könnten sein, dass diese Untersuchungen zeitlich und finanziell deutlich aufwändiger sind, aber auch, dass ein traditionelles Verständnis in einzelnen Vereinen dazu führt, keine anderen Methoden als die bereits bekannten anzuwenden. Spiroergometrisch erhält man im Vergleich zum FST ungleich mehr Informationen, was eine genauere Beschreibung und Profilerstellung von Ausdauerkapazitäten ermöglicht. Individuell optimierte und differenziertere trainingsmethodische Maßnahmen können auf Grundlage eines fundierten, mittels Spiroergometrie und Laktatanalysen erstellten Stoffwechselleistungsprofils getroffen werden. Daher gilt für den Hochleistungsfußball – im Optimum schon im Jugendbereich – die Etablierung der Spiroergometrie in der Leistungsdiagnostik, wie sie im Ausland und in anderen Sportarten schon lange üblich ist. Neuere Erkenntnisse aus der Wissenschaft und technische Entwicklungen sollten offener und mit verstärktem Interesse beobachtet werden. Deren Einbeziehung kann die Leistungssteuerung im Fußball weiter effizienter und effektiver werden lassen. Noch ist der Zeitversatz zwischen der Wissenschaft und deren Anwendung in der Praxis so groß, dass, wenn eine neue Erkenntnis endlich in der Praxis angekommen ist, diese längst nicht mehr dem aktuellsten Forschungsstand entspricht.



## 5. Individual- und Mannschaftsverhalten

### 5.1. Individuelle und gemeinsame Verhaltensweisen

Im Vergleich zu der großen Anzahl von veröffentlichten Materialien, die sich mit den biomechanischen, physiologischen und medizinischen Aspekten von Fußballspielen befassen, sind Veröffentlichungen über das Mannschaftsverhalten und die Dynamik der Spiele, d.h. Spielanalyse, eher selten. In den letzten zwei Jahrzehnten ist jedoch das Interesse an dieser Art der Analyse gestiegen. Die bisherigen Studien von Fußballspielen beschränkten sich auf die Statistik eines einzelnen Aspekts des Spiels, z.B. Torverteilung<sup>91;110;14</sup> oder Laufdistanz<sup>9;125;37</sup>, Besitz und Bewegung des Balls<sup>87;97</sup>, Parameter der Mannschaftsstärke<sup>56</sup>, zeitliches Verhaltensmuster<sup>20</sup> oder Zeitanteile für verschiedene Bewegungen oder verschiedene Spielergruppen<sup>1</sup>, verteilt über verschiedene Wettbewerbe (Pokalwettbewerbe und Meisterschaften).

Ziel dieses Kapitels ist es, erstmals eine quantitative Analyse für mehrere Aspekte eines einzelnen Spiels auf Grundlage der Daten für die detaillierten 2D-Bewegungen aller 22 Spieler und des Balls zu erstellen.

Dabei wird nicht mit à priori-Hypothesen gearbeitet, sondern es werden Verfahren der explorativen Datenanalyse (EDA) eingesetzt. Diese eignen sich z.B. für das Erkennen komplexer Zusammenhänge („Muster“) besser.

Derartige Verfahren sind nach unserer Kenntnis in dieser Form noch nicht eingesetzt worden. Es handelt sich deshalb um eine Pilotstudie. Ein Teil der hier vorgestellten Ergebnisse wurde von Yue, Broich, Seifriz und Mester publiziert.<sup>150</sup>

### 5.2. Methodik

#### 5.2.1. Untersuchungsgut

Es wird exemplarisch eine ausführliche Analyse einer Begegnung basierend auf den detaillierten Daten der 2D-Bewegungen aller 22 Spieler und des Balls für das Spiel durchgeführt, in der die individuellen und gemeinsamen Verhaltensweisen der Spieler beider Mannschaften sowie die Bewegung des Balls als unterschiedliche Zeitreihen dargestellt werden. Geometrische Zentren, Radien, Entwicklung der Geschwindigkeiten und Ballbesitz beider Mannschaften werden definiert und als Zeitfunktionen berechnet. Das Bewegungsausmaß aller Spieler sowie verschiedener Spielergruppen (Verteidiger, Mittelfeldspieler, Stürmer) beider Mannschaften

während der kompletten ersten Halbzeit, die Angriffsphase von Mannschaft A und die Angriffsphase von Mannschaft B werden entsprechend berechnet und zeigen das zeit- und spielabhängige Verhalten der beiden Mannschaften während verschiedener Phasen auf.

Die Zeitanteile des Ballbesitzes von jeder Mannschaft und die Zeitanteile verschiedener Phasen werden ebenfalls berechnet. Das hauptsächliche Ziel dieses Kapitels ist es, allgemeine mathematische Hilfswerkzeuge für die ausführliche Analyse zur Verfügung zu stellen und mögliche Muster aufzudecken, wenn die ausführlichen 2D-Daten zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse liefern das Rohmaterial für mehrere, potenzielle "Indikatoren", die beim Training verwendet werden könnten, um die Leistung zu verbessern und um möglicherweise Vorhersagemodelle zu entwickeln.

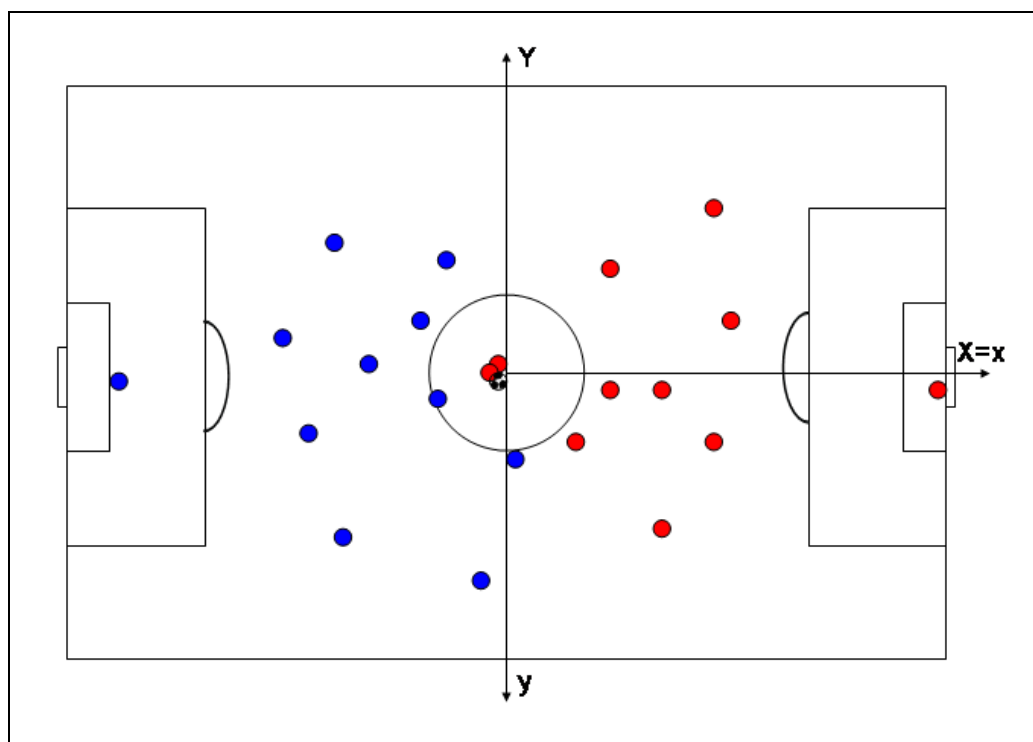
### 5.2.2. Datenherkunft

Die Daten wurden durch die Software „Amisco Pro“ und die Einrichtung „Amisco System“ bereitgestellt, die beide von SUP (Sport Universal Process, Nizza, Frankreich) hergestellt werden. Aus Gründen der Vereinfachung wurde nur die erste Halbzeit eines Spiels analysiert, in der kein Spielerwechsel vorgenommen wurde, so dass nur 22 Spieler an der ersten Halbzeit teilnahmen. Das ursprüngliche, von Amisco übernommene Koordinatensystem  $(x, y)$ , im Folgenden „Amisco Koordinatensystem“ genannt, wird in Abbildung 18 gezeigt und ist ein System für Linkshänder. Da die meisten Grafikprogramme ein System für Rechtshänder verwenden, wurde wie folgt ein Physikalisches Koordinatensystem  $(X, Y)$  eingeführt (vgl. Abbildung 18):

$$X = x \quad Y = -y \quad (1)$$

Zur grafischen Vereinfachung werden in dieser Studie nur physikalische Koordinaten und ihre abgeleiteten Mengen verwendet. Das Spiel, das hier im Detail analysiert wird, fand im Mai 2007 zwischen zwei deutschen Bundesliga-Mannschaften (A und B) statt. Die ausführlichen 2D-Daten wurden von SUP bereitgestellt. Für die gemessene Halbzeit ist das „Heim“-Halbfeld  $X < 0$  bzw.  $X > 0$  für Mannschaft A bzw.

Mannschaft B. Die Spieler jeder Mannschaft werden von  $i = 1, \dots, 11$  gezählt. Diese Zahlen haben nichts gemeinsam mit den ursprünglichen Trikotnummern der Spieler im Spiel. Es können auch Begriffe wie „Spieler A3“ und „Spieler B5“ verwendet werden, um den Spieler  $i = 3$  von Mannschaft A bzw. den Spieler  $i = 5$  von Mannschaft B zu benennen. Spieler A1 und B1 sind die Torwarte der beiden Mannschaften. Die Positionen aller anderen Spieler (Stürmer, Verteidiger, Mittelfeldspieler) werden durch Berechnungen in Kapitel 5.4. festgelegt. Abbildung 18 zeigt das Amisco-Koordinatensystem und die physikalischen Koordinatensysteme sowie die Anfangsphase der ersten Halbzeit.



**Abbildung 18** Amisco-Koordinatensystem  $(x, y)$  und das physikalische Koordinatensystem  $(X, Y)$ <sup>150</sup>.

Die von SUP bereitgestellten Ausgangsdaten sind die 2D-Positionen aller 22 Spieler zu jedem Zeitpunkt mit einer Abtastfrequenz von 10 Hz sowie einer Liste aller Ballkontakte. Da die 2D-Position des Spielers, der den Ball zu einer bestimmten Zeit berührt, bekannt ist, kann der Verlauf der Ballkontakte in 2D-Positionen des Balls zu jedem Kontaktzeitpunkt konvertiert werden. Wenn der Einfachheit halber weiterhin angenommen wird, dass die Bewegung des Balls zwischen zwei aufeinander folgenden Kontakten mit einer konstanten Geschwindigkeit erfolgt ist, können die Positionen des Balls für alle Zeitpunkte abgeleitet werden. Im Wesentlichen bestehen

dann die Ausgangsdaten wie folgt aus 46 Zeitreihen. Es werden die folgenden Abkürzungen verwendet

X	Abzisse bzw. X- Koordinate des 2D Koordinatensystems
Y	Ordinate bzw. Y-Koordinate des 2D Koordinatensystems
A	Mannschaft A
B	Mannschaft B
i	Nummer des Spielers, wobei $i = 1, \dots, 11$
t	Zeitpunkt
$\Delta t$	Zeitintervall zwischen zwei aufgezeichneten Zeitpunkten (0,1 sek.)
j	Nummer des aufgezeichneten Zeitpunktes
$j_{b,\min}$	Zeitpunkt des ersten Ballkontaktes
$j_{b,\max}$	Zeitpunkt des letzten Ballkontaktes
U	Längskomponente der Geschwindigkeit
V	Seitenkomponente der Geschwindigkeit
C	Geometrisches Zentrum einer Mannschaft
$\Sigma$	Sigma – Summenfunktion
R	Momentaner Radius (gemittelter Abstand zwischen allen Spielern und dem geometrischen Zentrum der Mannschaft)
$V_E$	Ausdehnungsgeschwindigkeit
d	delta oder Differenz
p	Ballbesitz

$$\{X_{Ai}(t_j), Y_{Ai}(t_j), X_{Bi}(t_j), Y_{Bi}(t_j) \mid i = 1, \dots, 11; t_j = j\Delta t; j = 0, 1, \dots, N\}$$

(2)

$$\{X_{ball}(t_j), Y_{ball}(t_j) \mid t_j = j\Delta t; j = j_{b,\min}, \dots, j_{b,\max}\}$$

(3)

Dabei ist  $\Delta t = 0,1s$ . Da das erste Tor von Mannschaft A nach 45 Minuten und 9,6 Sekunden erzielt wurde, wird als Grundlage  $N = 27120$  Messwerte angenommen,

was 45 Minuten und 12 Sekunden entspricht. Die tiefer gestellten  $A_i$ ,  $B_i$  und  $Ball$  beziehen sich jeweils auf den Spieler  $A_i$ , Spieler  $B_i$  bzw. den Ball. In (3), ergeben  $j_{b, \min}$  und  $j_{b, \max}$ , wenn sie mit  $\Delta t$  multipliziert werden, die Momente des ersten bzw. des letzten Ballkontaktes in der ersten Halbzeit. Der erste Kontakt erfolgte nach 0,3 Sek., während der letzte Kontakt, d. h. der erfolgreiche Schuss, durch den das erste Tor für Mannschaft A fiel, nach 45 Minuten 8,8 Sek. erfolgte. Daraus ergibt sich  $j_{b, \min} = 3$  und  $j_{b, \max} = 27088$ . Von den Ausgangsdaten (2) und (3) können die längs gerichteten und seitlichen Komponenten der Geschwindigkeiten aller Spieler und des Balls abgeleitet werden, erneut wie folgt als 46er Zeitreihen:

$$\{U_{A_i}(t_j), V_{A_i}(t_j), U_{B_i}(t_j), V_{B_i}(t_j) \mid i = 1, \dots, 11; t_j = j\Delta t; j = 0, 1, \dots, N\}$$

(4)

$$\{U_{ball}(t_j), V_{ball}(t_j) \mid t_j = j\Delta t; j = j_{b, \min}, \dots, j_{b, \max}\}$$

(5)

wobei z.B.

$$\left. \begin{aligned} U_{A_i}(t_j) &= [X_{A_i}(t_{j+1}) - X_{A_i}(t_{j-1})] / (2\Delta t) \quad (j = 1, \dots, N-1) \\ U_{A_i}(t_0) &= [X_{A_i}(t_1) - X_{A_i}(t_0)] / \Delta t \\ U_{A_i}(t_N) &= [X_{A_i}(t_N) - X_{A_i}(t_{N-1})] / \Delta t \end{aligned} \right\}$$

(6)

Von den oben genannten 92er Zeitreihen und deren Durchschnitten von verschiedenen Spielergruppen (z.B. Verteidiger, Mittelfeldspieler, Stürmer) konnte eine große Zahl von Kreuzkorrelationen und Leistungsspektren hergeleitet werden. Nicht alle können sinnvoll verwendet werden. Das Ziel der dynamischen Analyse ist es, die nützlichsten Informationen der oben genannten Zeitreihen zu gewinnen und herzuleiten. Die Erarbeitung und die Ergebnisse der individuellen und gemeinsamen Verhaltensweisen werden in Kapitel 5.3. dargelegt. Die Gruppierung von Spielern

und die "Hauptreihen" von Spielern verschiedener Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten werden in Kapitel 5.4. dargestellt.

Das Verständnis des Fußballspiels als eher stochastischer und nicht deterministischer Prozess wird in Kapitel 5.5. besprochen. Abschließende Bemerkungen zum ersten Teil sind ebenfalls im Kapitel 5.5. zu finden. Die Energie, die Leistungsdichten sowie verschiedene Korrelationen und einige potenzielle *Indikatoren* werden in Kapitel 5.6. hergeleitet. In diesem Kapitel werden auch die Vorteile und die Grenzen der vorliegenden Herangehensweise sowie einige Ideen für die zukünftige Forschung abgeleitet.

### **5.3. Untersuchungsgut**

Die individuellen Verhaltensweisen aller 22 Spieler sowie des Balls werden direkt durch die 92 Zeitreihen in den Gleichungen (2) - (5) vorgegeben und aus Platzgründen in den Abb. 19 (a)-(d) zusammen angezeigt. Wenn man sich für die Kurve eines bestimmten Spielers interessiert, kann diese für die weitere Analyse ausgewählt werden. Man verfährt genauso, wenn man sich speziell für einen bestimmten Zeitraum, z.B. die letzten fünf Minuten interessiert. Es ist möglich, nur diesen Teil auszuwählen, um weitere Details zu sehen. Zum Beispiel ist Abb. 20 der lokale Bereich der Abb. 19 (a) der letzten fünf Minuten. Der einzige erfolgreiche Schuss in der ersten Hälfte wurde von Spieler A6 bei  $t = 45$  Minuten 8,8 s und von der durch den Pfeil in Abb. 20 gekennzeichneten Position abgegeben.

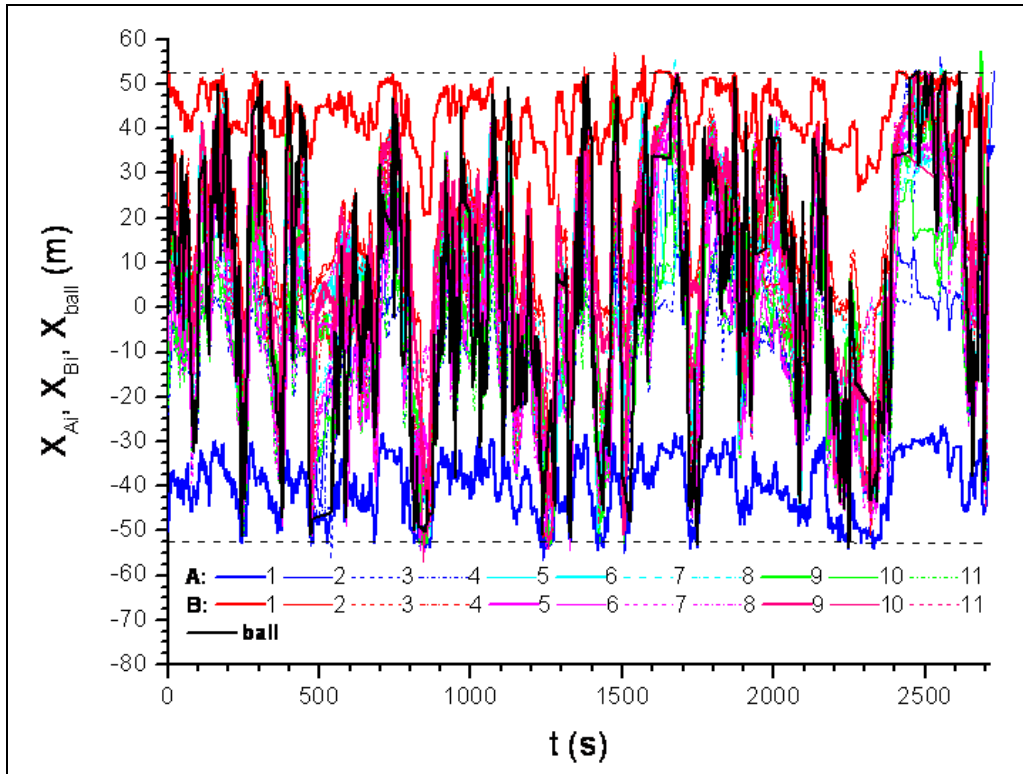


Abbildung 19a Längsgerichtete Komponenten der zurückgelegten Wege aller Spieler der beiden Mannschaften und des Balls<sup>150</sup>.

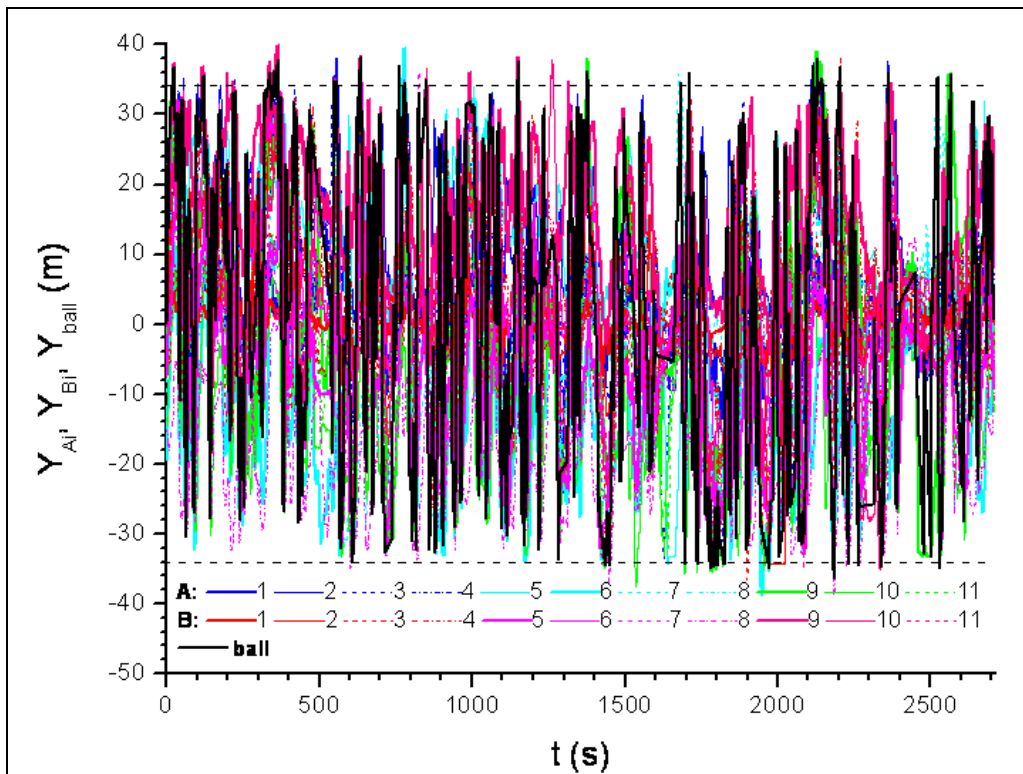
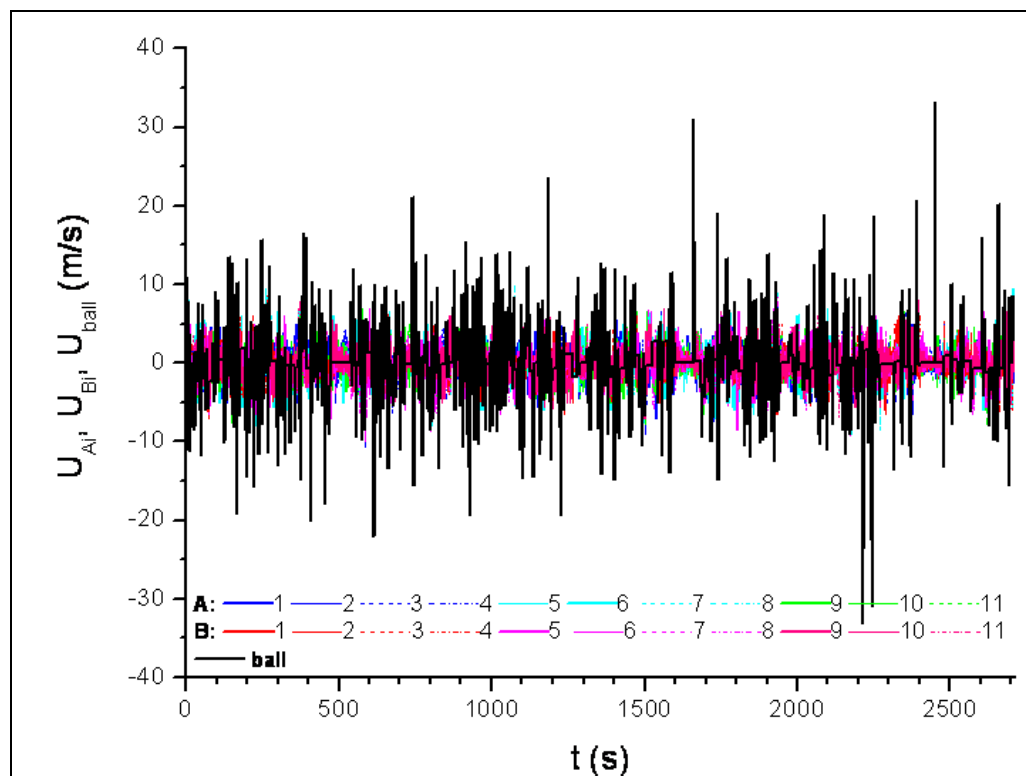
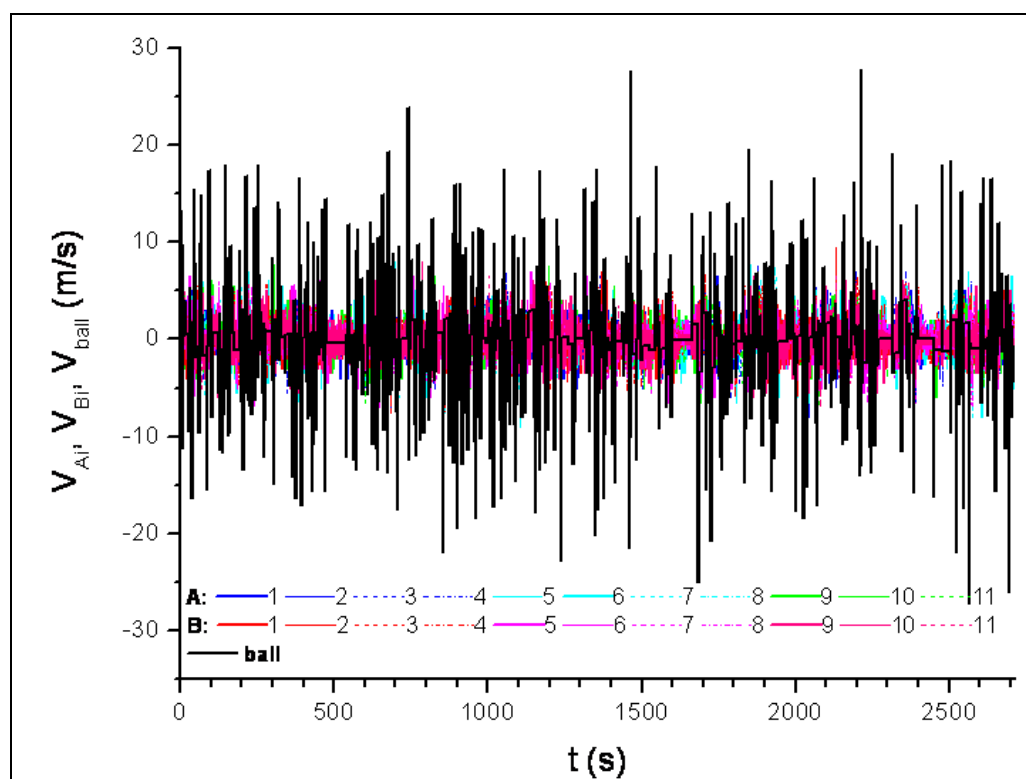


Abbildung 19b Seitliche Koordinaten der zurückgelegten Wege aller Spieler der beiden Mannschaften und des Balls<sup>150</sup>.



**Abbildung 19c** Längsgerichtete Komponenten von Geschwindigkeiten aller Spieler der beiden Mannschaften und des Balls<sup>150</sup>.



**Abbildung 19d** Seitliche Komponenten von Geschwindigkeiten aller Spieler der beiden Mannschaften und des Balls<sup>150</sup>.



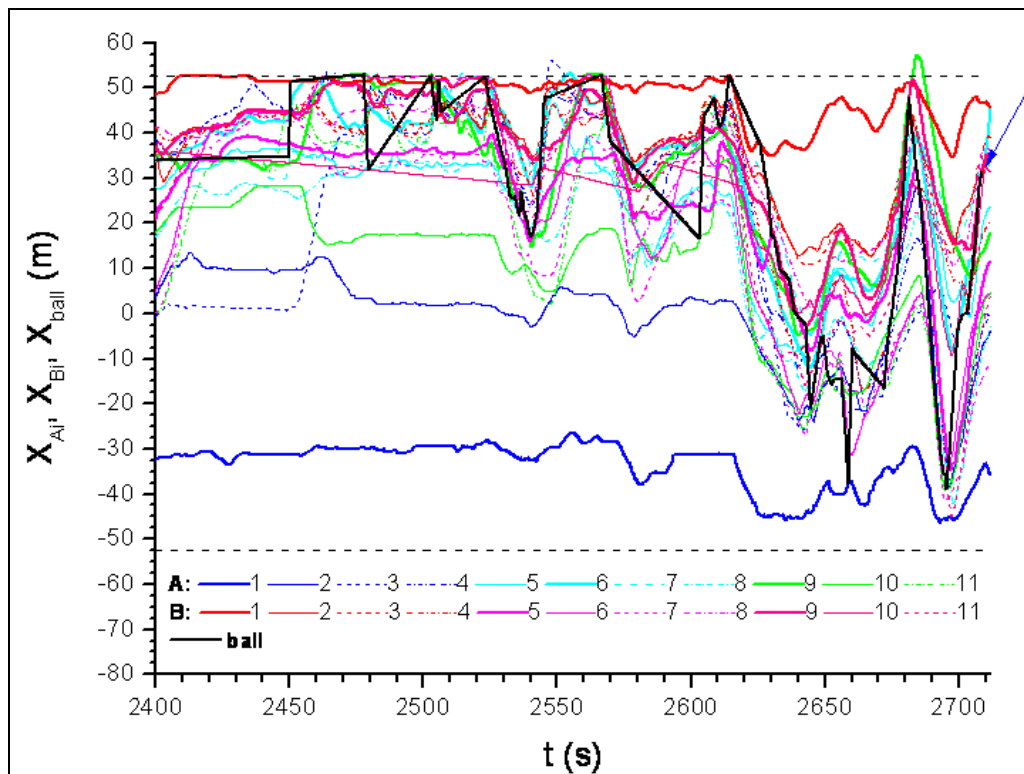


Abbildung 20 Lokaler Ausschnitt von Abb. 24 (a) der letzten 5 Minuten<sup>150</sup>.

Der Vergleich zwischen Abb. 19 (a) und Abb. 19 (b) zeigt, dass naturgemäß alle Spieler außer den Torwarten den Bewegungen des Balls mehr in der Längsrichtung folgen als in der seitlichen Richtung. Der Grund dafür ist die Tatsache, dass jede Mannschaft dazu neigt, einen bestimmten Korridor der seitlichen Symmetrie einzuhalten, um bessere Angriffsmöglichkeiten zu schaffen, indem sie den Ball von einer Seite auf die andere passen. Der Vergleich zwischen Abb. 19 (a) und Abb. 19 (b) zeigt auch, dass die seitlichen Bewegungen des Balls häufiger die Richtungen ändern als die Längsbewegungen. Abb. 19 (c) und Abb. 19 (d) zeigen, dass die Geschwindigkeiten der Spieler in jeder Richtung und in den meisten Fällen nicht höher sind als 5 m/s und deshalb insgesamt nicht höher sind als 7 m/s, während die Geschwindigkeit des Balls in jeder Richtung und in vielen Fällen höher sein könnte als z.B. 20 m/s. Im Vergleich zu den selteneren, aber höheren Spitzenwerten für die Längsgeschwindigkeit des Balls gibt es weitere zahlreiche Spitzenwerte für die seitliche Geschwindigkeit des Balls, besonders bei kurzen Distanzen.

Um mögliche Muster einfach erkennen zu können, wurden das *geometrische Zentrum*, der *Radius* und die *Entwicklung der Geschwindigkeit* für jede Mannschaft

wie folgt eingeführt. Geometrische Zentren der zwei Mannschaften werden wie folgt definiert:

$$\left. \begin{aligned} X_{AC}(t) = \langle X_A(t) \rangle &= \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} X_{Ai}(t) & Y_{AC}(t) = \langle Y_A(t) \rangle &= \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} Y_{Ai}(t) \\ X_{BC}(t) = \langle X_B(t) \rangle &= \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} X_{Bi}(t) & Y_{BC}(t) = \langle Y_B(t) \rangle &= \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} Y_{Bi}(t) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

wobei die tief gestellten A bzw. B für Mannschaft A bzw. Mannschaft B stehen, C für geometrische Zentren und  $\langle \dots \rangle$  für den Durchschnitt aller Spieler jeder Mannschaft (ansonsten siehe für die Abkürzungen S. 96). Der *unmittelbare Radius* jeder Mannschaft, der die durchschnittliche Entfernung zwischen allen Spielern und dem geometrischen Zentrum der Mannschaft für diesen Moment darstellt, wird definiert als:

$$\left. \begin{aligned} R_A(t) &= \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} \sqrt{(X_{Ai}(t) - X_{AC}(t))^2 + (Y_{Ai}(t) - Y_{AC}(t))^2} \\ R_B(t) &= \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} \sqrt{(X_{Bi}(t) - X_{BC}(t))^2 + (Y_{Bi}(t) - Y_{BC}(t))^2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Die *Entwicklung der Geschwindigkeit* für die zwei Mannschaften wird wie folgt definiert:

$$V_{E,A} = \frac{dR_A}{dt} \quad V_{E,B} = \frac{dR_B}{dt} \quad (9)$$

Des Weiteren wird für jede Mannschaft eine *Besitzfunktion*,  $p_A(t)$  und  $p_B(t)$ , wie folgt eingeführt:

$$\left. \begin{aligned} p_A(t) = 1 \quad \text{und} \quad p_B(t) = -1 \quad \text{wenn Mannschaft A zum Zeitpunkt } t \text{ in Ballbesitz ist;} \\ p_A(t) = -1 \quad \text{und} \quad p_B(t) = 1 \quad \text{wenn Mannschaft B zum Zeitpunkt } t \text{ in Ballbesitz ist;} \end{aligned} \right\}$$

(10)

$p_A(t) = p_B(t) = 0$       wenn entweder Mannschaft A oder B zum Zeitpunkt  $t$  in Ballbesitz ist.

Die Abbildungen 21 (a) und (b) zeigen die längs gerichteten und seitlichen Bewegungen der geometrischen Zentren der beiden Mannschaften. Die Amplituden der seitlichen Bewegungen der geometrischen Zentren der beiden Mannschaften sind deutlich kleiner als die Amplituden ihrer Längsbewegungen, sogar im Vergleich zur Größe des Feldes in jeder Richtung. Abb. 21 (a) und (b) zeigen ebenfalls die Wechselwirkung zwischen den gemeinsamen Verhaltensweisen der beiden Mannschaften: Wenn eine Mannschaft angreift, verteidigt die andere Mannschaft und umgekehrt. Die Abb. 22 (a) und (b) zeigen dasselbe wie die Abb. 21 (a) und (b) mit der Ausnahme, dass zum Vergleich die Bewegungen des Balls mit einbezogen werden. Die Abb. 22 (a) und (b) zeigen ebenfalls, dass die geometrischen Zentren der beiden Mannschaften dazu neigen, der Bewegung des Balls für einen langen Zeitraum zu folgen. Sie können jedoch nicht der Bewegung des Balls für kleine Schwankungen der Zeitskala folgen. Die Amplituden der X-Koordinaten der geometrischen Zentren der beiden Mannschaften sind fast die gleichen wie die Amplitude der X-Koordinate des Balls, während die Amplituden der Y-Koordinaten der geometrischen Zentren der beiden Mannschaften viel kleiner sind als die Amplitude der Y-Koordinate des Balls. Dies bedeutet wiederum, dass der Trend zur gleichzeitigen Bewegung in Y-Richtung (seitlich) weitaus kleiner ist (viel konservativer) als in X-Richtung (Längsrichtung).

Die Abb. 23 zeigt, wie sich die Radien der beiden Mannschaften mit der Zeit ändern. Es stellt sich ein klares Gegenphasenverhältnis zwischen  $R_A(t)$  und  $R_B(t)$  dar: Wenn

$R_A$  dazu tendiert anzusteigen (Expansion), tendiert  $R_B$  dazu, zu fallen (Kontraktion) und umgekehrt. Dies zeigt die Wechselwirkung von Angriff und Verteidigung zwischen den gemeinsamen Verhaltensweisen der beiden Mannschaften. Abb. 23 demonstriert ebenfalls, dass  $R_B$  eine größere Standardabweichung aufweist als  $R_A$ . Genau genommen zeigen die Berechnungen, dass die Standardabweichungen von  $R_A$  und  $R_B$  3,1 m bzw. 4,6 m betragen. Dies wird durch den langen Zeitraum der Verteidigung von Mannschaft B verursacht, ganz besonders während der 27. bis 28. Minute und in den letzten fünf Minuten (Abb. 23).

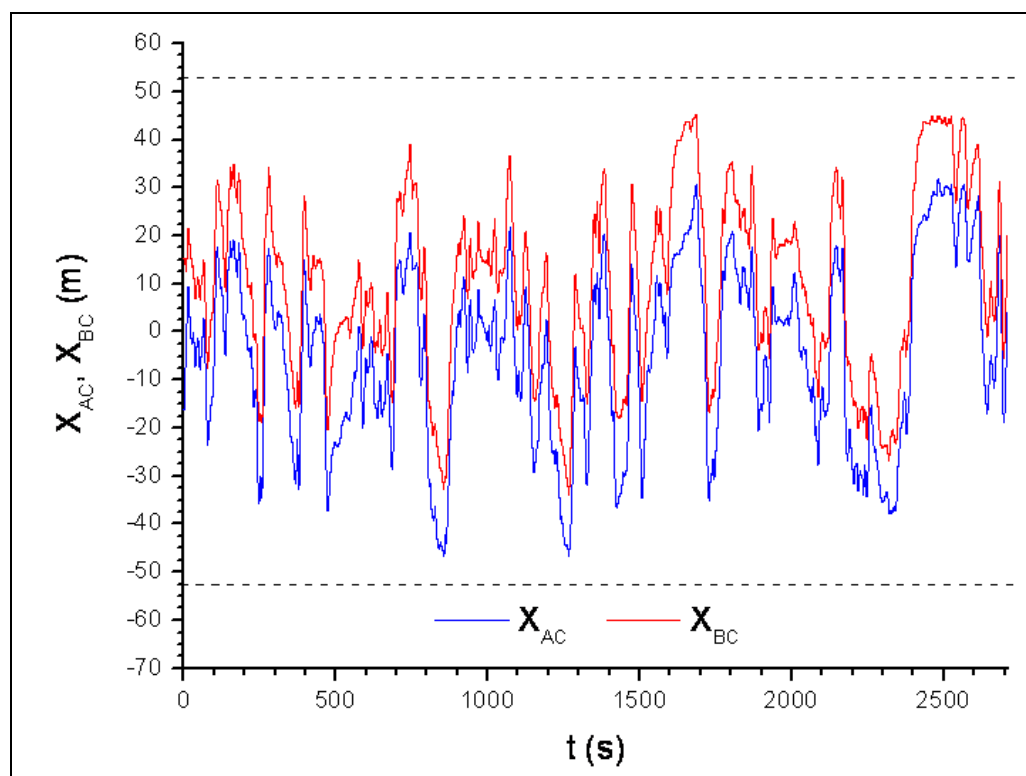


Abbildung 21a Längsgerichtete Bewegungen der geometrischen Zentren beider Mannschaften<sup>150</sup>.

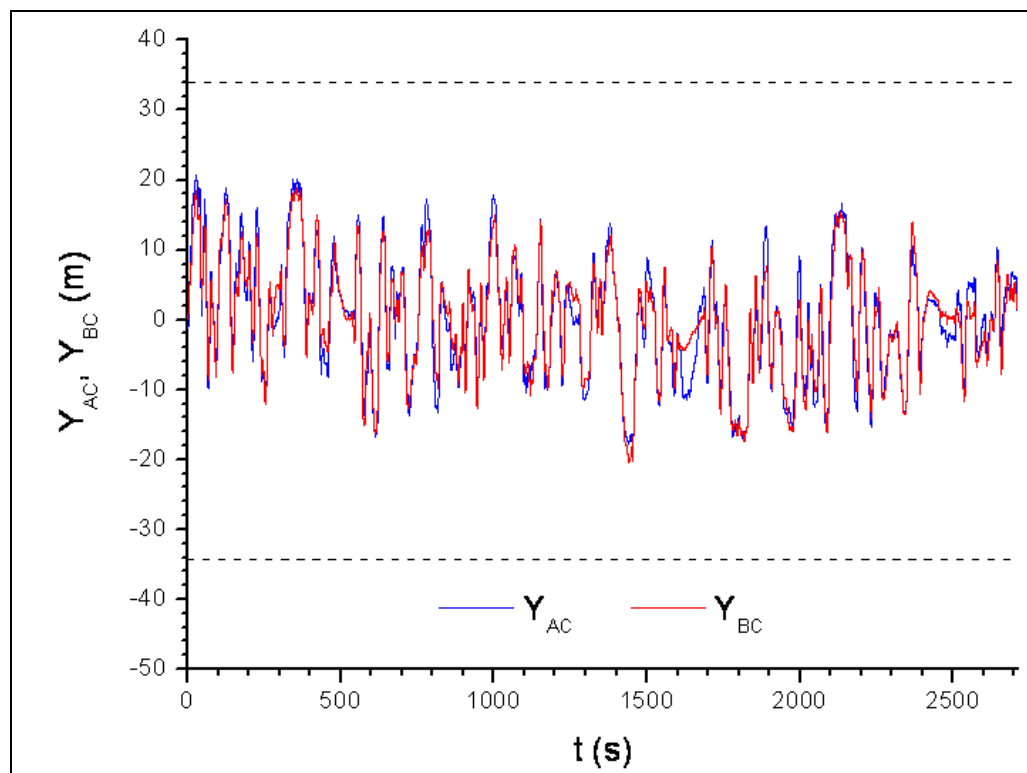


Abbildung 21b Seitliche Bewegungen der geometrischen Zentren beider Mannschaften<sup>150</sup>

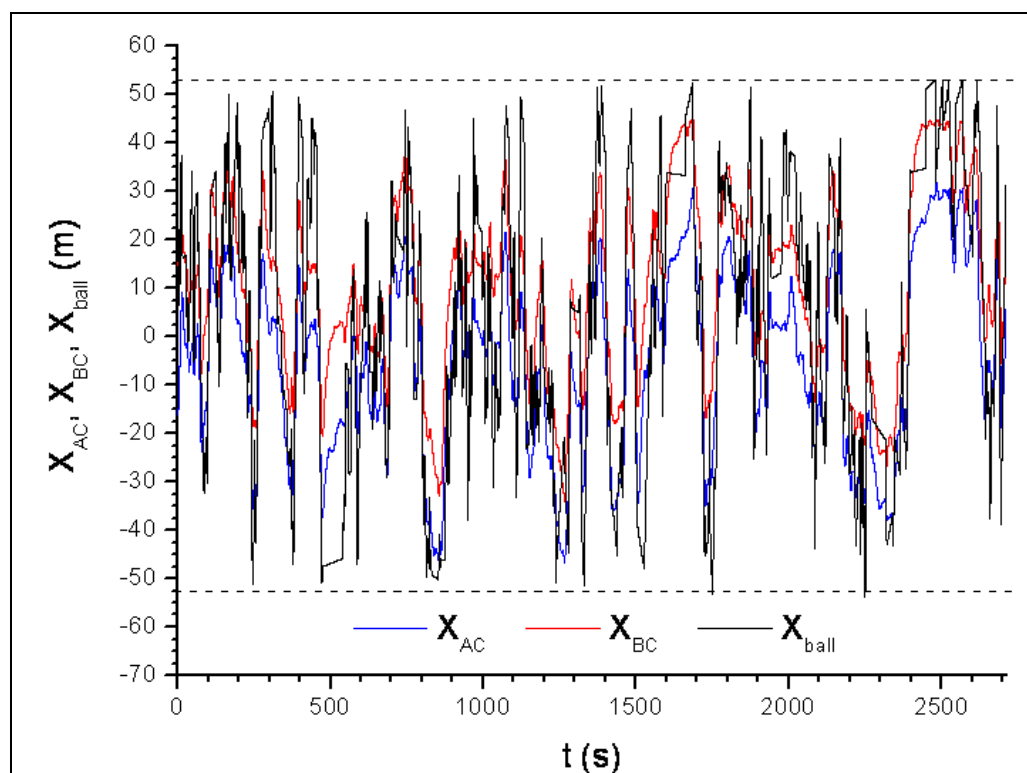
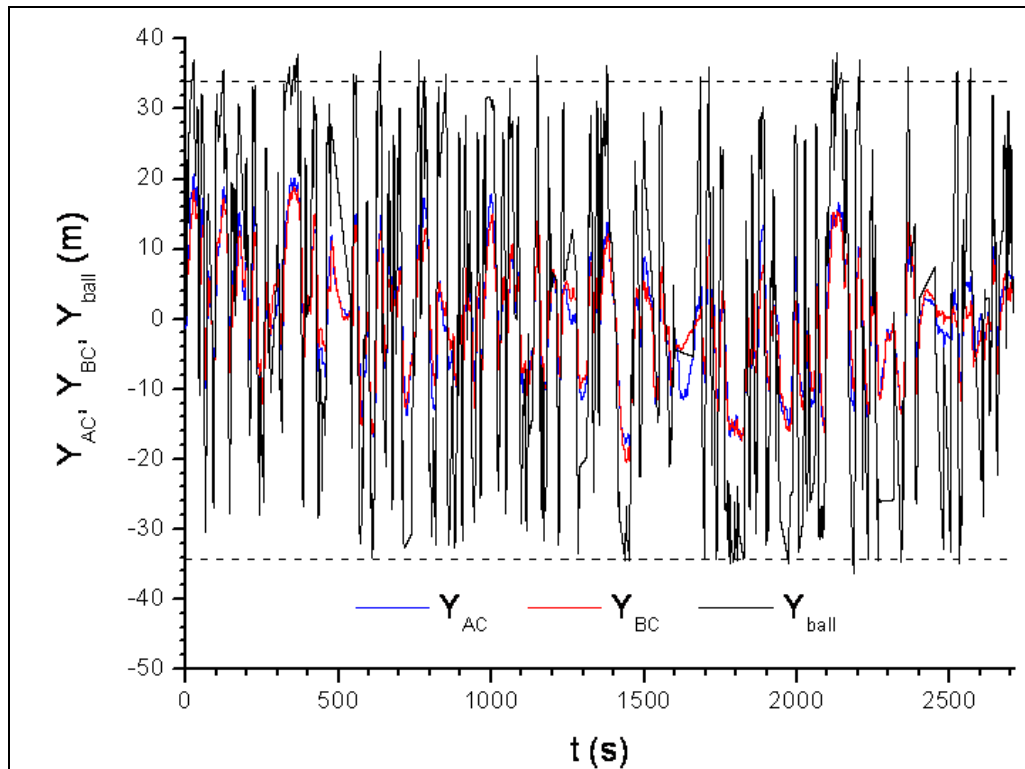
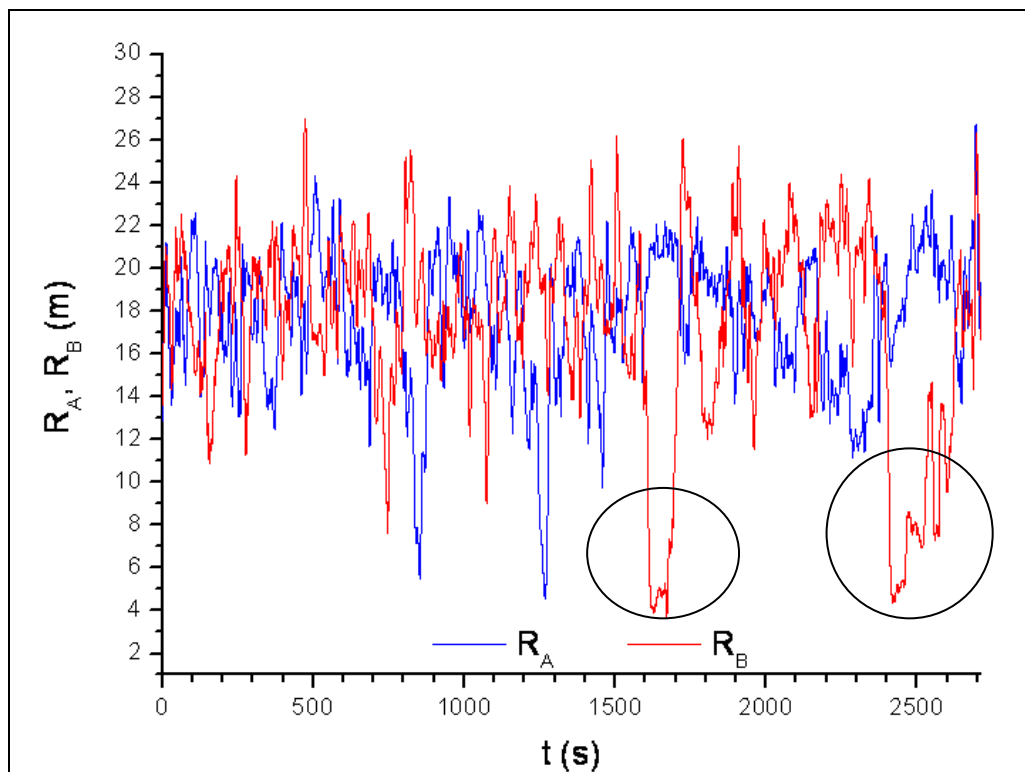


Abbildung 22a Längsgerichtete Bewegungen der geometrischen Zentren beider Mannschaften im Vergleich zu den Bewegungen des Balls in jeder Richtung<sup>150</sup>



**Abbildung 22b** Seitliche Bewegungen der geometrischen Zentren beider Mannschaften im Vergleich zu den Bewegungen des Balls in jeder Richtung<sup>150</sup>.



**Abbildung 23** Radien beider Mannschaften:  $R_A(t)$  und  $R_B(t)$ . Das Gegenphasenverhältnis zeigt die Wechselwirkung zwischen Angriff und Verteidigung<sup>150</sup>.

#### 5.4. Das Bewegungsausmaß der Spieler und ihrer Gruppierung

Die gesamte erste Halbzeit kann, dem Ballbesitz und der Position des Balls entsprechend, folgendermaßen in fünf verschiedene Phasen eingeteilt werden:

Phase 1: Mannschaft A greift an, während Mannschaft B verteidigt. Dies wird definiert durch:

$$p_A = 1 \quad (p_B = -1) \quad \text{und} \quad X_{\text{ball}} > 0 \quad (11)$$

Phase 2: Mannschaft B greift an, während Mannschaft A verteidigt. Dies wird definiert durch:

$$p_B = 1 \quad (p_A = -1) \quad \text{und} \quad X_{\text{ball}} < 0 \quad (12)$$

Phase 3: Mannschaft A bereitet sich auf den Angriff vor, während sich Mannschaft B auf die Verteidigung vorbereitet. Dies wird definiert durch:

$$p_A = 1 \quad (p_B = -1) \quad \text{und} \quad X_{\text{ball}} \leq 0 \quad (13)$$

Phase 4: Mannschaft B bereitet sich auf den Angriff vor, während sich Mannschaft A auf die Verteidigung vorbereitet. Dies wird definiert durch:

$$p_B = 1 \quad (p_A = -1) \quad \text{und} \quad X_{\text{ball}} \geq 0 \quad (14)$$

Phase 5: Übergangsphase, wenn der Ball von keiner der Mannschaften kontrolliert wird und zwar:

$$p_A = p_B = 0 \quad (15)$$

Die Zeit und der Anteil der Gesamtzeit jeder Phase werden in Tabelle 25 dargestellt.

**Tabelle 25** Phasendefinition und zeitliche Anteile<sup>150</sup>.

Phasen	Definition	Zeit	Menge (%)
1 (Angriffsphase Mannschaft A)	$p_A = 1$ und $X_{Ball} > 0$	7 min 19.0 s	16.2
2 (Angriffsphase Mannschaft B)	$p_B = 1$ und $X_{Ball} < 0$	5 min 11.2 s	11.5
3 (Vorbereitung der Angriffsphase Mannschaft A)	$p_A = 1$ und $X_{Ball} \leq 0$	6 min 22.3 s	14.1
4 (Vorbereitung der Angriffsphase Mannschaft B)	$p_B = 1$ und $X_{Ball} \geq 0$	9 min 22.5 s	20.7
5 (Übergangsphase)	$p_A = p_B = 0$	16 min 57.0 s	37.5

Das Bewegungsausmaß kann durch eine bei einer durchschnittlichen 2D-Position des Spielers positionierten Ellipse mit Halbachsen definiert werden. Diese Halbachsen stellen die Standardabweichungen in X- bzw. Y-Richtung für die gesamte erste Halbzeit oder für die entsprechend betrachtete Phase dar. Die Abb. 24 (a) und (b) stellen das Bewegungsausmaß aller Spieler von Mannschaft A bzw. Mannschaft B für die gesamte erste Halbzeit dar. Die Abb. 25 (a) und (b) stellen beispielsweise das Bewegungsausmaß aller Spieler von Mannschaft A im Angriff (Phase 1) bzw. in der Verteidigung (Phase 2) dar.

Von den Abb. 24 (a) und (b) können die verschiedenen Positionen der verschiedenen Spieler jeder Mannschaft (Stürmer oder Mittelfeldspieler, Verteidiger oder Torwart) unterschieden werden. In Mannschaft A ist Spieler A1 der Torwart, Spieler A2, A3, A11 und A10 sind Verteidiger, die Spieler A5, A4, A8 sind Mittelfeldspieler, während Spieler A9 und A7 und A6 Stürmer sind. Der Spieler A6 hat im Vergleich zu allen anderen Spielern das größte Bewegungsausmaß. Das bedeutet, dass er der aktivste Spieler in der ersten Halbzeit ist. Genau genommen erzielte er das einzige Tor für seine Mannschaft in der ersten Halbzeit nach 45 Minuten und 12 Sek. In Mannschaft B ist Spieler B1 der Torwart, die Spieler B9, B2, B3 und B8 sind Verteidiger, die Spieler B4, B10, B11 und B5 sind Mittelfeldspieler, während Spieler B6 und B7 Stürmer sind. Die Abb. 25 (a, b) zeigen, wie unterschiedlich das Bewegungsausmaß der Spieler einer Mannschaft zwischen den Angriffs- und Verteidigungs-Phasen ist.



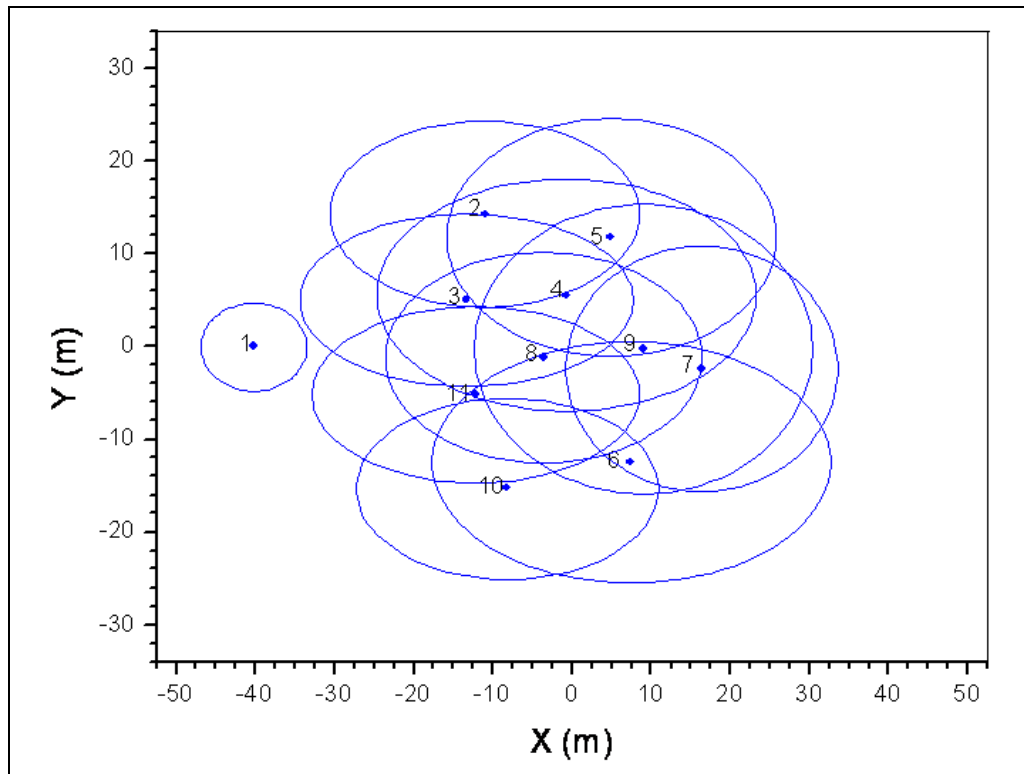


Abbildung 24a Bewegungsausmaß aller Spieler von Mannschaft A für die gesamte erste Halbzeit<sup>150</sup>.

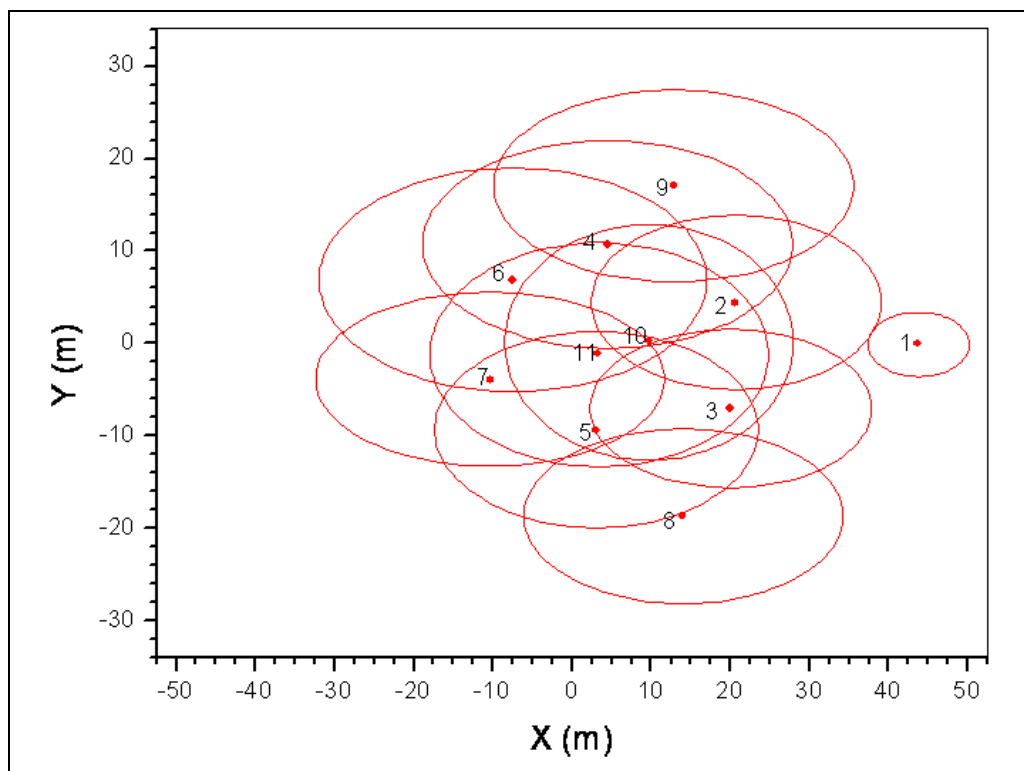


Abbildung 24b Bewegungsausmaß aller Spieler von Mannschaft B für die gesamte erste Halbzeit<sup>150</sup>.

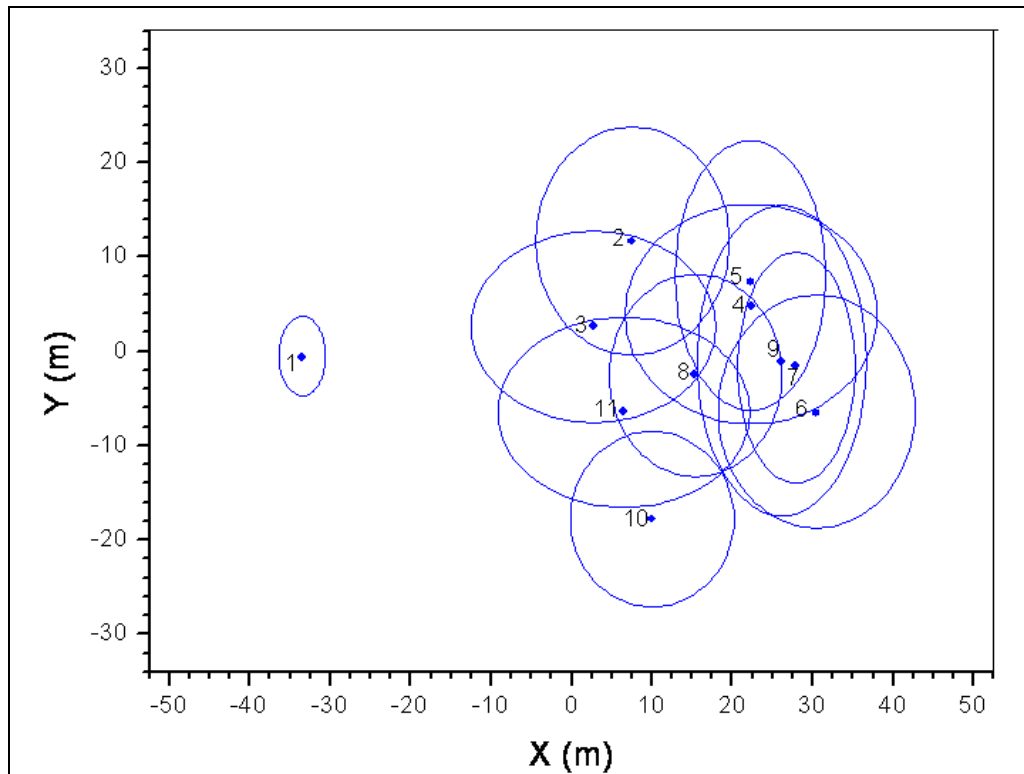


Abbildung 25a Bewegungsmaß aller Spieler von Mannschaft A für die Angriffsphase (Phase 1)<sup>150</sup>.

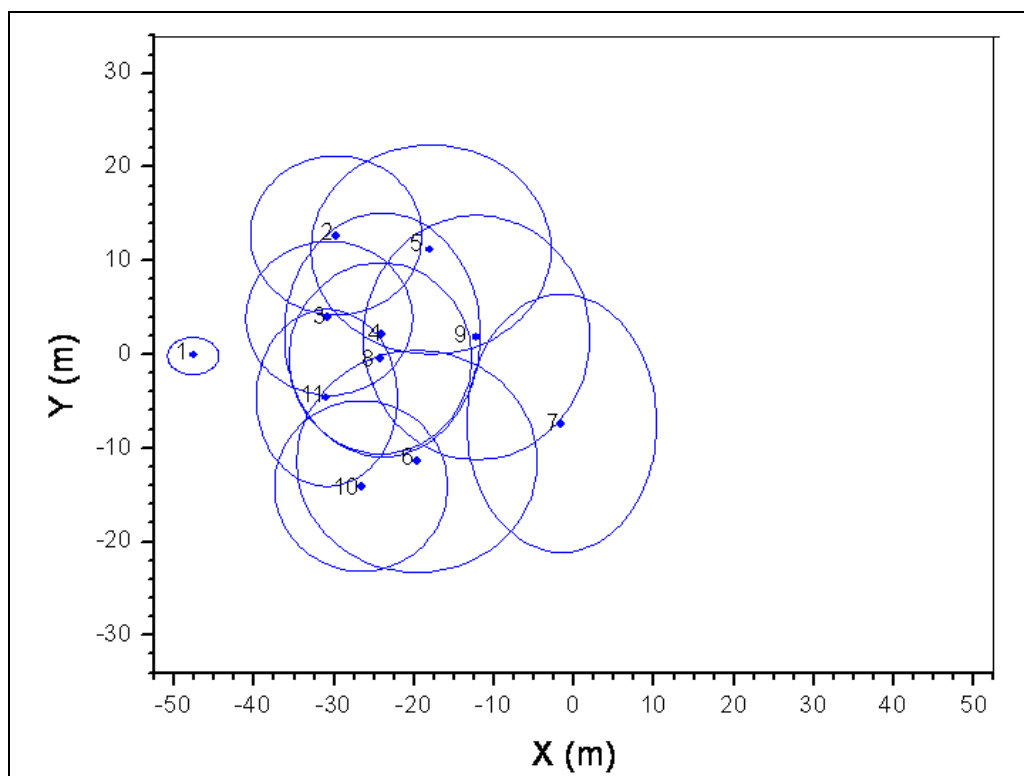
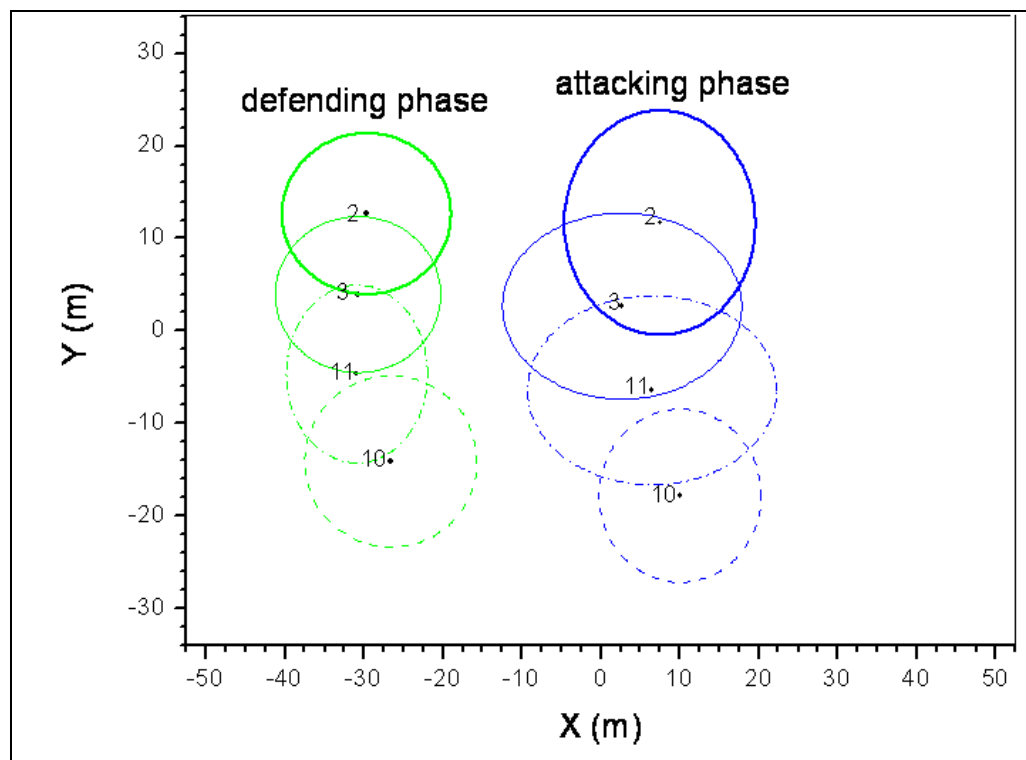
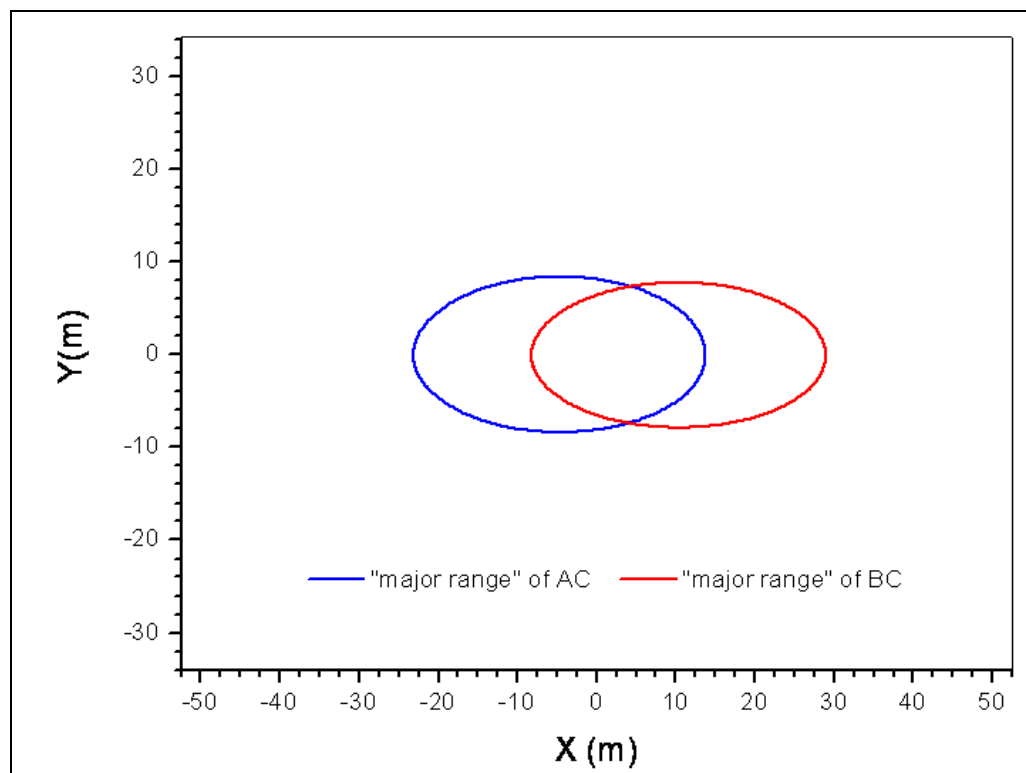


Abbildung 25b Bewegungsmaß aller Spieler von Mannschaft A für die Verteidigungsphase (Phase 2)<sup>150</sup>.

Die Abb. 26 zeigt, wie sich eine bestimmte Spielergruppe (hier Verteidiger) zwischen den Verteidigungs- und Angriffsphasen bewegt. Abb. 27 zeigt das Bewegungsausmaß der geometrischen Zentren beider Mannschaften für die erste Halbzeit.



**Abbildung 26** Bewegungsausmaß von Verteidigern von Mannschaft A während der Angriffs- und Verteidigungsphasen. Die grüne Farbe kennzeichnet die Verteidigungsphase, die blaue Farbe die Angriffsphase. Die verschiedenen Linientypen unterscheiden einzelne Spieler<sup>150</sup>.



**Abbildung 27** Bewegungsausmaß der geometrischen Zentren beider Mannschaften für die gesamte erste Halbzeit<sup>150</sup>.

### 5.5. Diskussion der Ergebnisdarstellung

Aus bekannten Gründen ist ein Fußballspiel ein hochkomplexes Geschehen. Mit Hilfe von 2D-Bewegungen können jedoch recht genaue dynamische und quantitative Analysen für die Erkennung von Mustern durchgeführt werden. Diese Situation ist den „inversen Problemen“ in der Mechanik ähnlich, wo die Kräfte aus den bekannten Bewegungen berechnet werden können. Aus den folgenden Gründen ist jedoch ein Fußballspiel kein deterministischer, sondern ein stochastischer Prozess. Erstens wird ein Fußballspiel von keinem vorhandenen physikalischen Gesetz bestimmt, sondern vom Wunsch beider Mannschaften zu gewinnen. Zweitens ist der Zustand des nächsten Moments, d. h. die Positionen und Geschwindigkeiten aller Spieler und des Balls, nur bezogen auf den, jedoch nicht bestimmt vom aktuellen Zustand. Jeder Spieler muss auf Basis der aktuellen Situation, seines eigenen Urteilsvermögens und seiner Fähigkeiten seine eigene Entscheidung für seine nächste Bewegung treffen. Globale Muster eines Mannschaftsverhaltens, wie exemplarisch gezeigt, können durchaus dazu beitragen, taktische und strategische Merkmale eines Spieles zu evaluieren.

## 5.6. Energie, Spektral- und Korrelationsanalysen

Bislang stehen kaum wirklich quantitative Kenngrößen dafür zur Verfügung, wie z.B. die individuelle „Spielleistung“ in ein Spiel eingebracht wird. In der Praxis wird oft davon gesprochen, dass ein bestimmter Spieler „spielentscheidende“ Akzente (Indikatoren) gesetzt hat, auch wenn er z.B. kein Tor erzielt hat. In dieser Pilotstudie wird versucht, für einzelne Spieler und auch für Mannschaftsteile (Spielergruppen) solche Vorgänge zu quantifizieren. Aufgrund der 2D-Daten des individuellen und kollektiven Verhaltens von Spielern und Ball in Kapitel 5.1. werden in Kapitel 5.6. folgende Berechnungen durchgeführt: (i) Die „spezifische kinetische Energie“ jedes Spielers, (ii) die Leistungsdichte verschiedener Größen für unterschiedliche Spielergruppen (Stürmer, Verteidiger) und für geometrische Zentren der beiden Teams sowie für den Ball und (iii) die Wechselwirkungen unterschiedlicher Größen zwischen verschiedenen Gruppen und dem Ball, sowie zwischen den geometrischen Zentren und dem Ball. Einige Parameter werden zwischen den beiden Mannschaften verglichen. Das Verhältnis zwischen diesen Parametern, den potentiellen „Indikatoren“ und alle Faktoren, die das Endresultat eines Fußballspiels beeinflussen, werden diskutiert. Vorteile und Beschränkungen der gegenwärtigen Methode und einige Ideen für die Zukunft werden kurz dargestellt.

## 5.7. Methodik

### 5.7.1. Spezifische kinetische Energie

Zuerst wird die *spezifische kinetische Energie* (d. h., die kinetische Energie oder auch Bewegungsenergie, in der Bewegung von Körpern) für jeden Spieler, bezeichnet mit  $sEk$ , durch die kinetische Energie pro Masseinheit des Spielers definiert:

$sEk$  Spezifische kinetische Energie

F Forwards (Angreifer)

D Defenders (Verteidiger)

$V_{ATT}$  Angriffsgeschwindigkeit

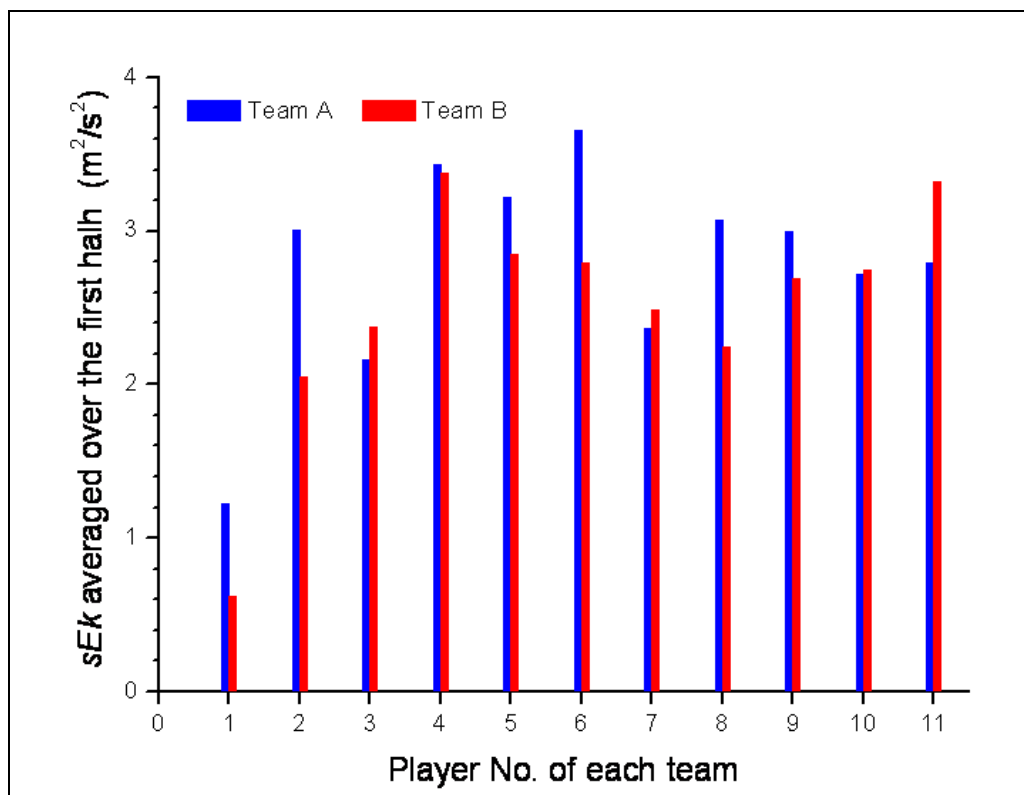
$N_{ATT}$  Anzahl der Angriffe

$E_{ATT}$  Angriffseffizienz

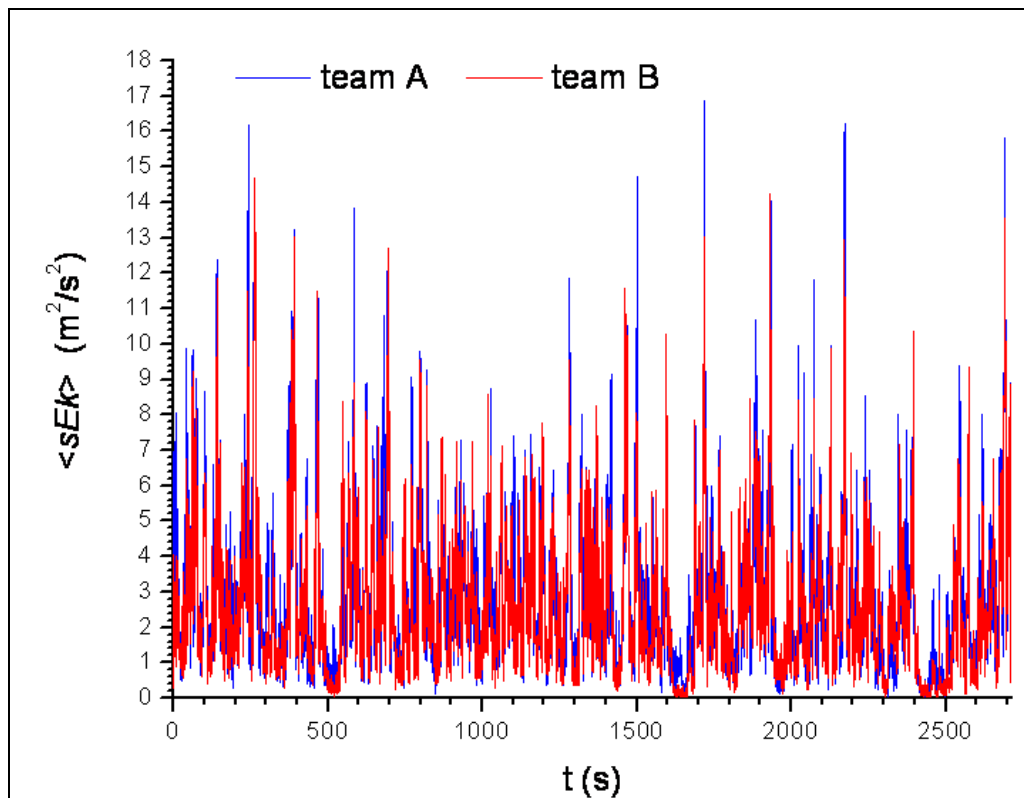
$E_{SH}$  Schusseffizienz

$$(1) \quad sEk(t)_{Ai} = \frac{1}{2}(U_{Ai}^2(t) + V_{Ai}^2(t)) \quad sEk(t)_{Bi} = \frac{1}{2}(U_{Bi}^2(t) + V_{Bi}^2(t))$$

Die durchschnittliche  $sEk$  jedes Spielers der beiden Mannschaften während der gesamten ersten Halbzeit, die wir als  $\overline{sEk}$  bezeichnen, wird in Abb. 28 gezeigt. Der Spieler A6 hat die größte  $\overline{sEk}$  aller 22 Spieler. Man muss bedenken, dass er auch den „größten Aktionsbereich“ hatte (vgl. Abb. 24 (a) und (b), 5.4.). Wir können auch die durchschnittliche  $sEk$  aller Spieler jedes Teams ermitteln, jeweils für Mannschaft A und Mannschaft B als  $\langle sEk \rangle_A$  und  $\langle sEk \rangle_B$  bezeichnet. Man sieht, dass  $\langle sEk \rangle_A$  mehr Spitzenwerte ausweist, als  $\langle sEk \rangle_B$ .



**Abbildung 28** Spezifische kinetische Energie ( $sEk$ ) ermittelt für jeden Spieler von Mannschaft A und Mannschaft B der gesamten ersten Halbzeit<sup>150</sup>.



**Abbildung 29** Spezifische kinetische Energie ( $sEk$ ) ermittelt für jeden Spieler als Zeitfunktion<sup>150</sup>.

Die  $\overline{\langle sEk \rangle}$  für Mannschaft A ist um elf Prozent höher als für Mannschaft B. Folglich zeigt Abb. 29, dass im Durchschnitt die Spieler von Mannschaft A in der ersten Halbzeit des Spiels aktiver sind als die Spieler von Mannschaft B.

### 5.7.2. Spektralanalyse

Für jedes Signal, das als Zeitreihe festgelegt ist, kann man die *Leistungsdichte* ableiten, um zu sehen, wie die Fluktuationsstärke des Signals, als „Energie“ des Signals bezeichnet, im Frequenzbereich verteilt ist.

Die Abbildungen 30 (a) und (b) zeigen die Leistungsdichte der Längskomponente der Geschwindigkeit für jeden Stürmer von Mannschaft A und Mannschaft B. Wieder sticht Stürmer A6 nicht nur durch die größte Gesamtenergie hervor, sondern auch durch viele Höhepunkte im Hochfrequenzbereich. Das bedeutet, dass er häufiger zurück und nach vorn läuft als alle anderen Spieler.

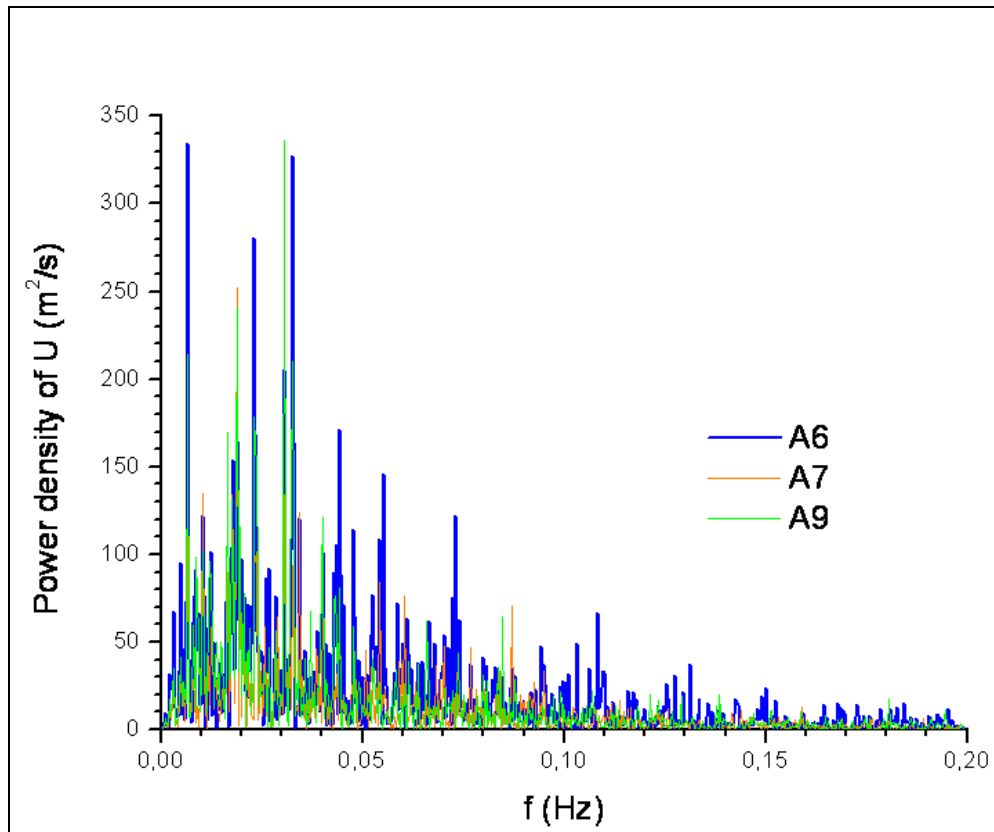


Abbildung 30a Leistungsdichte der Längskomponente der Geschwindigkeit für jeden Stürmer von Mannschaft A<sup>150</sup>.

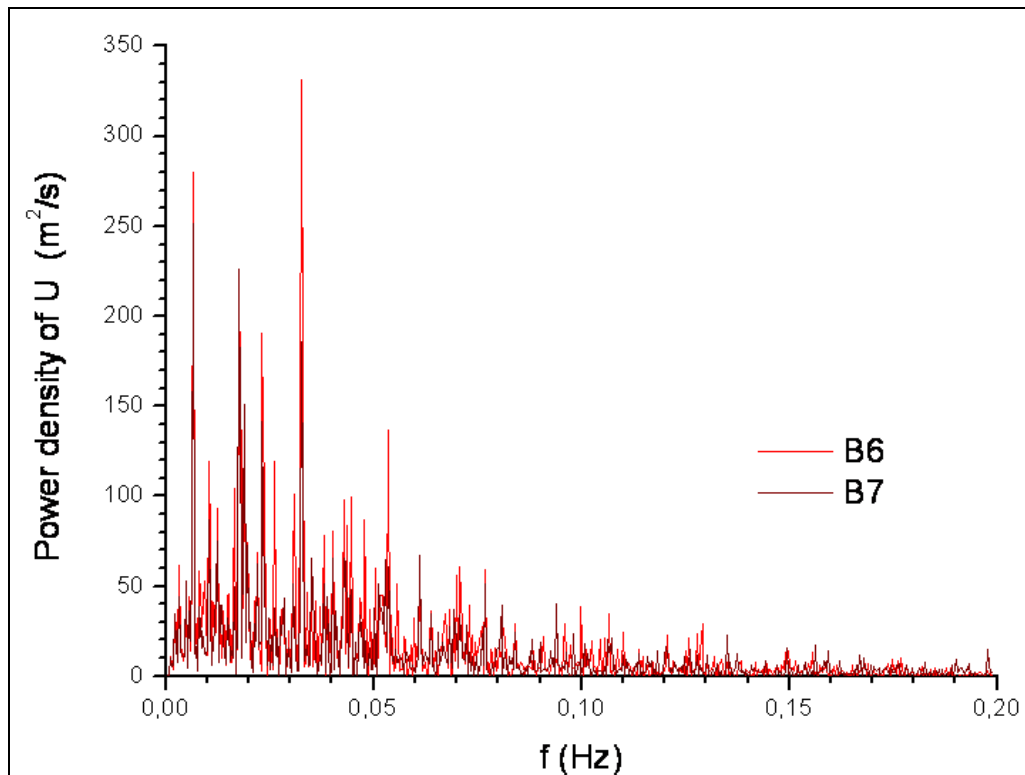


Abbildung 30b Leistungsdichte der Längskomponente der Geschwindigkeit für jeden Stürmer von Mannschaft B<sup>150</sup>.



Die Abb. 31 zeigt die Leistungsdichte von  $X(t)$  und  $Y(t)$  des Balls. Obwohl die Gesamtbewegungen des Balls in der Längsrichtung viel stärker sind als die seitlichen Bewegungen, haben die seitlichen Bewegungen größere Hochfrequenzkomponenten als die längsgerichteten Bewegungen. Das spiegelt die Tatsache wider, dass der Ball öfter von einer Seite auf die andere, also quer gepasst, als in Längsrichtung nach vorn und zurück gespielt wird.

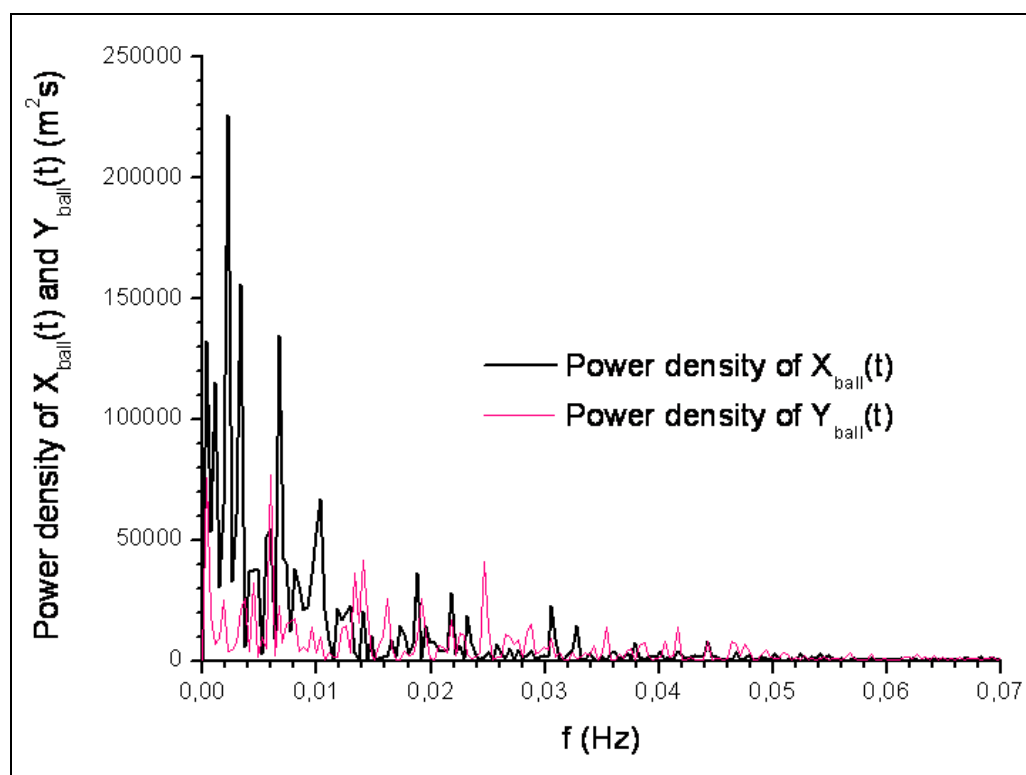
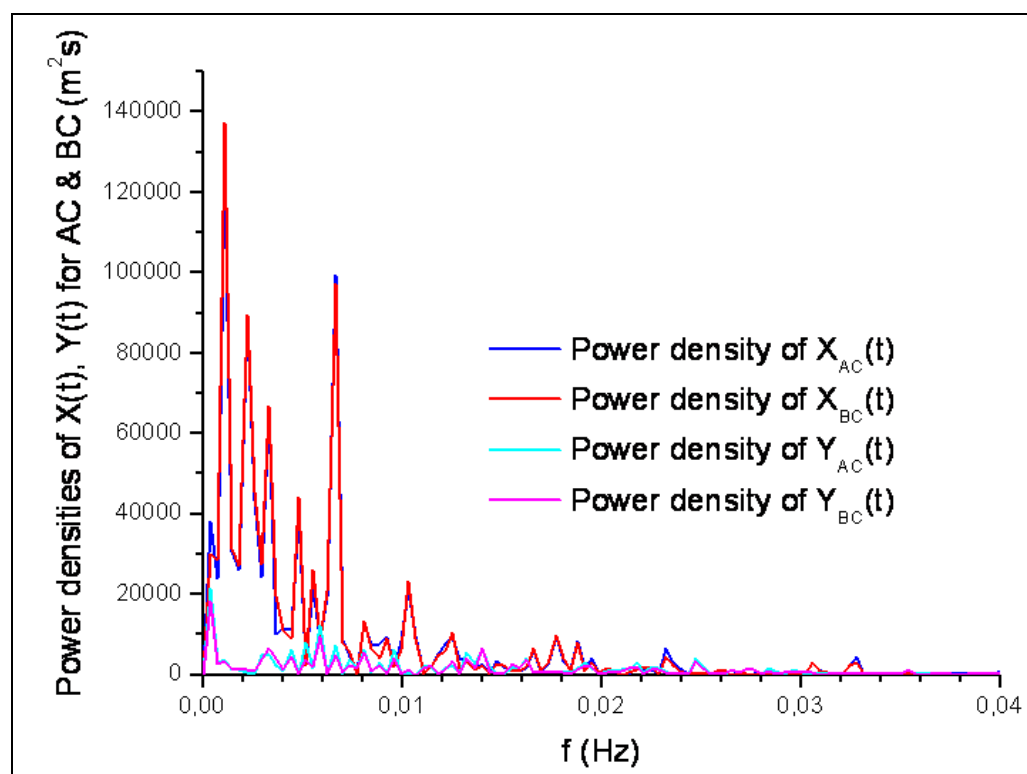


Abbildung 31 Leistungsdichte von  $X(t)$  und  $Y(t)$  des Balls<sup>150</sup>.



**Abbildung 32** Leistungsdichte von  $X(t)$  und  $Y(t)$  für die geometrischen Zentren  $AC$  und  $BC$  der beiden Teams<sup>150</sup>.

Abb. 32 stellt die Leistungsdichte von  $X(t)$  und  $Y(t)$  für die beiden geometrischen Zentren  $AC$  und  $BC$  der Teams dar und zeigt stärkere Bewegungen der beiden geometrischen Zentren in Längsrichtung als zur Seite. (vgl. auch. Abb. 27)

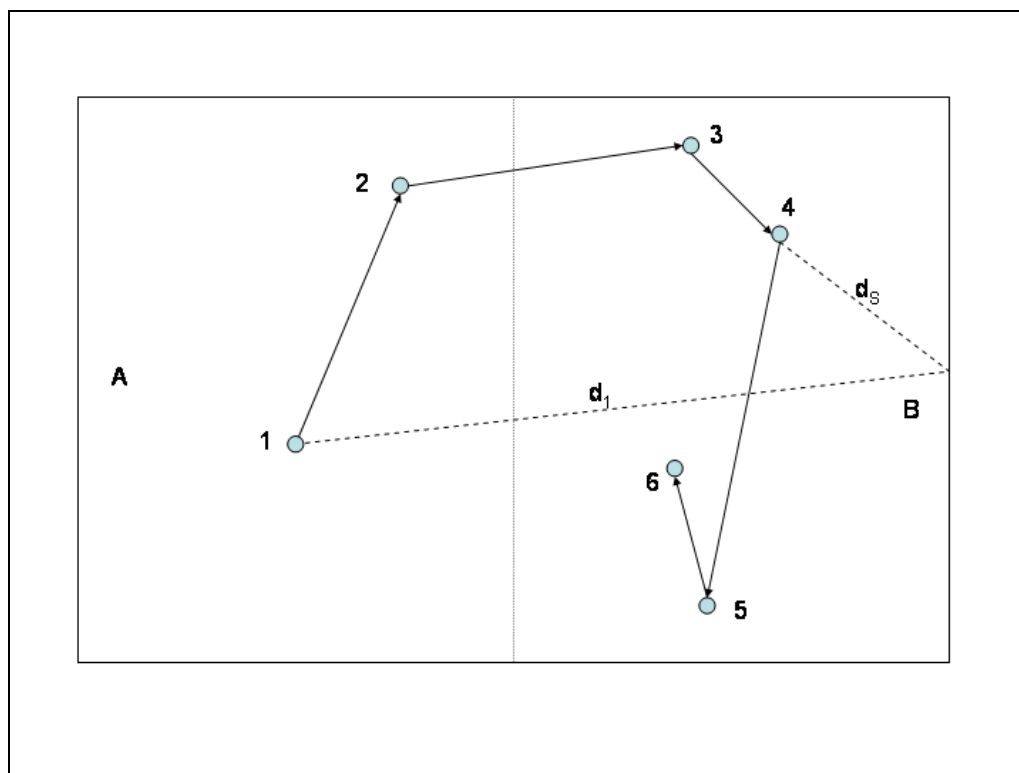
Eines der Ziele dieser dynamischen Pilotstudie ist es, verschiedene „Indikatoren“ zu finden. Hier wird unter Indikator ein Parameter dafür verstanden, dessen die Steigerung die Gewinnchancen erhöhen würde, wenn alle anderen Faktoren gleich bleiben. Dennoch ist es nicht einfach, solche Indikatoren zu finden. Einige Parameter sind relevant, aber es wäre nicht richtig, sie in einem deterministischen Sinn als Indikatoren zu verwenden. Man kann hier zum Beispiel die Zeit des Ballbesitzes anführen. Der Ballbesitz ist naturgemäß sehr wichtig, denn er ist eine Grundvoraussetzung für alle Angriffsbewegungen und Schüsse. Wenn das Match zwischen zwei Mannschaften auf sehr unterschiedlichem Niveau stattfindet, ist die stärkere Mannschaft möglicherweise mehr im Ballbesitz als die schwächere. Aber wenn zwei Mannschaften auf vergleichbarem Niveau spielen, lässt sich dennoch nicht sagen, dass die Mannschaft mit mehr Ballbesitz die besseren Gewinnchancen hat. Aus diesem Grund kann nicht einfach die Zeit des Ballbesitzes als Indikator verwendet werden, obwohl sie dennoch ein relevanter Parameter ist.

*Angriffsaktion*, *Angriffsgeschwindigkeit* und *Angriffseffizienz* sind Begriffe, von denen angenommen wird, dass sie stärkere Indikatoren sind. In der Liste der Ballkontakte, wenn der Ball von einer Mannschaft über einen Zeitraum von  $t_1$  bis  $t_2$  ständig kontrolliert wird und es in der Liste mindestens zwei Ballkontakte und mindestens eine Position des Balls in der gegnerischen Halbzeit gibt, werden die Bewegungen der involvierten Spieler in dieser Zeit als *Angriffsaktion* dieser Mannschaft bezeichnet. Die Distanz zwischen dem Ball und dem Zentrum des gegnerischen Tors wird mit  $t_1$  zu  $d_1$  und die kürzeste Distanz während dieses Angriffs mit  $d_S$ , das bei  $t_S$  ( $t_1 \leq t_S \leq t_2$ ) erreicht wird, bezeichnet (vgl. Abb. 33). Die *Angriffsgeschwindigkeit*  $V_{ATT}$  dieser Angriffsaktion wird wie folgt definiert:

$$V_{ATT} = \begin{cases} (d_1 - d_S)/(t_S - t_1) & \text{if } t_S > t_1 \\ 0 & \text{if } t_S = t_1 \end{cases}$$

(2)

Die durchschnittliche Geschwindigkeit aller Angriffsaktionen einer Mannschaft in der ersten/zweiten Halbzeit wird mit  $\langle V_{ATT} \rangle$  bezeichnet. Die Gesamtzahl der Angriffsaktionen einer Mannschaft in der ersten/zweiten Halbzeit wird mit  $N_{ATT}$  bezeichnet. Offenbar sind Angriffsaktionen die Grundvoraussetzung für Schüsse und Tore. Das Verhältnis zwischen der Anzahl der Schüsse und der Anzahl der Angriffsaktionen wird *Angriffseffizienz* genannt und mit  $E_{ATT}$  bezeichnet. Das Verhältnis zwischen der Anzahl der Tore und der Anzahl der Schüsse heißt *Schusseffizienz* und wird mit  $E_{SH}$  bezeichnet.  $N_{ATT}$ ,  $\langle V_{ATT} \rangle$ ,  $E_{ATT}$  und  $E_{SH}$  können aus den 2D-Daten errechnet werden.



**Abbildung 33** Exemplarische Illustration einer Angriffsaktion von Mannschaft A.

Der Ball wird von einem Spieler von Mannschaft A auf Position 1 und bei  $t = t_1$  gehalten, dann jeweils zu den Positionen 2, 3, 4, 5, 6 bei  $t = t_2, t_3, t_4, t_5$  und  $t_6$  weitergespielt. Die Entfernung von jeder dieser Positionen zum Zentrum des Tors von Mannschaft B wird jeweils mit  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$  bezeichnet. Nach dem Kontakt bei Position 6 kommt es zum Ballverlust. Bei Position 4, erreicht der Ball die kürzeste Entfernung zum Zentrum des Tors von Mannschaft B. Daher:  $d_5 = d_4$  und  $t_5 = t_4$ <sup>150</sup>.

## 5.8. Diskussion

Die Komplexität eines Fußballspiels fordert dazu heraus, leistungsbestimmende Merkmale nicht nur in den individuellen Voraussetzungen der einzelnen Spieler zu suchen. Verfahren der explorativen Datenanalyse bieten sich hier an. Mit diesen Techniken wird überall dort gearbeitet, wo mechanische, biologische, physikalische, psychologische oder soziologische Modelle nicht in der Lage sind, die Varianz der Zielgröße, hier des Spielerfolgs, hinreichend aufzuklären. Muster, wie sie z.B. durch die dynamische Analyse der Bewegung der Mannschaften oder von Mannschaftsteilen deutlich gemacht werden können, sind durchaus in der Lage, Pilotergebnisse zu generieren.

Dennoch muss eingeräumt werden, dass eine komplette Modellierung eines Fußballspiels zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht möglich ist. Die bemerkenswerten technischen Voraussetzungen der quantitativen Spielanalyse mit

Hilfe automatischer Systeme sind jedoch durchaus geeignet, hier methodische Zugänge zu Mustererkennungen bereit zu stellen.

Wie in Kapitel 5.1. bis 5.5. ausgeführt, ist ein Fußballspiel kein deterministischer, sondern ein stochastischer Prozess. Denn auch bei Auffindung von noch mehr Indikatoren und relevanten Parametern könnten diese das Resultat des Spiels aus sich selbst nicht vorherbestimmen, da eben auch Zufallsfaktoren zum Ergebnis beitragen. Um die Relevanz des Indikators/der Indikatoren für das Spielresultat zu studieren, wäre eine statistische Analyse, basierend auf den Daten einer großen Anzahl von Spielen notwendig. Auch für die Daten eines einzigen Spiels bleiben viele Fragen offen, z.B. wie die Genauigkeit von Pässen, die Fähigkeit zu Tricks und Körperdrehungen zur Täuschung des Gegners, die Fähigkeit, den Ball vom Gegner zu trennen usw., quantitativ charakterisiert werden soll.

### **5.9. Fazit**

Verschiedene quantitative Ergebnisse hinsichtlich der individuellen und gemeinsamen Verhaltensweisen, „größere Wirkungsbereiche“ und die Gruppierung von Spielern, Entfernungsbereich, spezifische kinetische Energie, Leistungsdichte, Kreuz- und Autokorrelationen, sowie viele relevante Parameter und potentielle Indikatoren wurden in dieser Studie berechnet und erörtert. Diese bieten die Möglichkeit, mathematische Hilfsmittel für die quantitative Analyse von Fußballspielen einzusetzen. Diese und weitere Ergebnisse, die auf den Aufzeichnungen weiterer Spiele in der zukünftigen Forschung beruhen, würden die Grundlage für verschiedene Indikatoren liefern, die den Trainern helfen könnten, das Training zu verbessern und die Leistung zu steigern. Es ist aber offensichtlich, dass hier noch erhebliche Grundlagenarbeit erforderlich ist, um derartige Ansätze praxisrelevant weiter zu entwickeln und dann umsetzbar zu machen.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit quantitativen Verfahren zur Leistungsdiagnostik im Leistungsfußball.

Sie soll dazu beitragen, leistungsrelevante Komponenten zu entwickeln bzw. zu prüfen und das Verständnis der komplexen Spielstruktur verbessern und Rückschlüsse für die alltägliche Trainingspraxis gewinnen.

Die Arbeit beinhaltet fünf Kapitel, die sich mit verschiedenen Themen und wissenschaftlichen Untersuchungen im Fußball beschäftigen.

Im ersten Kapitel werden Laufprofile im Leistungsfußball dargestellt. Mit Hilfe moderner Spielanalysesysteme, wie „Amisco Pro“, werden präzise und objektive Informationen über die Anzahl und den Ausprägungsgrad der Aktionen eines Fußballspielers mit und ohne Ball geliefert.

In dem Kapitel werden die unterschiedlichen Ergebnisse von Laufprofilen bzw. Laufdistanzen Hypothesen orientiert in verschiedenen Intensitätsbereichen im Profifußball erfasst.

Die erste aufgestellte Hypothese, „Bei den Laufdistanzen in den verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen bezogen auf die Spielpositionsgruppen gibt es bei gewonnenen und verlorenen Spielen keine signifikanten Unterschiede“, konnte anhand der Studie nicht widerlegt werden. Hingegen konnte die zweite Hypothese, „Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Laufdistanzen der verschiedenen Positionsgruppen bei nationalen und internationalen Spielen“, in einigen Teilbereichen widerlegt werden.

Diese Daten für Spieler auf verschiedenen Positionen können dazu beitragen, individuelle Trainingsempfehlungen weiter zu verfeinern.

Bei der dritten Hypothese, „Im Laufdistanzvergleich der Positionsgruppen gibt es bei Läufen mit höchster Intensität ( $> 24,0$  km/h) keine signifikanten Unterschiede“, konnten keine signifikanten Unterschiede der Gruppen oder gruppeninterne Unterschiede aufgezeigt werden. Gleiches zeigt sich bei der vierten Hypothese „Zwischen einer Spitzenmannschaft aus der Bundesliga und einer aus der Premier League gibt es hinsichtlich der Laufdistanz keine signifikanten Unterschiede“. Auch hier konnte die Hypothese nicht widerlegt werden.

In praxisorientierten Publikationen und der Sportpresse wird dagegen oft von erheblich höheren Laufstrecken und –geschwindigkeiten englischer Mannschaften gesprochen. Die Analyse im Rahmen dieser Arbeit mit der hier zur Verfügung

stehenden Datengrundlage kann diese Aussage nicht bestätigen, aber aufgrund der Stichprobengröße naturgemäß auch nicht widerlegen.

Um den Zusammenhang zwischen Laufdistanzen und Erfolg vertieft prüfen zu können, sollten weiterführende Untersuchungen mit einem Vergleich einer gesamten Saison bzw. mehrerer Spielzeiten mit größeren Stichproben stattfinden. Bei dem Bereich mit hohen Intensitäten bzw. höchsten Intensitäten sollte der qualitative Aspekt eine größere Rolle spielen. Was bisher nicht ermittelt wurde, sind die einzelnen Höchstgeschwindigkeiten und Distanzen bei den einzelnen Beschleunigungen.

Das zweite Kapitel beinhaltet, aufbauend auf dem ersten Kapitel, Evaluierungen von Laufprofilen bezüglich der Zusammenhänge der mittleren Laufdistanzen in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen. Das geschah aus dem Grund, dass Verhaltens- bzw. Laufprofile einzelner Spieler untersucht werden sollten.

Die Analyse der Zusammenhänge der Gesamtlaufstrecke und mittleren Laufdistanzen mit maximaler Geschwindigkeit hat u. a. ergeben, dass eine negative Korrelation zwischen der zurückgelegten Laufdistanz mit geringster Fortbewegungsgeschwindigkeit (0-11,0 km/h) und maximaler Fortbewegungsgeschwindigkeit (> 24,0 km/h) besteht. Das bedeutet, dass es offenbar klare Spieler bezogene Charakteristika und Präferenzen hinsichtlich der gewählten Geschwindigkeitsintervalle gibt, die bis dato mit anderen Spielbeobachtungssystemen nicht erstellt werden konnten. Diese Präferenzen sind naturgemäß mit konditionellen Merkmalen in Verbindung zu bringen. Daraus lassen sich unmittelbar Konsequenzen für die bessere Beurteilung der Spielerleistung und das Training ableiten.

Um weitere Erkenntnisse auf die positionsspezifischen Anforderungen im Wettkampf zu erhalten, wären weiterführende Untersuchungen mit modernen Spielanalysesystemen sinnvoll. Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die zurückgelegte Gesamtstrecke und die Laufdistanzen in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen stellt naturgemäß die individuelle Ausdauerleistungsfähigkeit dar, die im vierten Kapitel dargestellt wird.

Das dritte Kapitel setzt sich mit den Zusammenhängen zwischen isometrischen und dynamischen Kraftparametern in den unteren Extremitäten sowie zwischen labordiagnostischen Sprungparametern und dynamischen Kraftparametern in den unteren Extremitäten von Leistungsfußballspielern auseinander.

Die isometrische Maximalkraft der Knieextensoren und -flexoren hat eine elementare Bedeutung auf die Explosivkraft, sowie auf die dynamische Maximalkraft. Bei den relativen Werten finden sich ähnliche Zusammenhänge zwischen den isometrischen und dynamischen Werten der gleichen belasteten Muskulatur. Die Erkenntnis, dass bei der Spannbreite der einzelnen Kraftparameter große interindividuelle Differenzen auch bei Leistungsspielern zu erkennen sind, spricht für eine differenzielle Leistungsdiagnostik. Ihr Hauptziel ist es, durch Identifizierung individueller Stärken und Schwächen eine optimierte trainingsinduzierte Verbesserung der leistungslimitierenden Faktoren im Fußball zu ermöglichen. Fußballspezifische Bewegungsabläufe werden dominiert von beschleunigenden bzw. abbremsenden „Kraftmanifestationsformen“. Für die Kraftdiagnostik im Leistungsfußball ist es daher von großer Bedeutung, neben der maximalen isometrischen Kraft auch die maximale dynamische Leistung zu erfassen und keine isokinetischen Muskelfunktionsanalysen zu absolvieren. Der erhobene Maximalkraftwert und die maximale Leistung der Knieextensoren wirken sich positiv auf die Sprunghöhe und Kontaktzeit des Drop Jumps bei Leistungsfußballern aus. Außerdem sollte die Erfassung der reaktiven Schnellkraftleistungen mittels der drei Sprungkrafttests als standardisierter Teil einer differenzierten Leistungsdiagnostik bei Fußballspielern im Profibereich erfolgen.

Die differenzierte Leistungsdiagnostik hat dabei die Zielstellung, individuelle Stärken und Schwächen frühzeitig zu erkennen, Längsschnitte der einzelnen Spieler zu erstellen und auf die deren Grundlage individuelle Trainingsprogramme an den individuellen Leistungsstand anzupassen.

Das vierte Kapitel beschäftigt sich mit der Ausdauerleistungsfähigkeit.

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels geht es um Längs- und Querschnittsanalysen anhand von Feldstufentestergebnissen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Grundlagenausdauer, gemessen an der V4, im Laufe der Saison variieren kann. Ebenfalls wird gezeigt, dass kaum saisonale Entwicklungen der V4 vorliegen, sondern die Trainingssteuerung den wichtigsten Einfluss ausübt.

Weiterhin wird gezeigt, dass es bezüglich der V4 keine Unterschiede zwischen Mannschaften unterschiedlicher Spiel- und Altersklassen gibt. Die Methode, ausschließlich anhand der V4 und der Leistungslaktatkurve die Ausdauerleistungsfähigkeit zu diagnostizieren, sollte hinterfragt werden. Sie liefert nicht genug Informationen für eine präzise Beschreibung von Ausdauerfähigkeiten.



Mögliche Unterschiede in den Energiestoffwechselkapazitäten zwischen Mannschaften unterschiedlicher Spiel- und Altersklasse werden somit nicht identifiziert. Dringend zu empfehlen sind spiroergometrische Verfahren.

Im zweiten Abschnitt zum Thema Ausdauerdiagnostik und Trainingssteuerung wird der Feldstufentest (V4) der Spiroergometrie ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) gegenübergestellt. Spiroergometrisch erhält man im Vergleich zum FST ungleich mehr Informationen, was eine genauere Beschreibung und Profilerstellung von Ausdauerkapazitäten ermöglicht. Individuell optimierte und differenziertere trainingsmethodische Maßnahmen können auf Grundlage eines fundierten, mittels Spiroergometrie und Laktatanalysen erstellten, Stoffwechselleistungsprofils getroffen werden.

Im abschließenden Kapitel dieser Dissertation geht es um das Individual- und Mannschaftsverhalten. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Kapiteln, wo Hypothesen orientiert gearbeitet wurde, werden in diesem Kapitel Methoden der explorativen Datenanalyse eingesetzt. Der erste Teil beschäftigt sich mit individuellen und kollektiven Verhaltensweisen. Mit Hilfe von 2D-Bewegungen werden erste Ansätze für dynamische und quantitative Analysen durchgeführt.

Bewegungen und Aktionen von Spielern werden nicht nur durch physikalische Gesetze bestimmt, sondern auch durch Situationen. Ein Fußballspiel ist kein deterministischer, sondern ein weitgehend stochastischer Prozess. In diesem Kapitel wird versucht, das Spiel zweier Mannschaften anhand von Mustererkennungen zu analysieren. Einige relevante Parameter, wie z.B. die Zeit des Ballbesitzes, das Bewegungsausmaß usw. wurden hergeleitet.

Verschiedene quantitative Ergebnisse hinsichtlich der individuellen und kollektiven Verhaltensweisen, „größere Wirkungsbereiche“ und die Gruppierung von Spielern, Entfernungsbereich, spezifische kinetische Energie, Leistungsdichte, Kreuz- und Autokorrelationen, sowie viele relevante Parameter und potentielle Indikatoren wurden im zweiten Abschnitt „Energie, Spektral- und Korrelationsanalysen“ dieses Kapitels durchgeführt.

Die Verbesserung des Leistungsvermögens eines Sportlers oder einer Mannschaft im höchsten Leistungsbereich setzt umfangreiche sport- und trainingswissenschaftliche Kenntnisse voraus. Je komplexer die Struktur des Anforderungsprofils und je umfangreicher der sportliche Kontext, desto vielschichtiger ist der Bereich der Einflussfaktoren auf die sportliche Leistung.

Im Fußball werden seit einiger Zeit neue Konzepte für eine verbesserte Leistungsförderung gesucht. Wie in anderen Sportarten wird auch im Fußball immer mehr die Unterstützung aus der Sportwissenschaft in Anspruch genommen, um die sportliche Leistung zu optimieren. Mit unterschiedlichen Test- und Analyseverfahren werden gruppenspezifische und individuelle Leistungsprofile erstellt.

Durch eine gezielte Leistungsdiagnostik besteht die Möglichkeit, ein fußballspezifisch ausgerichtetes individuelles Training in den verschiedensten Bereichen zu erstellen und somit die körperlichen Defizite jedes einzelnen Spielers auf ein Minimum zu reduzieren.

Das moderne Fußballspiel ist im Vergleich zur Spielweise früherer Jahre deutlich schneller, athletischer und dynamischer geworden. Die konditionelle Verfassung der Spieler und speziell das Leistungsniveau der (psycho-) physischen Fähigkeit Schnelligkeit gewinnen dadurch zunehmend an Bedeutung. Dies bedingt eine konsequente Auseinandersetzung mit den physischen Leistungsfaktoren, deren Analysemöglichkeiten sowie den daraus resultierenden Trainingsprinzipien einschließlich der praktischen Umsetzung.

## Literaturverzeichnis

1. Ali, A. and Farrally, M.. A computer-video aided time motion analysis technique for match analysis. *J.Sports Med.Phys.Fitness* 31 (1):82-88, (1991).
2. Arnason, A., Sigurdsson, S.B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., Bahr, R. Physical Fitness, Injuries, and Team Performance in Soccer. *Med.Sci.Sports Exerc.* 36 (2):278-285, (2004)
3. Australian Sports Commission. Physiological tests for elite athletes, Champaign, Ill.; Leeds, Human Kinetics, (2000).
4. Baldari, C., Videira, M., Madeira, F., Sergio, J., and Guidetti, L. Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. *Eur J Appl Physiol* 93, 224-30 (2004).
5. Bangsbo, J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 619, 1-155 (1994).
6. Bangsbo, J., Lindquist, F. Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. *Int J Sports Med.*; 13(2):125-32, (1992).
7. Bangsbo, J., Mizuno, M. Morph. and metabolic alteration in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. In: *Science and Football* (Hrsg. Reilly, T., Lees, A., Davids, K., Murphy, W.J.) London:114-124, (1988).
8. Bangsbo, J., Mohr, M., and Krstrup, P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci* 24, 665-74 (2006).
9. Bangsbo, J., Norregaard, L. and Thorso, F., Activity profile of competition soccer, *Canadian Journal of Sport Science – Revue Canadienne des Sciences du Sport*, 16 (2): 110-116 (1991).

10. Bencke, J., Damsgaard, R., Sackmose, A., Jorgensen, K., Klausen, K. Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 year old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, and swimming. *Scand J Med Sci Sports*; 12(3):171-78, (2002).
11. Beneke, R., Brüggemann, G. P., Bohndorf, K., Ritzdorf, W., Hollmann, W. Die Bedeutung der Computertomographie in der Muskelkraftdiagnostik. *Dt Z Sportmed*.; 41(5):160-68, (1990).
12. Bisanz, G., Gerisch, G. *Fußball. Training, Technik, Taktik*. Hamburg. Rowohlt Taschenbuch Verlag, (1980)
13. Bisanz, G., Gerisch, G. *Fußball - Kondition - Technik - Taktik und Coaching*, Aachen, Meyer & Meyer, (2008).
14. Bittner, E., Nussbaumer, A., Janke, W., Football fever: Goal distributions and non-Gaussian statistics, arXiv: physics/0606016v1 [physics.soc-ph], 1 Jun. (2006).
15. Bleicher, A., Mader, A., and Mester, J. Zur Interpretation von Laktatleistungskurven - experimentelle Ergebnisse mit computergestuetzten Nachberechnungen. *Spectrum der Sportwissenschaften* 10, 92-104 (1998).
16. Bloomfield, J., Polman, R., Butterly, R., O'donoghue, P., Analysis of age, stature, body mass, BMI and quality of elite soccer players from 4 European Leagues. *J Sports Med Phys Fit* 45: 58-67, (2005).
17. Bobbert, M. F., Huijing, P. A., van Ingen Schenau, G. J. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc*.; 19(4):339-46, (1987).
18. Boning, D. and Maassen, N. Last word on point:counterpoint: lactic acid is/is not the only physicochemical contributor to the acidosis of exercise. *J Appl Physiol* 105, 368 (2008).

19. Boning, D., Strobel, G., Beneke, R., and Maassen, N. Lactic acid still remains the real cause of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 289, R902-3; author reply R904-910 (2005).
20. Borrie, A., Jonsson, G.K., Magnusson, M.S., Temporal pattern analysis and its applicability in sports: an explanation and exemplar data, *Journal of Sports Sciences*, 20 (10): 845-852, (2002).
21. Brady, K., Maile, A., and Ewing, B. An investigation into the fitness of professional soccer players over two season. Reilly, T., Bangsbo, J., and Hughes, M. *Science and Football III*. 118-122, (1997).
22. Brack, R., Zu praktischen Handlungstheorien des Sportspieltrainers, *Leistungssport*, 23(2):12-16, (1993).
23. Brauch, S., Analyse sportartspezifischer Kraftdiagnostiken der unteren Extremitäten bei Profifußballern und Beziehungen zur Wettkampfleistung, Diplomarbeit an der Deutschen Sporthochschule Köln, (2007).
24. Bravo, D.F. et al. Sprint vs. Interval Training in Football. *Int J Sports Med* (2007).
25. Brocherie, F., Morikawa, T., Hayakawa, N., Yasumatsu, M. Pre-season anaerobic performance of elite Japanese soccer players. In: *Science and Football V* (Hrsg. Reilly, T., Cabri, J., Araújo, D.) London, 144-154, (2005).
26. Bührle, M., Schmidtbleicher, D. Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. *Sportwissenschaft*, 11(1):11-16, (1981).
27. Bundesministerium den Innern (Hrsg.): *Hooliganismus in Deutschland: Ursachen, Entwicklung, Prävention und Intervention*. Berlin, (2001).
28. Burgess, D. J., Naughton, G., Norton, K. I. Profile of movement demands of national football players in Australia. *J Sci Med Sport*. 9(4):334-41, (2006).

29. Burgomaster, K.A. et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 586, 151-60 (2008).
30. Cabri, J., De Proft, E., Dufour, W., Clarys, J.P. The relation between muscular strength and kick performance. In: *Science and Football* (Hrsg. Reilly, T., Lees, A., Davids, K., Murphy, W.J.) London, 186-93, (1988).
31. Casajus, J.A. Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 41, 463-9 (2001).
32. Chatham, J.C. Lactate -- the forgotten fuel! *J Physiol* 542, 333 (2002).
33. Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., Maffulli, N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med.* ; 22(1):45-51, (2001).
34. Deutscher Fußball-Bund, *Fußballregeln*. Frankfurt am Main, (2003/2004).
35. Diallo, O., Dore, E., Duche, P., Van Praagh, E. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*; 41(3):342-8, (2001).
36. Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., Pigozzi, F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med.*; 28(3):222-7, (2007).
37. Di Salvo, V. and Pigozzi, F. Physical training of football players based on their positional rules in the team. Effects on performance-related factors. *J Sports Med Phys Fitness* 38, 294-7, (1998).
38. Dunbar, G. M. J. An examination of longitudinal change in aerobic capacity through the playing year in english professional players, as determined by lactate profiles. *Science and Football IV*. 72-6, (2002).

39. Dunbar, G. M. J., Power, K. Fitness profiles of English professional and semi-professional soccer players using a battery of field tests. In: Science and Football III (Hrsg. Reilly, T., Bangsbö, J., Hughes, M.) London, 27-31, (1997).
40. Dupont, G., Akakpo, K., and Berthoin, S. The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. J Strength Cond Res 18, 584-9, (2004).
41. Ekblom, B. Applied physiology of soccer. Sports Med 3, 50-60, (1986).
42. Faina, M., Gallozzi, C., Lupo, S. Definition of physical profile of the soccer players. In: Science and Football (Hrsg. Reilly, T., Lees, A., Davids, K., Murphy, W.J.) London, 158-63, (1988).
43. Ferrauti, A., Giesen, H.T., Merheim, G., and Weber, K. Indirekte Kalorimetrie im Fußballspiel. Dt Z Sportmed 57, 142-146, (2006).
44. Frayn, K.N. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. J Appl Physiol 55, 628-34, (1983).
45. Frick, U. Kraftausdauerverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Köln, (1993).
46. Garganta, J., Maia, J., Silva, R. A comparative study of explosive leg strength in elite and non-elite young soccer players. In: Science and Football II (Hrsg. Reilly, T., Clarys, J., Stibbe, A.) London, 304-6, (1993).
47. Gerisch, G., *Aggression im Fußball*. Hamburg: Czwalina, (2002).
48. Gerisch, G., Merheim, G., Weber, K., Leistungsdiagnostische Aspekte zur Trainingssteuerung im Fußball. In C. Andresen, G. Hagedorn (Eds.), *Sportspiele: Animieren – Trainieren*. (pp.73-81). Ahrensburg: Czwalina, (1988).
49. Gerisch, G. and Weber, K. Diagnostik der Ausdauer und der Schnelligkeit im Fußball. Fussballtraining 10, 32-38, (1992).

50. Gerisch, G. and Weber, K. Differenzierte Trainingsgestaltung im Spitzenfußball durch systematische Leistungskontrolle. Martin, D. and Weigelt, S. Trainingswissenschaft : Selbstverständnis und Forschungsansätze. 157-165 . 93. Sankt Augustin, Academia Verl. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft., (1993).
51. Gerisch, G., Weber, K., and Kronau, W. Leistungsdiagnostik zur Steuerung des Konditionstrainings im Fussball. Leipziger sportwissenschaftliche Beiträge 32, 246-254, (1991).
52. Gibala, M.J. et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 575, 901-11, (2006).
53. Gissis, I., Papadopoulos, C., Kalapotharakos, V. I., Sotiropoulos, A., Komsis, G., Manolopoulos, E. Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Res Sports Med.*; 14(3):205-14, (2006).
54. Gladden, L.B. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol* 558, 5-30, (2004).
55. Gladden, L.B. Current trends in lactate metabolism: introduction. *Med Sci Sports Exerc* 40, 475-6, (2008).
56. Glickman, M.E., Stern, H.S., A state-space model for National Football League scores, *Journal of the American Statistical Association*, 93 (441): 25-35, (1998).
57. Güllich, A., Schmidtbleicher, D. Struktur der Krafftigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Dt Z Sportmed.*; 50(7-8):223-34, (1999).
58. Harmer, A.R. et al. High-intensity training improves plasma glucose and acid-base regulation during intermittent maximal exercise in type 1 diabetes. *Diabetes Care* 30, 1269-71, (2007).



59. Harmer, A.R. et al. Sprint training increases muscle oxidative metabolism during high-intensity exercise in patients with type 1 diabetes. *Diabetes Care* 31, 2097-102, (2008).
60. Hartmann-Tews, I., Sport for All: System and Policy. In Roland Naul & Ken Hardmann (eds.), *Sport and Physical Education in Germany* (pp. 153-164). London, New York: Routledge, (2002).
61. Hashimoto, T. and Brooks, G.A. Mitochondrial lactate oxidation complex and an adaptive role for lactate production. *Med Sci Sports Exerc* 40, 486-94, (2008).
62. Hawley, J.A. Specificity of training adaptation: time for a rethink? *J Physiol* 586, 1-2, (2008).
63. Heck, H. Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. 90. Schorndorf, Hofmann, (1990).
64. Helgerud, J., Engen, L.C., Wisloff, U., and Hoff, J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33, 1925-31, (2001).
65. Helgerud, J., Hoff, J., Wisloff, U. Gender differences in strength and endurance of elite soccer players. In: *Science and Football IV* (Hrsg. Spinks, W., Reilly, T., Murphy, A.) Sydney, 382-83, (2002).
66. Hennessy, L., Kilty, J. Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J Strength Cond Res.*, 15(3):326-31, (2001).
67. Heyden, G., Droste, J., Steinhöfer, D. Zum Zusammenhang von Maximalkraft, Schnellkraft und Bewegungsschnelligkeit. *Leistungssport*, 18(2):39-46, (1988).
68. Hoff, J. Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J Sports Sci* 23, 573-82, (2005).

69. Hoff, J. and Helgerud, J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 34, 165-80, (2004).
70. Hoff, J., Wisloff, U., Engen, L.C., Kemi, O.J., and Helgerud, J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 36, 218-21, (2002).
71. Hollmann, W. und Hettinger T. *Sportmedizin*. Stuttgart, (4., völlig neu bearb. und erw. Auflage), (2000).
72. Hollmann, W., Strüder, H. K., Predel, H. G., and Tagarakis, C. V. M. *Spiroergometrie*, Stuttgart, Germany, Schattauer, (2006).
73. Hottenrott, K. Tips zum Ausdauertraining. Methodische Hinweise und Trainingskonzepte zu einem wichtigen Konditionsfaktor im Fussball. *Fussballtraining* 14, 88-89, (1996).
74. Hsieh, M.J. et al. Effects of high-intensity exercise training in a pulmonary rehabilitation programme for patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respirology* 12, 381-8, (2007).
75. Immel, M., *Sozialpsychologische Studie des Publikums des 1.FSV Mainz 05 in der 1. Bundesliga*. Diplomarbeit. Deutsche Sporthochschule Köln, (2006).
76. Impellizzeri, F.M. et al. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med* 27, 483-92, (2006).
77. Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., and Marcora, S.M. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sports Sci* 23, 583-92, (2005).
78. Janssen, P. G. J. M. *Ausdauertraining: Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung*, Balingen, Spitta, (2003).

79. Jeukendrup, A.E. and Wallis, G.A. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med* 26 Suppl 1, S28-37, (2005).
80. Juel, C. and Halestrap, A.P. Lactate transport in skeletal muscle - role and regulation of the monocarboxylate transporter. *J Physiol* 517 ( Pt 3), 633-42, (1999).
81. Katch, V., Weltman, A., Sady, S., and Freedson, P. Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 39, 219-27, (1978).
82. Kemp, G. Lactate accumulation, proton buffering, and pH change in ischemically exercising muscle. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 289, R895-901; author reply R904-910, (2005).
83. Knowles, J.E. and Brooke, J.D., *A movement analysis of player behaviour in soccer match performance*. Paper presented at the 8<sup>th</sup> conference, British Society of Sport Psychology, Salford, (1974).
84. Kollath, E., Merheim, G., Braunleder, A., Kleinöder, H. Sprintschnelligkeit von jugendlichen Leistungs-Fußballspielern. *Leistungssport*, 36(3):25-28, (2006).
85. Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakovou, G., Patikas, D. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res.*, 19(2):369-75, (2005).
86. Krstrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P.K., Bangsbo, J. The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc.*, 35(4):697-705, (2003).
87. Lago, C. and Martin, R., Determinants of possession of the ball in soccer, *Journal of Sports Sciences*, 25 (9): 969-974, (2007).

88. Latsch, J., Harig, , Vassiliadis, A., and Predel, H.-G. Vergleich dreier Belastungsmodelle zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei Mittel und Langstreckenläufern. *Dt Z Sportmed* 58(7+8), 236, (2007).
89. Mader, A. *et al.* Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin* 27, 80-8+109-12, (1976).
90. Mader, A. and Heck, H. A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold". *Int J Sports Med* 7 Suppl 1, 45-65, (1986).
91. Malacarne, L.C. and Mendes, R.S., Regularities in football goal distributions, *Physica A*, 286 (1-2): 391-395, (2000).
92. Manolopoulos, E., Papadopoulos, C., Salonikidis, K., Katartzi, E., Poluha, S. Strength training effects on physical conditioning and instep kick kinematics in young amateur soccer players during preseason. *Percept Mot Skills.*, 99(2):701-10, (2004).
93. Masuda, K., Kikuhara, N., Demura, S., Katsuta, S., Yamanaka, K. Relationship between muscle strength in various isokinetic movements and kick performance among soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.*, 45(1):44-52, (2005).
94. Mayhew, s.R. and Wenger, H.A., Time-motion analysis of professional soccer. *J. Hum. Mov. Stud.* 11: 49-52, (1985).
95. Messonnier, L., Kristensen, M., Juel, C., and Denis, C. Importance of pH regulation and lactate/H<sup>+</sup> transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *J Appl Physiol* 102, 1936-44, (2007).
96. McMillan, K. *et al.* Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *Br J Sports Med* 39, 432-6, (2005).
97. Mendes, R.S., Malacarne, L.C. and Anteneodo, C., Statistics of football dynamics, *Eur. Phys. J. B*, 57: 357-363, (2007).

98. Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J. T., Komi P. V. Relationship between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand J Sports Sci.*, 3(1):16–22, (1981).
99. Metaxas, T., Sendelides, T., Koutlianos, N., and Mandroukas, K. Seasonal variation of aerobic performance in soccer players according to positional role. *J Sports Med Phys Fitness* 46, 520-5, (2006).
100. Meyer, T. Trainingsgestaltung im Leitungsfußball - wissenschaftliche Erkenntnisse vs. sportartspezifische Tradition. *Dt Z Sportmed* 57, 132-7, (2006).
101. Meyer, T., Gabriel, H.H., and Kindermann, W. Is determination of exercise intensities as percentages of VO<sub>2</sub>max or HRmax adequate? *Med Sci Sports Exerc* 31, 1342-5, (1999).
102. Meyer, T., Ohlendorf, K. und Kindermann, W., Konditionelle Fähigkeiten deutscher Spitzenfußballer im Längsschnitt. *Dtsch. Z. Sportmed.* 51 (7+8):271-277, (2000).
103. Mognoni, P., Narici, M. V., Sirtori, M. D., Lorenzelli, F. Isokinetic torques and kicking maximal ball velocity in young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.*; 34(4):357-61, (1994).
104. Mohr, M., Krstrup, P., and Bangsbo, J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21, 519-28, (2003).
105. Moore, E. W., Hickey, M. S., Reiser, R. F. Comparison of two twelve week off-season combined training programs on entry level collegiate soccer players' performance. *J Strength Cond Res.*, 19(4):791-8, (2005).

106. Mücke, S. and Liesen, H. Ausdauerleistungsdiagnostik im Fussball. Tittel, K., Arndt, K.-H., and Hollmann, W. Sportmedizin: gestern - heute - morgen. 293-297. 93. Leipzig, Barth, (1992).
107. Müller, E. und Lorenz, H.. Computergestütztes Spielanalysesystem im Spitzenfußball. *Leistungssport* 1: 59-62, (1996).
108. Newman, M. A., Tarpinning, K.M., Marino, F.E. Relationships between isokinetic knee strength, single-sprint performance, and repeated-sprint ability in football players. *J Strength Cond Res.*, 18(4):867-72, (2004).
109. Ohashi, J., Togari, H., Isokawa, M., Suzuki, S., Measuring movement speeds and distances covered during soccer match-play. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids, W. J. Murphy (Eds.), *Science and Football* (pp. 329-333). London/New York: E. & F. N. Spon, (1998).
110. Onody, r.N. and de Castro, P.A., Complex network study of Brazilian soccer players, *Physical Review E*, 70 (3): Art. No. 037103 Part 2, (2004).
111. Orthmann, P., Laufprofile im Profifußball, Diplomarbeit an der Deutschen Sporthochschule Köln, 2007.
112. Ozcakar, L., Kunduracyoolu, B., Cetin, A., Ulkar, B., Guner, R., Hascelik, Z. Comprehensive isokinetic knee measurements and quadriceps tendon evaluations in footballers for assessing functional performance. *Br J Sports Med.*, 37(6):507-10, (2003).
113. Peter, R., *Modernes Verteidigen*. Münster: Philippka-Sportverlag, (2003).
114. Philp, A., Macdonald, A.L., and Watt, P.W. Lactate--a signal coordinating cell and systemic function. *J Exp Biol* 208, 4561-75, (2005).
115. Pilegaard, H. et al. Effect of high-intensity exercise training on lactate/H<sup>+</sup> transport capacity in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 276, E255-61, (1999).

116. Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., Impellizzeri, F. M. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int J Sports Med.*, 28(3):228-35, (2007).
117. Reilly, T., Motion characteristics. In B. Ekblom, *Football (soccer)* (pp. 31–42). Oxford: Blackwell Scientific Publications, (1993).
118. Reilly, T. Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *J Sports Sci* 15, 257-63, (1997).
119. Reilly, T., Motion analysis and physiological demands. In T. Reilly and A. M. Williams, *Science and Soccer* (pp.59-72). London: Routledge, (2003).
120. Reilly, T. The science of training - soccer. London, (2007).
121. Reilly, T., Drust, B., and Clarke, N. Muscle fatigue during football match-play. *Sports Med* 38, 357-67, (2008).
122. Reilly, T., Bangsbo, J., and Franks, A.. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J.Sports Sci.* 18 (9):669-683, (2000).
123. Reilly, T., Thomas, V. A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Human Movement Stud.*, 2:87-97, (1976).
124. Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., Franks, A. A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *J Sports Sci.*, 18(9):695-702, (2000).
125. Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J.E.L. and Martin, A., Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42 (2): 162-169, (2000).

126. Robergs, R.A., Ghiasvand, F., and Parker, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 287, R502-16, (2004).
127. Rognmo, O., Hetland, E., Helgerud, J., Hoff, J., and Slordahl, S.A. High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 11, 216-22, (2004).
128. Sachs, L., *Angewandte Statistik*. 8. Auflage. Heidelberg: Springer Verlag, (1996).
129. Schlumberger, A. Sprint- und Sprungkrafttraining bei Fußballspielern. *Dt Z Sportmed*, 57(5):125-31, (2006).
130. Schmidtbleicher, D. Möglichkeiten der Kraftdiagnostik im Fußball. In: Fußball vor der WM 2006 (Hrsg. Neumann Gabriele) Köln: 31-35, (2003).
131. Siegler, J., Gaskill, S., Ruby, B. Changes evaluated in soccer-specific power endurance either with or without a 10-week, in-season, intermittent, high-intensity training protocol. *J Strength Cond Res.*, 17(2):379-87, (2003).
132. Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., and Wisloff, U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35, 501-36, (2005).
133. Stroyer, J., Hansen, L. and Klausen, K., Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med.Sci.Sports Exerc.* 36 (1):168-174, (2004).
134. Thatcher, R. and Batterham, A.M. Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 44, 15-22, (2004).



135. Tumilty, D., The relationship between physiological characteristics of junior soccer players and performance in a game simulation. In T. Reilly, J. Clarys, A. Stibbe (Eds.), *Science and Football* (pp. 281-286). London: E. & F. N. Spon, (1993).
136. Tumilty, D., Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Med.* 16 (2):80-96, (1993).
137. van Gool, D., Van Gerven, D. and Boutmans, J., The physiological load imposed on soccer players during real match-play. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids, W. J. Murphy (Eds.), *Science and Football* (pp. 51-59). London/New York: E. & F. N. Spon, (1988).
138. Verheijen, R. Handbuch Fußballkondition. Leer, (2000).
139. Vinnai, G., *Football Mania*. London: Ocean Books, (1973).
140. Weineck, J. Optimales Fußballtraining. Balingen, Spitta, (1992).
141. Weineck, J. Optimales Fußballtraining. Erlangen (4., überarb. Auflage), (2004).
142. Weltman, A. et al. Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve and VO<sub>2</sub>max for determining endurance training intensity in male runners. *Int J Sports Med* 11, 218-22, (1990).
143. Whitehead, N., *Conditioning for Sport*. pp 40-42, Yorkshire:E. P. Publishing Co. Ltd., (1975).
144. Winkler, W., Spielbeobachtung bei Fußballspielen im Zusammenhang mit Spielerpositionen, Spielsystem und Laufbelastung. *Leistungsfußball* 21 (6):63-68, (1983).
145. Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., Hoff, J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.*, 38(3):285-8, (2004).

146. Wisloff, U., Helgerud, J., and Hoff, J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 30, 462-7, (1998).
147. Withers, R.T., Maricic, Z., Wasilewski, S. and Kelly, L., Match analysis of Australian professional soccer players. *J. Hum. Mov. Stud.* 8: 159-176, (1982).
148. Yamanaka, K., Haga, S., Shindo, M., Narita, J., Koseki, S., Matsuuara, Y., Eda, M., Time and motion analysis in top class soccer games. In Reilly, T., Lees, A., Davids, K., Murphy, W.J. (Eds.), *Science and Football* (pp. 334-340). London/New York: E. & F. N. Spon, (1988).
149. Young, W. Strength qualities: what they are and what they mean to the coach. *Strength & Conditioning Coach*, 3(4):13-, (1995).
150. Yue, Z., Broich, H., Seifriz, F. and Mester, J., Mathematical analysis of soccer game, *Studies in Applied Mathematics*, submitted, (Paper I), Vol.121, Nr. 3, pp.223-243, *Studies in Applied Mathematics*, (Paper II), Vol. 121, Nr. 3, pp. 245-261, Oktober 2008.

### Internetquellen

151. AMISCO-Referenzen → gefunden am 30.08.2007 unter [http://mastercoach.de/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=32&Itemid=48](http://mastercoach.de/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=32&Itemid=48)
152. AMISCO-Pro System Beschreibung → gefunden am 28.08.2007 unter <http://213.30.139.108/sport-universal/de/amiscopro.htm>
153. AMSICO Newsletter, Deutschland. MasterCoach Int. GmbH, Düsseldorf, vgl. [www.amisco.eu](http://www.amisco.eu)

154. Weltpokalvertreter 1984 → gefunden am 10.12.2007 unter [http://de.wikipedia.org/wiki/Weltpokal\\_%28Vereinsfu%C3%9Fball%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Weltpokal_%28Vereinsfu%C3%9Fball%29)
155. Spielergebnisse der Bundesliga von 2004–2007 → gefunden am 10.01.2008 unter <http://www.kicker.de/news/fussball/bundesliga/spieltag/tabelle/>
156. Hauptsitz der Firma „StatSoft“, gefunden am 07.02. 2008 unter [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)
157. Hauptsitz der Firma „Microsoft“, gefunden am 07.02. 2008 unter [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)
158. Gläserner Athlet: (Anti-Doping Kampagne des Österreichischen Radbundes) gefunden am 15.02.2008 unter <http://www.imsb.at/main.asp?kat1=19&kat2=71&kat3=&Text=403>

## Danksagung

Bedanken möchte ich mich für den Zuspruch meines Doktorvaters Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Joachim Mester, der nicht nur in fachspezifischen, sondern auch in privaten Gesprächen immer dafür gesorgt hat, dass ich stets konzentriert und motiviert war - vielen Dank für die Betreuung der Dissertation und die hervorragende Zusammenarbeit. Ohne die Unterstützung und das Vertrauen der Bayer 04 Leverkusen Fußball GmbH, besonders Herrn Wolfgang Holzhäusers, Rudi Völlers, Michael Reschkes sowie Meinolf Sprinks wäre die Dissertation nicht möglich gewesen. Vielen Dank dafür. Auch bei meinen Wegbegleitern Michael Skibbe, Peter Hermann sowie Rüdiger Vollborn, mit denen ich viele interessante Diskussionen geführt habe, bedanke ich mich herzlich. Bedanken möchte ich mich auch bei meinem Arbeitskreis, bestehend aus den Diplomanten Philipp Orthmann und Sebastian Brauch, die mir mit ihren Diplomarbeiten die Basis für meine Monografie gegeben haben. Außerdem schulde ich meinem Mitarbeiter Sebastian Buitrago meinen Dank, der mir immer tatkräftig zur Seite stand. Des Weiteren gilt mein großer Dank Heike Immand für die administrative Unterstützung. Bei der Firma SUP bedanke ich mich herzlich für die Bereitstellung von Datenmaterial. Auch geht mein Dank an meine Mutter sowie an meinen Bruder, die mir immer moralisch zur Seite gestanden haben.

Danke sage ich auch meiner Frau Stefanie, die mich stets bestärkt hat, wenn ich an mir gezweifelt habe. Sie hat mir die ganze Zeit den Rücken frei gehalten.

## Lebenslauf

**Name:** Broich

**Vorname:** Holger

**Geburtsdatum:** 18.09.1974

**Geburtsort:** Meppen

**Familienstand:** verheiratet

**Staatsangehörigkeit:** deutsch

**Konfession:** katholisch

**Anschrift:** Berghamberg 6A  
51399 Burscheid

**Eltern:** Jürgen Broich (04.10.1941)  
Maria Broich, geb. Hoppe (02.05.1944)

**Geschwister:** Guido Broich (04.06.1971)

**Schul Ausbildung:**

1981-1985 Grundschole Nödike  
1985-1995 Gymnasium Marianum  
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

**Wehrdienst:**

01.07.1995-30.04.1996

**Hochschulstudium:**

SS 1996-SS 2003 Diplomsportwissenschaften an der Deutschen  
Sporthochschule (DSHS) Köln  
Schwerpunkt: Training und Leistung  
Diplomarbeit: Leistungsdiagnostik im modernen Fußball-  
Trainings- und Wettkampfanalysen mit Datenbanken und  
computergestützten Analyseprogrammen

**Wissenschaftlicher  
Werdegang:**

06/1998-06/2003 Studentische Hilfskraft im Institut für Sportspiele/Fußball –  
Leiter der Fußball-Leistungsdiagnostik

seit 07/2003 Konditions- und Rehatrainer; Sportwissenschaftler und  
Leistungsdiagnostiker bei der Bayer 04 Leverkusen  
Fußball GmbH

SS 2006 Beginn des Promotionsstudiums an der DSHS Köln