

Technische Universität München

Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft

Lehrstuhl für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

Innovationen in der Wettkampfdiagnostik Fußball

Malte Siegle

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Joachim Hermsdörfer

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Martin Lames
2. Prof. Dr. Koen A.P.M. Lemmink,
University Medical Center Groningen / Niederlande

Die Dissertation wurde am 07.11.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft am 13.03.2013 angenommen.

Inhaltsverzeichnis.....	1
1 Einleitung.....	5
1.1 Begriffsbildung.....	5
1.2 Thematische Einordnung in den Bereich der Trainingswissenschaft.....	5
1.2.1 Training, Leistungsfähigkeit und Wettkampf im Kontext von Trainingswissenschaft.....	5
1.3 Der sportlicher Wettkampf.....	8
1.3.1 Modellvorstellungen zum Wettkampf.....	8
1.3.2 Wettkampfsteuerung.....	11
1.3.2.1 Wettkampfvorbereitung.....	12
1.3.2.2 Wettkampflenkung.....	13
1.3.2.3 Wettkampfnachbereitung.....	14
1.3.3 Wettkampfdiagnostik.....	15
1.3.3.1 Neugliederung der Wettkampfdiagnostik in Theoretische und Praktische Wettkampfdiagnostik sowie Methodologie der Wettkampfdiagnostik.....	16
1.4 Themenspezifische Einordnung in die Felder der Wettkampfdiagnostik	18
1.4.1 Case-by-Case Analysen von Spielunterbrechungen.....	18
1.4.2 Überprüfung der Aussagekraft von Ermüdungsschätzung auf Basis von Positionsdaten.....	20
1.4.3 Überprüfung der Genauigkeit von Positionsdetektionssystemen im Fußball.....	21
1.4.4 Analyse von Spielstrukturen mit Hilfe der Relativen Phase.....	23
2 Methoden.....	28
2.1 Systematische Spielbeobachtung im Fußball.....	28
2.1.1 Entstehung.....	28
2.1.2 Grundbegriffe.....	29
2.2 Positionsdetektion im Fußball.....	32

2.2.1	Nicht-automatisierte Detektion via Handnotation.....	32
2.2.2	Halbautomatisierte und vollautomatisierte Detektion.....	33
2.2.3	Positionsdetektion via Global Positioning System (GPS)	34
2.2.3.1	Hintergrundwissen	34
2.2.3.2	Funktionsweise	35
2.2.4	Positionsdetektion via Bilderkennung	36
2.2.4.1	Hintergrundinformationen.....	36
2.2.4.2	Funktionsweise	38
2.2.5	Radarbasierte Positionsbestimmung	40
2.2.5.1	Hintergrundwissen	40
2.2.5.2	Funktionsweise	41
3	Einzelbeiträge.....	43
3.1	Game interruptions in elite soccer.....	43
3.2	Influences on frequency and duration of game stoppages during soccer... ..	44
3.3	Zur Aussagekraft von Positions- und Geschwindigkeitsdaten im Fußball ..	45
3.4	Design of an accuracy study for position detection in football	46
3.5	Modeling soccer by means of relative phase	47
4	Diskussion	48
4.1	Themenspezifische Diskussion und Ausblick.....	48
4.1.1	Case-by-Case Analysen von Spielunterbrechungen	48
4.1.2	Zur Aussagekraft von Positions- und Geschwindigkeitsdaten im Fußball	49
4.1.3	Modellierung von Fußball mit Hilfe der Relativen Phase	49
4.1.4	Design of an accuracy study for position detection in football	50
4.2	Themenübergreifende Diskussion und Zusammenfassung.....	51
5	Literaturverzeichnis	55
6	Abbildungsverzeichnis.....	61

7 Tabellenverzeichnis..... 62

1 Einleitung

1.1 Begriffsbildung

Innovation stammt von den lateinischen Wörtern *novus* und *innovatio*, was so viel bedeutet wie *neu* und *etwas neu Geschaffenes*. Diese Arbeit stellt mehrere Teilbereiche vor, (1) Case-by-Case Analysen von Spielunterbrechungen, (2) die Überprüfung der Aussagekraft von Ermüdungsschätzungen auf Basis von Positionsdaten im Fußball, (3) die Überprüfung der Genauigkeit von Positionsdetektionssystemen im Fußball und (4) einen neuen Ansatz zur Analyse von Spielstrukturen im Fußball, die Relative Phase. Allen Bereichen kann attestiert werden, dass mit Hilfe der dafür notwendigen Studien und Untersuchungen etwas *neu geschaffen* wurde, was in dieser Form bisher nicht vorhanden war. Somit ist der Anspruch, der im Titel dieser Arbeit formuliert wurde, gerechtfertigt.

Alle Teilbereiche können dem Feld der Wettkampfdiagnostik zugeordnet werden. Diese Arbeit betrachtet Wettkampfdiagnostik aus drei verschiedenen Blickwinkeln: (1) Theoretische Wettkampfdiagnostik, (2) Praktische Wettkampfdiagnostik und (3) Methodologie der Wettkampfdiagnostik. Eine detaillierte Begründung dieser neuen Betrachtung und eine Erläuterung der einzelnen Felder erfolgt im weiteren Verlauf der Arbeit. Zunächst soll jedoch eine thematische Einordnung der Teilbereiche in den Bereich der Trainingswissenschaft erfolgen.

1.2 Thematische Einordnung in den Bereich der Trainingswissenschaft

1.2.1 Training, Leistungsfähigkeit und Wettkampf im Kontext von Trainingswissenschaft

„Trainingswissenschaft ist diejenige sportwissenschaftliche Disziplin, die sich aus einer ganzheitlichen und angewandten Perspektive mit der wissenschaftlichen Fundierung von Training und Wettkampf auf den Anwendungsfeldern des Sports beschäftigt.“ (Hohmann, Lames & Letzelter, 2010, S.17).

Als Gegenstandsbereich der Trainingswissenschaft gelten *Training*, *Leistungsfähigkeit* (oft wird an dieser Stelle auch der Begriff der *Leistung* verwendet¹) und *Wettkampf* (Hohmann et al., 2010; Schnabel, Harre & Borde, 1997; Hottenrott &

¹ Gründe für eine unterschiedliche Bezeichnung sehen Hohmann et al. (2010) vor allem darin, dass durch Leistungsfähigkeit eine bessere Abgrenzung zum Gegenstandsbereich *Wettkampf* zu ziehen und andererseits herauszustellen, dass Leistungsfähigkeit relativ überdauernde Persönlichkeitsmerkmale thematisiert.

Neumann, 2010; Schnabel, Harre & Krug, 2008; Weineck, 2007). Zentraler Bestandteil in diesem Konstrukt ist das *Training*, welches nach Hohmann et al. (2010) als „planmäßige und systematische Realisation von Maßnahmen (Trainingsinhalte und Trainingsmethoden) zur nachhaltigen Erreichung von Zielen (Trainingszielen) im und durch Sport“ (S.14) definiert ist. Von großer Bedeutung dabei sind jedoch nicht nur die Betrachtung der einzelnen Gegenstandsbereiche als solche, sondern verstärkt auch deren Wechselwirkungen (vgl. Abb. 1).

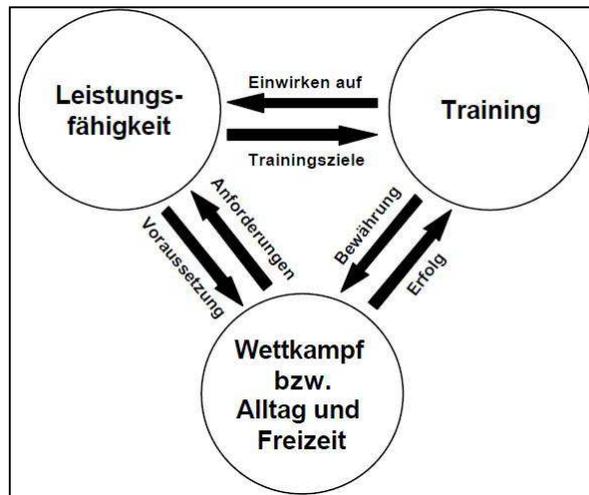


Abb.1. Wechselwirkungen zwischen den Gegenstandsbereichen der Trainingswissenschaft (nach Hohmann et al., 2010, S.30).

Somit wirkt sich ein erfolgreicher Wettkampf auf das Training und dessen Inhalte und neuen Ziele aus. Ein Scheitern im Training wiederum würde zur Folge haben, dass ein Wettkampf nicht, bzw. in anderem Maße bestritten wird. So gilt nach Schnabel et al. (1997, S. 373) der Grundsatz, dass im Wettkampf nur Leistungen abgefragt werden sollten, die vorher im Training erfolgreich erbracht werden konnten. Hinzu kommt, dass Leistungsfähigkeit als Voraussetzung für einen Wettkampf dient. Andererseits bezeichnen Schnabel et al. (2008, S. 559) den Wettkampf als „idealen Feldtest“ für die Leistungsfähigkeit. Aus dieser wiederum leiten sich spezielle Trainingsziele ab, die per Definition Bestandteil des Trainings sind. Insgesamt kann festgehalten werden, dass Trainingswissenschaft zwar aus den drei Bereichen Training, Leistungsfähigkeit und Wettkampf besteht, aber vor allem die Wechselwirkungen zwischen diesen interessant sind. Schnabel et al. (2008, S. 540) ha-

ben dazu Folgendes geschrieben: „Leistungsfähigkeit wird im Training entwickelt um den Wettkampf optimal zu gestalten.“

Neben dieser Dreiteilung ist es im Sinne der begrifflichen Klarheit sicher ertragreich, die Wissensbestände von Trainingswissenschaft, Trainingslehre und Sportpraxis als Mengen zu betrachten. Die sich dabei ergebenden Unterschiede, Überlappungen, aber auch Konsequenzen für die Beschreibung der einzelnen Mengen und Teilmengen helfen bei der Differenzierung der drei Bereiche. „Trainingslehre stellt eine systematische Sammlung allgemeiner handlungsrelevanter Aussagen zum Training dar, die sich aus unterschiedlichen Quellen speisen, wie z.B. wissenschaftliche Untersuchungen oder Erfahrungswissen“ (Hohmann et al., 2010). Eine Unterscheidung der beiden Begriffe Trainingswissenschaft und Trainingslehre ist vor allem in der Aussagenstruktur beider Bereiche zu suchen. Zwar versteht sich die Trainingswissenschaft nach Hohmann et al. (2010) als Handlungswissenschaft, dennoch muss in verschiedene Teilbereiche differenziert werden. So gibt es einerseits reines trainingswissenschaftliches Hintergrundwissen, welches als solches keine direkte Handlungsrelevanz aufweist, andererseits handlungsrelevantes Wissen, welches wiederum in zwei Unterbereiche gegliedert werden kann. Zusätzlich sind bewährtes und (trainings-)wissenschaftlich fundiertes Wissen, welches aus der Trainingswissenschaft über den Bereich der Trainingslehre an die Sportpraxis weitergeleitet wird und noch nicht validiertes Wissen, welches dennoch große Handlungsrelevanz auf Seite der Sportpraxis hat, zu nennen. Zuletzt gibt es noch den Bereich der Sportpraxis. In dieser Teilmenge werden alle handlungsrelevanten Aussagen betrachtet und umgesetzt, unabhängig von deren wissenschaftlichen Fundierung. Ausschlaggebend in dieser Menge ist die Tatsache, dass es sich aber speziell um den einzelnen Sportler handelt.

Die Legitimation der Trainingswissenschaft als sportwissenschaftliche Disziplin liegt, wie bereits erwähnt, in der wissenschaftlichen Fundierung von praktischen Handlungsanweisungen. Dabei eröffnen sich primär zwei Aufgabenfelder (vgl. Dreckmann, Görzdorf & Lames, 2011): (1) Überführung von Aussagen der Trainingslehre in Aussagen der Trainingswissenschaft und (2) Überführung von Erfah-

rungen der Trainingspraxis zu allgemeinen Handlungsanweisungen der Trainingslehre. Einen abschließenden Überblick zu den Bereichen Trainingswissenschaft, Trainingslehre und Sportpraxis, wie zu deren Schnittmengen gibt Abbildung 2.

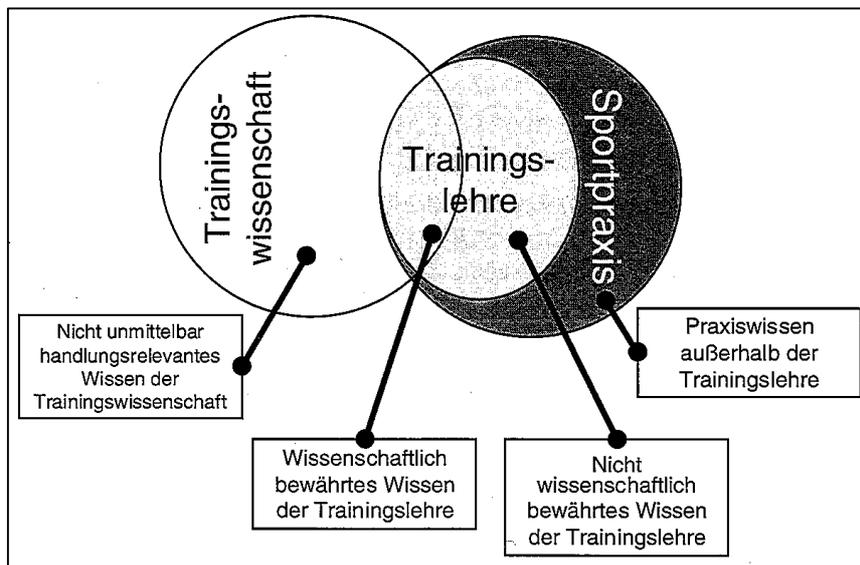


Abb.2. Wissensbestände von Trainingswissenschaft, Trainingslehre und Sportpraxis (nach Hohmann et al. 2010).

1.3 Der sportlicher Wettkampf

Der Gegenstandsbereich des (sportlichen) Wettkampfes weist nach Hohmann et al. (2010) drei Schwerpunkte auf; die Bereiche der *Modellvorstellungen*, der *Wettkampfsteuerung* und der *Wettkampfdiagnostik*. Schnabel et al. (2008) verwenden die Begriffe *Wesen und Funktion* (sportlicher Wettkämpfe), *Steuerung* (sportlicher Wettkämpfe) und *Organisation und Analyse* (sportlicher Wettkämpfe). In ihren Ansichten unterscheiden sich Hohmann et al. (2010) und Schnabel et al. (2008) jedoch kaum.

1.3.1 Modellvorstellungen zum Wettkampf

Hohmann et al. (2010) legen im Bereich der Modellvorstellung zum Wettkampf vor allem den Fokus auf die Unvorhersagbarkeit eines Wettkampfes (vor allem im Bereich des Sportspiels), wohingegen Schnabel et al. (2008) im Bereich des Wesens und der Funktion sportlicher Wettkämpfe auf die erzieherische, (Talent)sichtende (Hohmann et al., 2010 führen dies in den übergreifenden Aufgaben der Wettkampfdiagnostik im Bereich der Personenselektion auf) und politische Aufgaben einge-

hen. Die Bereiche der Steuerung und Diagnostik, bzw. Organisation und Analyse sind beinahe deckungsgleich.

Da Hohmann et al. (2010) speziell auf den Wettkampf im Sportspiel eingehen, soll an dieser Stelle der Fokus auf die Gliederung des sportlichen Wettkampfes nach Hohmann et al. (2010) erfolgen. Ausgangspunkt für die Definition (und die damit verbundene Schaffung eines theoretischen Hintergrunds) eines sportlichen Wettkampfes im Sportspiel ist die Begriffsbestimmung von Lühnenschloss (1995), welche diesen als „Leistungsvergleich nach den festgelegten Regeln einer Sportart zwischen einzelnen Sportlern oder Mannschaften zum Zwecke der Ermittlung eines Siegers (einer Rangfolge)“ bezeichnet. In ihren Modellvorstellungen zum Wettkampf weisen Hohmann et al. (2010) basierend auf dieser Definition auf die Notwendigkeit hin, den sportlichen Wettkampf an verschiedene Sportartgruppen angepasst zu definieren, um aus trainingswissenschaftlicher Perspektive die Analyse, Vorbereitung und Steuerung von sportlichen Wettkämpfen gewährleisten zu können. Dabei setzen Hohmann et al. (2010) Sportspiele und Kampfsportarten gleich, da in beiden Bereichen die Interaktion mit einem Gegner ein unabdingbares und ausschlaggebendes Element ist. Lames (1999) hat in diesem Zusammenhang verdeutlicht, dass aufgrund der vorherrschenden Systemdynamik, Nicht-Linearität und des ständigen Interaktionsprozesses im Sportspiel eine Prognose des Ergebnisses durch gewichtete Linearkombination unabhängiger Komponenten nicht gelingen kann. Ein weiterer Bestandteil der Modellvorstellungen zum Wettkampf nach Hohmann et al. (2010) ist die unabdingbare Kopplung von Training und Wettkampf, wie sie auch Lames (1994) in seinem Beitrag zur Systematischen Spielbeobachtung thematisiert hat (siehe Abbildung 3). Die bereits erwähnte Wechselwirkung von Training und Wettkampf wird hier nochmals verdeutlicht.

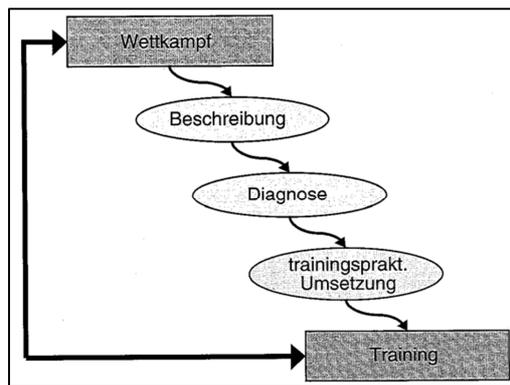


Abb.3. Modell zur Kopplung von Training und Wettkampf (nach Lames, 1994).

Übereinstimmung findet sich bezüglich der Fragen ob und wie Training und Wettkampf miteinander in Verbindung stehen. Wie bereits aus der grundlegenden Betrachtung dieser beiden Gegenstandsbereiche hervorging, finden sich in dieser Wechselwirkung interessante Themen- und Forschungsgebiete für die Trainingswissenschaft. Schnabel et al. (2008, S. 544) sehen ebenfalls einen Zusammenhang und eine Wechselwirkung von Training und Wettkampf. Sie drücken Training plakativ als „Leistungsvorbereitung“ und Wettkampf als „Leistungsentfaltung und Leistungspräsentation“ aus. Grosser, Brüggemann und Zintl (1986, S.47) sehen Training und Wettkampf als „zwei eng aufeinander bezogene, sich ergänzende und voneinander abhängige Tätigkeitsbereiche“. Einen Schritt weiter gehen Hottenrott et al. (2010, S.15), die Wettkampf als „Kontrollmethode zur Wirksamkeit des Trainings und zur Aussagekraft der Leistungsdiagnostik“ bezeichnen. Zwar stimmen auch Schnabel et al. (2008) dieser Ansicht zu, dennoch ist der (sportliche) Wettkampf per Definition nicht nur eine Kontrollmethode, sondern ein eigenständiges, wichtiges Bewährungsfeld (Hohmann et al., 2010, S. 198). Gründe für die von Hottenrott et al. (2010) dargestellte Betrachtung des Wettkampfes liegen eventuell in der Tatsache, dass sich die Autoren speziell auf den Leichtathletikbereich beziehen. Die, im Vergleich zum Sportspiel, einfache und lineare Wettkampfstruktur der Leichtathletik macht die Leistung im Wettkampf verhältnismäßig gut planbar und zu einem hohen Genauigkeitsgrad prognostizierbar. Gründe für eine schwache Leistung im Wettkampf können beinahe direkt im Training gefunden werden.

Da sich diese Arbeit primär mit dem Sportspiel Fußball befasst, wird von der Betrachtung des sportlichen Wettkampfes nach Hottenrott et al. (2010) Abstand genommen. Vielmehr soll der Wettkampf als das Ziel und der Sinn von Training verstanden.

1.3.2 Wettkampfsteuerung

Die zweite Instanz des sportlichen Wettkampfes ist die Wettkampfsteuerung. Nach Hohmann et al. (2010) wird diese in die Teilbereiche der Wettkampfvorbereitung, Wettkampflenkung und Wettkampfnachbereitung untergliedert (siehe Abbildung 4). Auch in diesem Bereich unterscheiden sich Hohmann et al. (2010) kaum von Schnabel et al. (2008). Schnabel et al. (2008) verwenden für den Bereich der Wettkampfsteuerung die Bestandteile Wettkampfplanung, Wettkampfdurchführung und Wettkampfdiagnostik mit entsprechenden Lenkungsmaßnahmen.

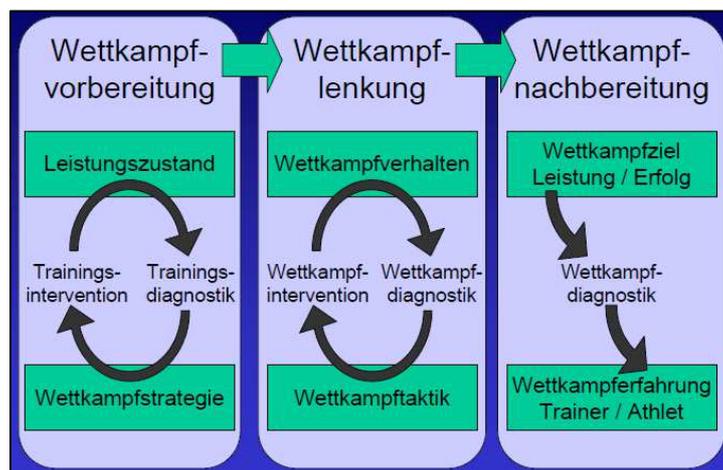


Abb.4. Phasen der Wettkampfsteuerung (nach Hohmann et al., 2010).

Im Hauptfokus der einzelnen Bestandteile der Wettkampfsteuerung steht das Wettkampfverhalten von Trainer und Athlet in Abhängigkeit zum Wettkampfziel. Wichtig bei der Betrachtung der Phasen der Wettkampfsteuerung ist zudem die Tatsache, dass in jedem Prozessschritt eine Diagnostik abläuft. Zwar unterscheiden sich die einzelnen Diagnoseschritte von Phase zu Phase, dennoch wird in allen Instanzen eine Leistungsoptimierung verfolgt. Im Folgenden soll auf die einzelnen Phasen der Wettkampfsteuerung eingegangen werden.

1.3.2.1 Wettkampfvorbereitung

In der Phase der Wettkampfvorbereitung muss der Trainer sportartspezifischen Anforderungen gerecht werden, Spiel- bzw. Siegstrategien entwickeln und diese wiederum an den oder die Athleten vermitteln. Im Bereich der Sportspiele wurden dazu bisher nur wenige, vereinzelte Versuche unternommen mit Hilfe von mathematischen Ansätzen (vgl. Miethling & Perl, 1978) oder stochastischen/ statistischen Modellen (vgl. Döbler, 1974; Hohmann, 1985; Lames & Hohmann, 1997; Heurer, 2010) derartige Spiel- und Siegstrategien zu entwickeln. Diese Versuche sind klar der Theoretischen Wettkampfdiagnostik zuzuordnen. Ein Gelingen würde aber auch im klaren Widerspruch zur Aussage von Lames (1999) stehen, dass Ergebnisse im Sportspiel nicht prognostizierbar sind. Die Entwicklung einer Strategie stellt eine der größten Schwierigkeiten im Sportspiel dar und muss, als Aufgabe der Praktischen Wettkampfdiagnostik, eine Vielzahl an Faktoren und Informationen berücksichtigen (Cordes, Lamb & Lames, 2012). Ist jedoch eine Strategie gefunden, muss diese mit den entsprechenden Mitteln und Methoden an die Athleten weitergegeben werden können.

In diesem Bereich der Wettkampfvorbereitung kann sich ein Trainer verschiedener Methoden bedienen. Spielanalysen haben beispielsweise gezeigt, dass ein Fußballspieler nur zwei Prozent der Spieldauer selbst in Ballbesitz ist (Dufour, 1993). Den Rest des Spiels bewegt sich der Spieler, basierend auf der jeweiligen Teamtaktik, ohne Ball. Ob ein Team letztlich erfolgreich spielt, hängt demnach von der Fähigkeit des einzelnen Spielers ab, in einem bestimmten Bereich des Spielfelds mit seinen umliegenden Mitspielern zu kooperieren. Als adäquate Vermittlungsweise eignen sich deshalb besonders Methoden mit einer reduzierten Anzahl von Spielern auf einem kleineren Spielfeld. Diese speziellen Varianten sind als Kleinfeldspiele bekannt und werden in der Wettkampfvorbereitung als sportmotorisches Training häufig eingesetzt (Rampinini, Impellizzeri, Castagna, Abt, Chamari, Sassi & Marcora, 2007).

Neben dieser Vermittlungsart können sich Trainer auch verschiedener Medien bedienen. So haben Dreckmann, Görsdorf und Lames (2008) verschiedene Vermitt-

lungsstrategien auf Ihre Wirksamkeit hin überprüft. Besonders geeignet erwies sich hierbei die Durchführung von sogenannten Videotrainings in Kleingruppen. Mit Hilfe dieser Methode wurden nach Dreckmann et al. (2008) die nachhaltigsten Ergebnisse in der Vermittlung von Spielstrategien erzielt. Dennoch müssen auch in diesem Bereich gewisse Vorgaben beachtet werden. Fehlende Kontinuität kann dabei ebenso zu einer Verringerung der Wirksamkeit führen wie zu lange Dauer und zu viele Inhalte während des Videotrainings.

Neben Sportmotorischem Training und Videotraining weisen Hohmann et al. (2010) zudem noch auf die Wichtigkeit von mentalem Training hin (Eberspächer, 2005). In den letzten Jahren kam es auch im Bereich des Spitzensfußballs zu einem Umdenkprozess, der dazu führte, dass mittlerweile jeder Verein eigene Sportpsychologen beschäftigen, die mit den Spielern und Trainern zusammen arbeiten.

Zwar hat der Trainer verschiedene Möglichkeiten der Vermittlung, dennoch muss zunächst eine gemeinsame Sprache zwischen Trainer und Spieler gefunden werden, damit eine effektive Vermittlung der Inhalte auch gelingen kann. Ist dies nicht der Fall, kann eine Wettkampfvorbereitung nicht gelingen.²

Ein großer Vorteil der Wettkampfvorbereitung im Vergleich zum tatsächlichen Wettkampf liegt darin, dass auf Mittel und Methoden zurückgegriffen werden kann, die im Wettkampf selbst nicht eingesetzt werden dürfen. So kann ein Fußballtrainer beispielsweise im Training ein transponderbasiertes System zur Positionserkennung verwenden, welches im Wettkampf nicht erlaubt ist, aber genauere Informationen liefert als ein bildbasiertes System, welches aber im Wettkampf eingesetzt werden darf.

1.3.2.2 Wettkampflenkung

Dieser Vorteil fällt in der Phase der Wettkampflenkung, dem Coaching, weg. Hohmann et al. (2010, S. 213) bezeichnen Coachingmaßnahmen als „Interventionen zur unmittelbaren Wettkampflenkung“. Dabei ist das oberste Ziel das Erreichen eines optimalen Wettkampferhaltens. Um dies gewährleisten zu können, muss ein

² Derartige Vermittlungsprobleme werden häufig als „Sender-Empfänger-Problem“ bezeichnet. Ausführliche Informationen über dieses Phänomen geben Schmidt und Lüttke (1984) und Simon (2008).

Trainer stets in der Lage sein, die sich aus dem Wettkampf ergebenden Anforderungen zu regulieren, da diese sich (vor allem im Sportspiel) ständig ändern. Beispielsweise kann ein Trainer auf eine taktische Umstellung der gegnerischen Mannschaft durch eine Auswechslung oder eine taktische Umstellung seiner eigenen Mannschaft reagieren. Derartige Coachingmaßnahmen bezeichnen Hohmann et al. (2010) als Wettkampfentscheidungen. Dabei muss sich der Trainer mittlerweile nicht mehr nur auf sein Gefühl verlassen, sondern kann mit Hilfe einer begleitenden Wettkampfdiagnostik ad hoc Informationen über seine Spieler erhalten. Dabei ist entscheidend, dass dem Trainer derartige Informationen möglichst schnell zur Verfügung gestellt werden. Gerade im Bereich des Sportspiels Fußball werden immer wieder solche Coachingmaßnahmen angeboten (Prem, 2007). Eine der am häufigsten verbreiteten Maßnahmen, die einem Trainer zur Verfügung steht, ist die Halbzeitbesprechung. Während dieser Spielunterbrechung bietet sich dem Trainer die Möglichkeit taktische Informationen an die Spieler weiterzugeben. Eine aktuelle Studie vereint dabei die Methode des Videotrainings mit dem Coaching (Brack, Dreckmann und Luderschmid, submitted). Die videobasierte Halbzeitanalyse stellt ebenfalls eine Innovation im Bereich des Coachings dar und kann sowohl Trainern als auch Spielern bei ihrem Ziel helfen, ein optimales Wettkampferhalten zu erreichen. Wie auch in der Phase der Wettkampfvorbereitung, weist Frester (2000) auf die Wichtigkeit der sozialen Kompetenz seitens des Trainers hin, ohne welche eine optimale Kommunikation und Kooperation mit den Sportlern (und die damit verbundenen Optimierungsmöglichkeiten des Wettkampferhaltens) nicht gelingen kann.

1.3.2.3 Wettkampfnachbereitung

Nach Beendigung des Wettkampfes gilt es, die erzielte Leistung aufzubereiten und kritisch zu reflektieren. Oberstes Ziel dabei ist es, die Wettkampferfahrung des Athleten und das Trainerwissen zu verbessern. Über den Hinweis von Hohmann et al. (2010), eine Wettkampfnachbereitung möglichst schnell nach Beendigung des Wettkampfes zu ermöglichen hinaus, betonen Schnabel, Harre und Borde (1994) diese Sachverhalte durch die Formulierung zweier grundlegender Prinzipien: die Kontinuität und Regelmäßigkeit der Wettkampfnachbereitung und die objektivierte Wettkampfauswertung. Optimale Resultate im Sinne einer Wettkampfnachberei-

tung unter Zuhilfenahme von Computer- und Videotechnologie sind nach Fröhner (1994, S.49) untrennbar mit folgenden Kriterien verbunden:

- Zeitgebundene Ergebnisdarstellung
- Individualisierung der Ergebnisse
- Direkte Praxisumsetzung
- Systemwirksame Beeinflussung (Steuerung und Kontrolle) von Lehr- und Lernprozessen
- Arbeitsfähigkeit der Computer-Video-Konfigurationen

1.3.3 Wettkampfdiagnostik

Abschließend soll die Wettkampfdiagnostik erläutert werden, die den dritten Aspekt des sportlichen Wettkampfes nach Hohmann et al. (2010) darstellt. Ebenso wie Schnabel et al. (2008) bezeichnet auch Hohmann (1997, S. 146) den Wettkampf als „...diagnostische Situation, (die) beinahe lupenrein alle (...) Kriterien einer Feldsituation erfüllt“. Dennoch dient die Wettkampfdiagnostik nicht nur posthoc der Ergebnisfeststellung, sondern vielmehr auch der Generierung von trainingswissenschaftlichen Informationen (vgl. Abbildung 4, S.11). Diese Informationen können sowohl nach Beendigung des Wettkampfes, während des Wettkampfes, im Sinne der Wettkampfsteuerung und in der Phase der Wettkampfvorbereitung von Nutzen sein. So kann beispielsweise ein Trainer mit Hilfe einer unmittelbar während des Wettkampfes ablaufenden Wettkampfdiagnostik Informationen erhalten, die er wiederum zum Erreichen der optimalen Wettkampfleistung verwenden kann.

Zur Anwendung einer sinnvollen Wettkampfdiagnostik stimmen Hohmann et al. (2010) und Schnabel et al. (2008) auch in der Forderung überein, dass Wettkampfdiagnostik rückwirkungsfrei ablaufen muss. Dabei kommen die Methoden wie das Expertenurteil (subjektive Eindrucksanalyse, Beurteilung oder Scouting), die Videoanalyse (subjektive und systematische Videoanalyse), die Standardisierte Wettkampfbeobachtung (Systematische Spielbeobachtung) oder Kontrollverfahren der Leistungs- und Biosignalerfassung zum Einsatz.

Hohmann et al. (2010) erläutern weiterhin, dass Wettkampfdiagnostik sowohl in einem übergeordneten, modellbildenden als auch in einem speziellen, einzelfallbezogenen Sinne Verwendung findet. Neben diesen Aspekten formulierte Hohmann (1997) folgende, übergeordnete Ziele und Aufgaben der Wettkampfdiagnostik (siehe Abbildung 5):

Personenselektion	Bedingungsselektion
<ul style="list-style-type: none"> - Talenterkennung - Kadernominierung 	<ul style="list-style-type: none"> - Sportartanalyse <ul style="list-style-type: none"> - Strukturanalyse - Belastungsanalyse - Weltstandsanalyse - Gegneranalyse
Personenmodifikation	Bedingungsmodifikation
<ul style="list-style-type: none"> - Trainingssteuerung - Wettkampfsteuerung - Ausbildungsoptimierung, „Personalschulung“ 	<ul style="list-style-type: none"> - Regeländerung - Innovationen bei Sportstätten, Ausrüstungen und Wettkampfgeräten

Abb.5. Übergeordnete Ziele und Aufgaben der Wettkampfdiagnostik.

Aufgrund fehlender Vollständigkeit und unglücklich gewählten Bezeichnungen soll jedoch von der von Hohmann (1997) vorgenommenen Einteilung an dieser Stelle Abstand genommen werden. Im Folgenden wird deshalb der Bereich der Wettkampfdiagnostik neu strukturiert; dies erfolgt durch eine Dreiteilung der Wettkampfdiagnostik in die Felder der *Theoretischen Wettkampfdiagnostik*, der *Praktischen Wettkampfdiagnostik* und der *Methodologie der Wettkampfdiagnostik*.

1.3.3.1 Neugliederung der Wettkampfdiagnostik in Theoretische und Praktische Wettkampfdiagnostik sowie Methodologie der Wettkampfdiagnostik

Wie bereits erwähnt, thematisieren Hohmann et al. (2010) Wettkampfdiagnostik sowohl in einem übergeordneten, modellbildenden, als auch in einem speziellen, einzelfallbezogenen Sinne. Diese Betrachtung soll vom Grundsatz her aufgegriffen und in einer Neueinteilung der Wettkampfdiagnostik in einen theoretisch und praktisch fokussierten Teil fortgeführt werden. Zusätzlich wird ein dritter Bereich dargestellt, der Bereich der Methodologie der Wettkampfdiagnostik.

Die Theoretische Wettkampfdiagnostik verfolgt das Ziel, allgemeine Aussagen über die Struktur des Wettkampfes zu konstruieren. Dabei bedient sich die Theoretische

Wettkampfdiagnostik (quasi-) experimenteller, repräsentativer Studien, aber auch der Modellbildung und Simulation. Ziel ist es, Aussagen über die Natur einer Sportart und deren Struktur zu generieren, also theoriebildend zu wirken.

Die Praktische Wettkampfdiagnostik verwendet Einzelfallstudien bzw. Pilotstudien, um Informationen über den Leistungszustand von Sportlern zu erzeugen, den Wettkampf wissenschaftlich zu begleiten oder Innovationen in den Wettkampf zu integrieren. Sinn der Praktischen Wettkampfdiagnostik ist es wettkampfsteuernd zu fungieren und die individuelle Leistungsfähigkeit zu erhöhen.

Die Methodologie der Wettkampfdiagnostik stellt einen neuen Bereich dar. Aufgrund der rasanten technologischen Entwicklungen kann sich die Wettkampfdiagnostik (sowohl die Theoretische als auch die Praktische) neuer Instrumente bedienen, um die jeweiligen Ziele zu verfolgen. Vernachlässigt wird jedoch die Instanz zur Qualitätskontrolle dieser Technologien. Ein ungenaues oder sogar fehlerhaftes Verfahren würde zu falschen Aussagen führen, die im schlimmsten Fall zu falschen Modellen und einer Verschlechterung der Wettkampfleistung führen würden. Die Methodologie der Wettkampfdiagnostik ist nicht nur als Teil der Wettkampfdiagnostik zu betrachten, es besteht auch ein direkter Zusammenhang zu den Feldern der Theoretischen und Praktischen Wettkampfdiagnostik (vgl. Abbildung 6).

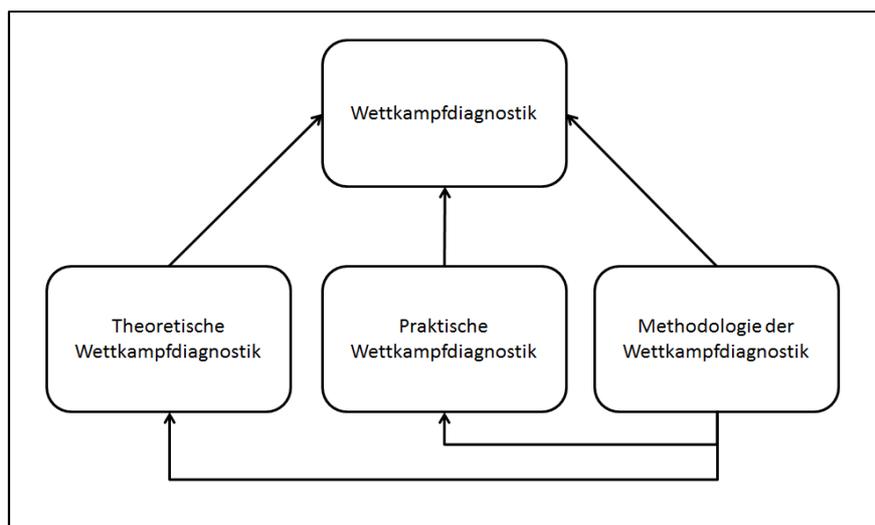


Abb.6. Felder der Wettkampfdiagnostik.

Mit Hilfe dieser Neustrukturierung soll nun eine Einordnung der einzelnen Forschungsarbeiten in die Felder der Wettkampfdiagnostik erfolgen.

1.4 Themenspezifische Einordnung in die Felder der Wettkampfdiagnostik

Abbildung 7 zeigt eine Übersicht zur Verbindung der einzelnen Themengebiete mit den im vorangegangenen Abschnitt neu definierten Feldern der Wettkampfdiagnostik. Deutlich zu erkennen ist, dass die vorgestellten Themen keine Verbindung zur Praktischen Wettkampfdiagnostik haben. Die themenspezifischen Erläuterungen der einzelnen Verbindungen in den folgenden Kapiteln geben Aufschluss über diesen Sachverhalt.

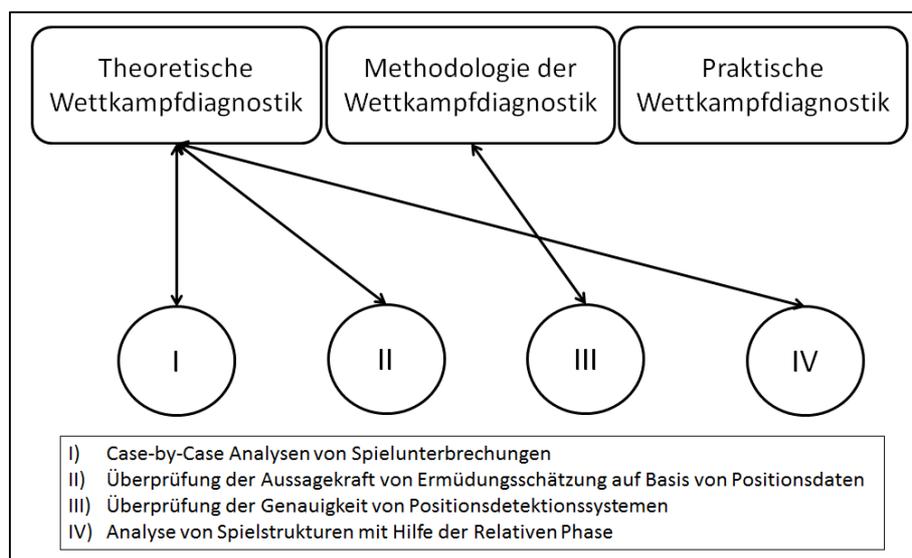


Abb.7. Übersicht zur Verbindung der Themengebiete mit den Feldern der Wettkampfdiagnostik.

1.4.1 Case-by-Case Analysen von Spielunterbrechungen

Als Zuschauer eines Fußballspiels wird sehr schnell deutlich, dass es zu häufigen Unterbrechungen des Spielflusses kommt. Gründe hierfür sind Fouls, Torschüsse über oder neben das Tor, Bälle die ins Seitenaus gehen oder andere Situationen, die eine Unterbrechung nach Regelwerk nach sich ziehen. Das Phänomen der Spielunterbrechungen kann folglich als ein markanter Bestandteil eines Fußballspiels bezeichnet werden.

Entsprechende Literatur oder Forschungsberichte sind kaum zu finden und es wird sehr schnell klar, dass (bis auf vereinzelte Studien³) im Bereich der Untersuchung von Spielunterbrechungen eine große Lücke im Forschungsstand Fußball existiert. Es finden sich einige Studien zum Thema *Effektive Spielzeit*, was ein Resultat und eine direkte Folge von Spielunterbrechungen darstellt. Detaillierte Einzelfallanalysen von Spielunterbrechungen und damit verbundene Aussagen und Folgerungen für das Spiel gibt es jedoch nicht.

Die Arbeit *Game interruptions in elite soccer* hat es sich folgerichtig zur Aufgabe gemacht, diese Forschungslücke zu schließen und Spielunterbrechungen auf einer case-by-case Basis zu untersuchen. Am Beispiel einer repräsentativen Stichprobe der 1. Fußball Bundesliga wurden drei Untersuchungsschwerpunkte thematisiert: (1) Deskriptive Beschreibung des Phänomens Spielunterbrechungen im Fußball, (2) Dauer und Sequenz von Phasen laufenden und unterbrochenen Spiels, (3) taktischer Nutzen von Spielunterbrechungen⁴ und (4) das Verhältnis von nachspielrelevanten Spielunterbrechungen und der angesetzten und tatsächlichen Nachspielzeit.

An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass Teil (4) nicht in den Artikeln integriert ist, da es sich um den gesondert zu betrachtenden Bereich des Schiedsrichterwesens handelt. Im Moment wird speziell dieser Forschungsfrage nachgegangen. Erste Ergebnisse haben jedoch deutlich gezeigt, dass auf Basis der untersuchten Spiele keinerlei Zusammenhang zwischen Nachspielzeit und nachspielrelevanten Spielunterbrechungen besteht, was erhebliches Verbesserungspotential der Schiedsrichterleistung in sich birgt.

Aufgrund der Ergebnisse der Studie *Game interruptions in elite soccer* lag die Motivation der Folgeuntersuchung *Influences on frequency and duration of game stoppages during soccer* in primär zwei Bereichen begründet: (1) Vertiefende Analysen von Spielunterbrechungen anhand einer größeren Stichprobe und (2) Analyse von Einflussvariablen auf die Anzahl und Dauer von Spielunterbrechungen.

³siehe Augste, C. & Lames, M. (2008)

⁴ Eine, vor allem in der Sportpraxis, weit verbreitete Annahme, dass sich führende Mannschaften deutlich länger Zeit lassen, um das Spiel fortzusetzen, als Mannschaften, die in Rückstand liegen.

Spiele der Fußball Weltmeisterschaften 2010 und 2011 wie auch Spiele aus der 1. Frauen Fußball Bundesliga wurden untersucht und gemeinsam mit den Spielen aus der Studie *Game interruptions in elite soccer* zusammen auf die Einflussvariablen Spielmodus (Liga/ K.O.) und Geschlecht (Frauen/ Männer) hin analysiert.

Da es sich bei beiden Untersuchungen um Arbeiten handelt, die das Ziel verfolgen, allgemeine Aussagen über das Phänomen der Spielunterbrechungen zu generieren, die auf alle Fußballspiele übertragbar sind (auf Basis von großen, repräsentativen Stichproben), können die Case-by-Case Analysen von Spielunterbrechungen dem Feld der Theoretischen Wettkampfdiagnostik zugeordnet werden.

1.4.2 Überprüfung der Aussagekraft von Ermüdungsschätzung auf Basis von Positionsdaten

Die Frage nach einer zuverlässigen Methode zur Bestimmung bzw. Schätzung der Ermüdung eines Fußballspielers beschäftigt bereits viele Forschungsgruppen. Ansätze mit Hilfe von Lactat-Messungen (Smaros, 1980; Gerisch, Rutemöller & Weber, 1988; Rohde & Espersen, 1988; Bangsbo, Norregaard & Thorse, 1991; Florida-James & Reilly, 1995; Reilly, 1997) oder der Analyse der maximalen und aktuellen Sauerstoffaufnahme bzw. der Herzfrequenzanalyse (Van Gool, Van Gerven & Boutmans, 1988; Ali & Farraly, 1991; Ogushi, Ohashi, Nagahama, Isokawa & Suzuki, 1993; Esposito, Impellizzeri, Margonato, Vanni, Pizzini & Veicsteinas, 2004)⁵ waren und sind mit invasiven Messungen oder mit dem Tragen von Equipment verbunden. Ein Einsatz in einem Wettkampf ist demnach undenkbar.

Seit routinemäßig Positionsdaten und somit auch Daten zu Laufstrecken und Laufintensitäten von Fußballspielern zur Verfügung stehen, wurde verstärkt versucht, auf Basis dieser Daten Erkenntnisse über den Ermüdungsgrad eines Fußballspielers zu schaffen. Ein großer Vorteil besteht offensichtlich darin, dass die Spieler keinerlei Equipment mit sich tragen müssen und auch keine direkten Messeinflüsse auf das Verhalten des Spielers einwirken. Standardmäßig werden bei einer Ermüdungsschätzung Laufstrecke oder Laufintensität der Spieler im Verlauf des Spiels

⁵ Aufgrund der hohen Korrelation zwischen maximaler Sauerstoffaufnahme und Herzzeitvolumen ($r = 0,88-0,91$) nach Hollmann und Hettinger (2000), werden an dieser Stelle Untersuchungen aus beiden Bereichen zusammengefasst.

betrachtet. Eine Reduzierung derselben über die Zeit wird als Indikator für Ermüdung interpretiert (vgl. Mohr, Krstrup & Bangsbo, 2005; Bradley, Sheldon, Wooster, Olsen, Boanas & Krstrup, 2009).

So vielversprechend diese Fortschritte klingen mögen, müssen jedoch auch viele Abstriche in der Gültigkeit und Aussagekraft dieser Methoden gemacht werden, da nicht direkt „in den Spieler hineingeschaut“ werden kann und somit keinerlei Informationen über dessen Metabolismus verfügbar sind. Die Studie *„Zur Aussagekraft von Positions- und Geschwindigkeitsdaten im Fußball“* thematisiert genau die Frage nach der Gültigkeit der Vorgehensweise, auf Basis von Positionsdaten Ermüdung im Fußball zu schätzen. Dabei werden Einflussfaktoren auf die Laufleistung untersucht, um festzustellen, ob eine Reduzierung der Laufleistung metabolisch oder situationsbedingt zu begründen ist.

Die Überprüfung der Aussagekraft dieser Ermüdungsschätzung ist von großer Bedeutung. Es handelt sich um eine Arbeit, die die bisherigen Verfahren und Berechnungen in Frage stellt. Wiederum sollen grundsätzliche Informationen gewonnen werden, um die Systematik der Ermüdungsschätzung zu optimieren. Dabei steht das Ziel der Verallgemeinerung der Ergebnisse im Fokus. Langfristig kann eine hoch genaue Ermüdungsschätzung sicherlich zur Leistungssteigerung und im Idealfall zur Leistungsoptimierung beitragen. Da es sich in dieser Arbeit jedoch um eine strukturaufhellende Studie handelt, ist ebenfalls die Verbindung zum Bereich der Theoretischen Wettkampfdiagnostik zu finden.

1.4.3 Überprüfung der Genauigkeit von Positionsdetektionssystemen im Fußball

Wie bereits im Abschnitt *„Überprüfung der Aussagekraft von Ermüdungsschätzung auf Basis von Positionsdaten“* deutlich wurde, basiert eine große Anzahl an wissenschaftlichen Untersuchungen im Fußball auf Positionsdaten. Sucht man jedoch nach Studien, die Systeme, welche solche Daten generieren, in Sachen Genauigkeit untersuchen, findet man lediglich vereinzelte Arbeiten, die zudem methodische Fehler oder nur bedingt geeignete Methoden zur Überprüfung der Genauigkeit verwenden. Ein weiterer Nachteil dieser Studien liegt darin, dass nicht das Grundprodukt, nämlich die Erzeugung von x- und y-Positionen von Spielern, sondern viel-

mehr eine Auswertung derselben (Laufstrecken und Geschwindigkeiten) überprüft wird. Somit wird nicht die eigentliche Fähigkeit der Positionsdetektion analysiert, wie es im Sinne der Überprüfung der Gütekriterien sein sollte.

Dementsprechend lag die Motivation der Studie „*Design of an accuracy study for position detection in football*“ in der Entwicklung und Anwendung eines neuen Testdesigns zur Überprüfung der Genauigkeit von Positionsdetektionssystemen im Fußball. Ein zweiter Schwerpunkt lag zudem im Vergleich zweier Systeme, die sich verschiedener Technologien zur Positionsdetektion bedienen⁶. An dieser Stelle muss auf die Schwierigkeiten hingewiesen werden, die im Vorfeld einer solchen Studie zu bewältigen sind. Von Seiten der Sportpraxis besteht nur bedingtes Interesse für solch eine Genauigkeitsstudie, da sich beispielsweise Trainer oder Physiotherapeuten der Fußballmannschaften auf die Angaben der Systemhersteller verlassen. Diese Angaben wiederum basieren aber auf nicht-wissenschaftlichen Untersuchungen oder sind das Resultat von Hochrechnungen bei optimalen Umgebungsbedingungen und Detektionsumständen. Wendet man sich an die Hersteller selbst, scheuen diese vor einer Untersuchung zurück; meist in dem Wissen um die eigenen Fehlangaben was ihre Genauigkeit angeht. Im vorliegenden Fall konnte mit der Unterstützung aus der Sportpraxis eine solche Studie durchgeführt werden. Folgerichtig kann an dieser Stelle und für dieses Setting zu Recht behauptet werden, dass eine Brücke zwischen dem vielzitierten Graben der Sportpraxis und der Sporttheorie errichtet werden konnte.

Ebenso offensichtlich ist die Verbindung zum Gebiet der Methodologie der Wettkampfdiagnostik. Systeme zur Positionsdetektion können sowohl in der Praktischen als auch in der Theoretischen Wettkampfdiagnostik Verwendung finden. Somit handelt es sich um ein Werkzeug der Wettkampfdiagnostik. Eine Überprüfung der Funktionsweise und –genauigkeit dieser Systeme ist eindeutig als Qualitätskontrolle der Methodologie zu betrachten.

⁶ Eine Erläuterung zu den verschiedenen Methoden der Positionsbestimmung findet der Leser im Kapitel *Positionsdetektion im Fußball*.

1.4.4 Analyse von Spielstrukturen mit Hilfe der Relativen Phase

Das Sportspiel Fußball kann aus einer systemtheoretischen Sicht betrachtet werden (Hohmann, 1985; Hohmann et al., 2010; siehe Abbildung 8).

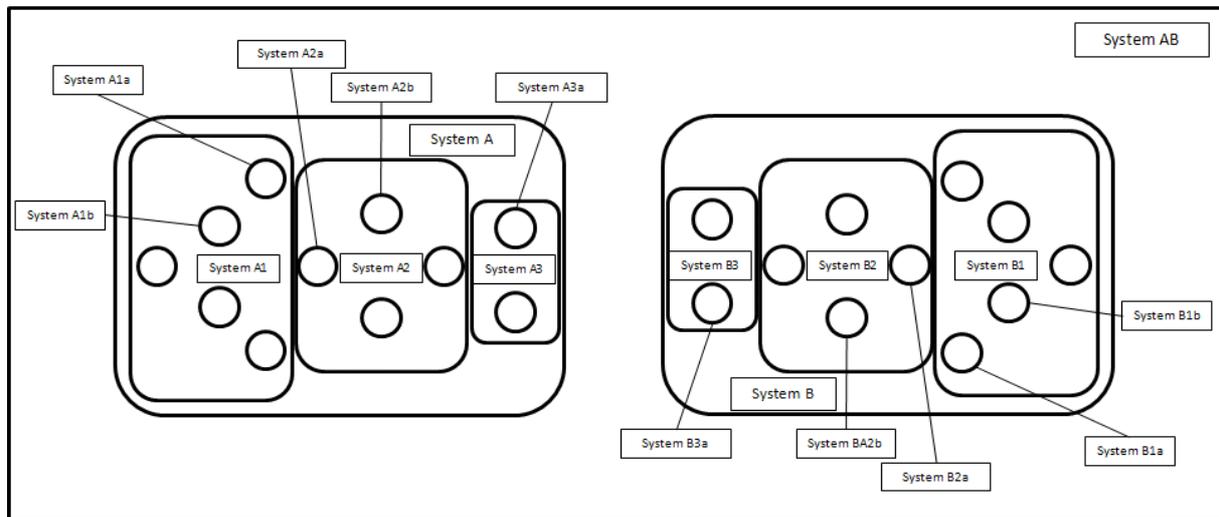


Abb.8. Systeme und Subsysteme in einem Fußballspiel.

Auf der höchsten Ebene steht das System *Fußballspiel* (System AB). Innerhalb dieses Systems spielen wiederum die beiden am Spiel *teilnehmenden Mannschaften A und B* (System A und System B) gegeneinander. Betrachtet man jede der beiden Mannschaften für sich alleine, wird deutlich, dass diese erneut aus Subsystemen bestehen – den Mannschaftsteilen bzw. *Positionsgruppen* (Systeme A1, A2, A3 und Systeme B1, B2 und B3). Die *einzelnen Spieler der Mannschaften* (innerhalb ihrer jeweiligen Positionsgruppen) stellen die diffizilsten Subsysteme während eines Fußballspiels dar (Systeme A1a – A3b und Systeme B1a – B3b). Zusammenfassend kann ein Fußballspiel demnach in folgende Systeme und Subsysteme eingeteilt werden: Fußballspiel, Mannschaften, Positionsgruppen, Einzelspieler.

Nach Lames (1991) versuchen beide Mannschaften innerhalb eines Spiels ihre jeweiligen Spielziele zu erreichen: (1) ein Tor erzielen und (2) den Gegner am Torerfolg hindern. Von besonderer Bedeutung hierbei ist, die Tatsache, dass „ein Tor zu erzielen“ aus Sicht von Mannschaft A, das genaue Gegenteil von „ein Tor verhindern“ aus Sicht von Mannschaft B ist.

Mit vereinzelt Ausnahmen kann davon ausgegangen werden, dass eine Mannschaft beiden Spielzielen dieselbe Wichtigkeit zukommen lässt. Betrachtet man jedoch wiederum die Systemebene der Positionen, kommt es zu einer unterschiedlichen Priorisierung der Spielziele. So verfolgt die Gruppe der Verteidiger verstärkt das Spielziel *Tor verhindern*, wohingegen die Gruppe der Stürmer das Erreichen des Spielziels *Tor erzielen* priorisiert. Diese Art der Gewichtung wird nochmals verändert, sobald man die Systemebene der Einzelspieler untersucht. Ein kopfbalstarker Innenverteidiger wird sich bei entsprechenden Situationen (Eckbälle, Freistöße) in das Offensivspiel einschalten und versuchen ein Tor zu erzielen, während der Außenverteidiger keine derartigen Vorstöße durchführen wird. Folglich kommt es zu einer geringen Verschiebung der Prioritäten: Beide Einzelspieler, Innenverteidiger und Außenverteidiger, priorisieren das Spielziel *Tor verhindern*; im Detail betrachtet, versucht der Innenverteidiger jedoch zudem das Spielziel *Tor erzielen*, umzusetzen. Grundsätzlich verfolgen jedoch alle Einzelspieler beide Zielspiele. Eine grafische Darstellung der Priorisierung der Spielziele auf der Ebene der Positionen gibt Abbildung 9.

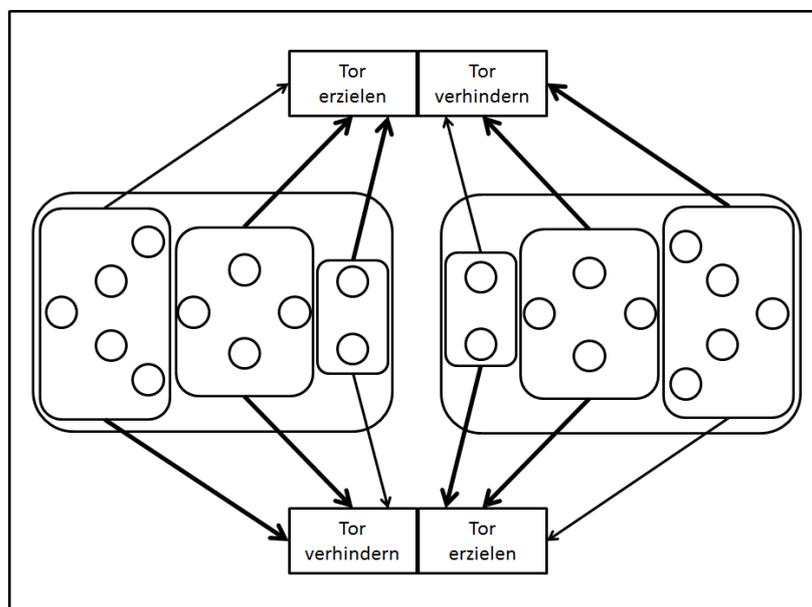


Abb.9. Priorisierung der Spielziele. Die Stärke der Pfeile stellt die Wichtigkeit der Zielerreichung dar.

Trotz dieser Komplexität scheint ein Fußballspiel von außen betrachtet einem strukturierten, organisierten Ablauf zu folgen. Da es sich beim Sportspiel Fußball um ein

weitestgehend geschlossenes System handelt⁷, müssen die Gründe hierfür auch im System selbst liegen. An dieser Stelle sollen zwei mögliche Gründe angeführt werden: (1) *Teamübergreifende Systemkopplung* und (2) *Teaminterne Systemkopplung*.

Bei der *Teamübergreifenden Systemkopplung* kommt es (ähnlich zur Priorisierung der Spielziele) auch zu unterschiedlich starken Interaktionen/ Kopplungen zwischen Mannschaften, Positionsgruppen und Einzelspielern der beiden Mannschaften. Diese Verbindungen sind unter anderem durch den bereits erwähnten Aspekt der gegensätzlichen Ausrichtung der Spielziele zu begründen. Auf Mannschaftsebene herrscht eine grundsätzliche Kopplung beider Teams. Betrachtet man diese Kopplung eine Systemebene tiefer, auf Ebene der Positionsgruppen, gibt es unterschiedlich starke Verbindungen. So wird die Gruppe der Innenverteidiger teamübergreifend vor allem mit der Positionsgruppe der Stürmer der anderen Mannschaft gekoppelt sein. Ebenso wird es vermehrt zu Interaktionen zwischen den beiden Positionsgruppen der Mittelfeldspieler kommen. Auf der tiefsten Systemebene der Einzelspieler ist dieser Sachverhalt nochmals verstärkt, da beispielsweise der zentrale defensive Mittelfeldspieler von Mannschaft A primär mit dem zentralen offensiven Mittelfeldspieler von Mannschaft B gekoppelt ist.

Teaminternen Systemkopplung, also Interaktionen bzw. gemeinsames Agieren innerhalb der Positionsgruppen und Einzelspieler einer Mannschaft, stellen den zweiten Grund für den organisierten Ablauf eines Fußballspiels dar⁸. Auf der Systemebene der Positionsgruppen ist es für das Erreichen der Spielziele unabdingbar, dass eine Interaktion/ Kopplung zwischen den unterschiedlichen Mannschaftsteilen besteht. Beispielsweise wird das System der Stürmer nicht in der Lage sein ein Tor zu erzielen, wenn nicht entsprechende „Vorarbeit“ im Mittelfeld geleistet wird. Diese Vorarbeit kann zum Beispiel ein Pass oder ein gewonnener Zweikampf sein. Auf der Ebene der Einzelspieler ist es wichtig, dass sich diese Kleinstsysteme ebenfalls

⁷ hierbei handelt es sich um eine Vereinfachung, die den Einfluss von Zuschauern und Schiedsrichtern vernachlässigt.

⁸ Im Gegensatz zur teamübergreifenden Systemkopplung bezieht sich die teaminterne Systemkopplung nur auf die Subsysteme Positionsgruppen und Einzelspieler.

gekoppelt bewegen und gekoppelt agieren. Als Beispiel sollen die beiden Innenverteidiger einer Mannschaft dienen. Es muss sich sowohl der rechte Innenverteidiger auf den linken, als auch der linke auf den rechten Innenverteidiger abstimmen, da es sonst eventuell zu einer fehlenden Absicherung kommen könnte (beispielsweise ein Kopfballduell, in das beide Innenverteidiger verwickelt sind), die wiederum das Spielziel Tor verhindern, gefährden könnte.

Abbildung 10 zeigt sowohl Aspekte der Teaminternen Systemkopplung als auch der Teamübergreifenden Systemkopplung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nicht alle Kopplungen dargestellt.

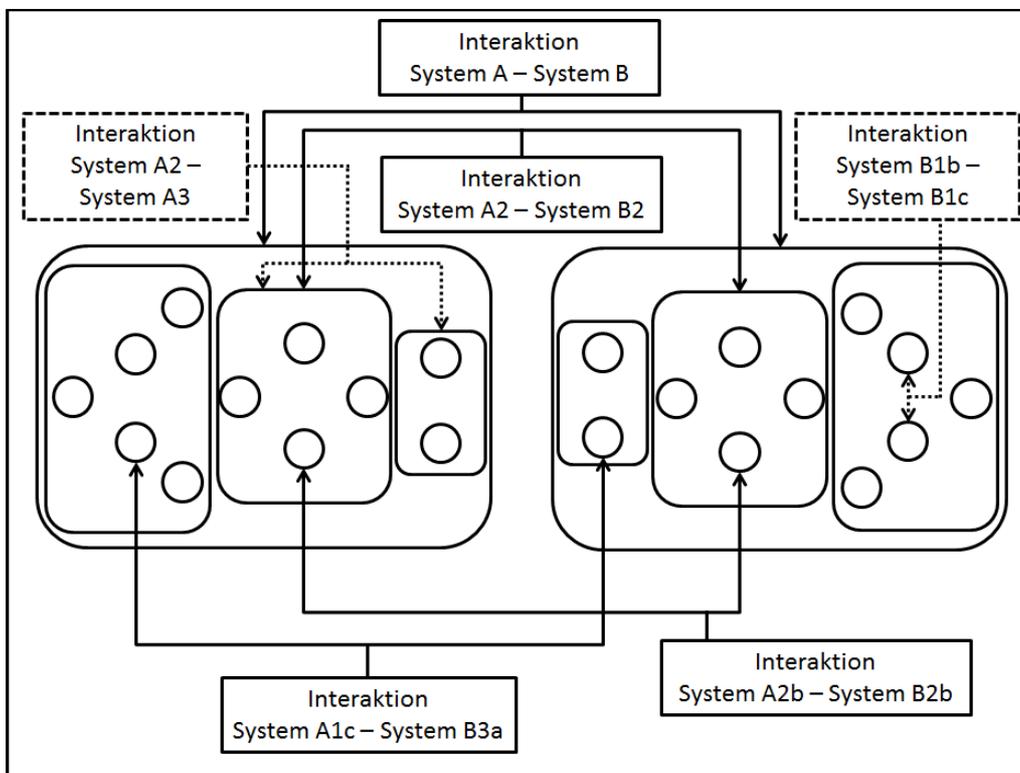


Abb.10. Teamübergreifende und Teaminterne Systemkopplung.

Auf Basis von Positionsdaten werden Analysen auf allen drei Systemebenen (Mannschaft, Positionsgruppe und Einzelspieler) durchgeführt, um Aussagen über die Struktur des Spiels, dessen Selbstorganisation und somit auch der Teaminternen und der Teamübergreifenden Systemkopplung aufzudecken; dies geschieht unter Verwendung der Relativen Phase.

Wie der Titel des Themenbereiches bereits vermuten lässt, besteht eine direkte Verbindung zum Aufgabenfeld der Theoretischen Wettkampfdiagnostik, da die Struktur des Fußballspiels analysiert werden sollte, um allgemeingültige Informationen über das Sportspiel zu erhalten.

2 Methoden

Nachdem die einzelnen Themen in den Bereich der Wettkampfdiagnostik eingeordnet wurden, soll in diesem Abschnitt auf die verwendeten Methoden der Untersuchungen eingegangen werden. Zwei grundsätzliche Bereiche können dabei unterschieden werden: (1) Positionsdetektion im Fußball und (2) Systematische Spielbeobachtung. Für die Forschungsarbeiten waren beide Methoden notwendig, um die benötigten Informationen und Daten zu erhalten. Für den Bereich der Spielunterbrechungen wurde die Systematische Spielbeobachtung verwendet. Für die Themen der Ermüdungsschätzung, der Genauigkeitsüberprüfung und der Spielstrukturanalyse wurden primär Methoden der Positionsdetektion genutzt. Grundsätzlich kann beiden Methoden ein direkter Bezug zur Wettkampfdiagnostik attestiert werden, da es sich (nach Hohmann et al., 2010, S.217) um spezielle Methoden derselben handelt. Positionsdetektion als solche kann als physikalische Messung und die Systematische Spielbeobachtung als Standardisierte Wettkampfbeobachtung betrachtet werden. Im Folgenden sollen beide Methoden erläutert werden.

2.1 Systematische Spielbeobachtung im Fußball

2.1.1 Entstehung

Die Systematische Spielbeobachtung stammt aus der Verhaltensbeobachtung im Bereich eines Lehr- und Lernverhältnisses (Flanders, 1970; Bales, 1975), im Speziellen in der Beobachtung von Schulunterricht (Brettschneider, 1980). Aus dieser Beobachtung entstand die für das Feld der sportwissenschaftlichen Anwendung entwickelte Systematische Spielbeobachtung. Lames (1994b) nennt als Vorteile der Spielbeobachtung im Sport (speziell im Sportspiel) gegenüber der Unterrichtsbeobachtung die zeitliche und räumliche Begrenzung, wie auch regelmäßigeren Strukturen. Letzteres muss jedoch primär übergeordnet betrachtet werden, da eine Suche nach regelmäßigen Strukturen in Teilbereichen eines Sportspiels als äußerst schwierig und nur bedingt umsetzbar erscheint (Lames, 1999). Trotz der genannten Vorteile konnte die Systematische Spielbeobachtung nicht als unmittelbar fester Bestandteil in der Sportspielanalyse Einzug finden. Ursachen liegen in der Tatsache, dass meist nur einzelne Aspekte des Gesamtprozesses beobachtet und ana-

lysiert werden und somit (vermeintlich) keinen direkten Wettbewerbsvorteil für die beobachtete Mannschaft mit sich bringen (Lames, 1994). Die Untersuchung von Spielunterbrechungen⁹ muss sich auch dieser Kritik stellen. Jedoch ist in diesem Fall, unter Berücksichtigung der Ziele einer Theoretischen Wettkampfdiagnostik, nicht die Schaffung eines Wettbewerbsvorteils Grund für die Beobachtung, sondern vielmehr die Generierung von Wissen über ein bis dato vernachlässigtes Element des Fußballspiels, die Spielunterbrechungen.

Neben den genannten Schwierigkeiten bei der Beobachtung von sportlichem Verhalten nennt Kaminski (1975) weitere erschwerende Bedingungen: Schneller Ablauf des zu beobachtenden Verhaltens, eine hohe Ereignisdichte und teilweise limitierter visueller und auditiver Zugriff zum Geschehen. Diese Limitierungen sind jedoch in der heutigen Zeit als nicht mehr ausschlaggebend zu betrachten, da durch den Einsatz von Videokameras und der allgemeinen Modernisierung des Sportes derartige Probleme nicht mehr bestehen.

Nach diesem Abschnitt zur Entwicklung der Spielbeobachtung im Sport und deren Vor- und Nachteile, sollen nun die Grundbegriffe und der Ablauf einer Beobachtung dargestellt werden.

2.1.2 Grundbegriffe

Im Bereich der Spielbeobachtung gibt es verschiedene Beobachtungssysteme zu unterscheiden. Cranach und Frenz (1969) differenzieren zwischen *Zeichensystemen*, *Kategoriensystemen* und *Schätzskalen*. Im vorliegenden Fall der Case-by-Case Analyse von Spielunterbrechungen ist eindeutig von einem *Zeichensystem* zu sprechen, da „(...) festgehalten (wird), ob, wann und gegebenenfalls wie lange bestimmte, vorher festgelegte Ereignisse (Merkmale) auftreten“ (Erdmann & Willimczik, 1985, S. 52). Des Weiteren muss zwischen unterschiedlichen Beobachtungsformen unterschieden werden. Im Bereich der Spielunterbrechungen handelt es sich nach Erdmann et al. (1985) um eine *kontrollierte, nicht-teilnehmende, direkte, vermittelte* und *nicht-wissentliche* Beobachtung.

⁹ siehe „*Game interruptions in elite soccer*“ und „*Influences on frequency and duration of game stoppages during soccer*“.

Nachdem die Grundbegriffe der Spielbeobachtung geklärt wurden, soll nun die explizite Entwicklung eines Beobachtungssystems erläutert werden. Abbildung 11 zeigt den Ablauf einer Spielbeobachtung beginnend bei der zugrundeliegenden Theorie, bis hin zur Überprüfung des entwickelten Beobachtungssystems (nach Lames, 1994b)¹⁰.

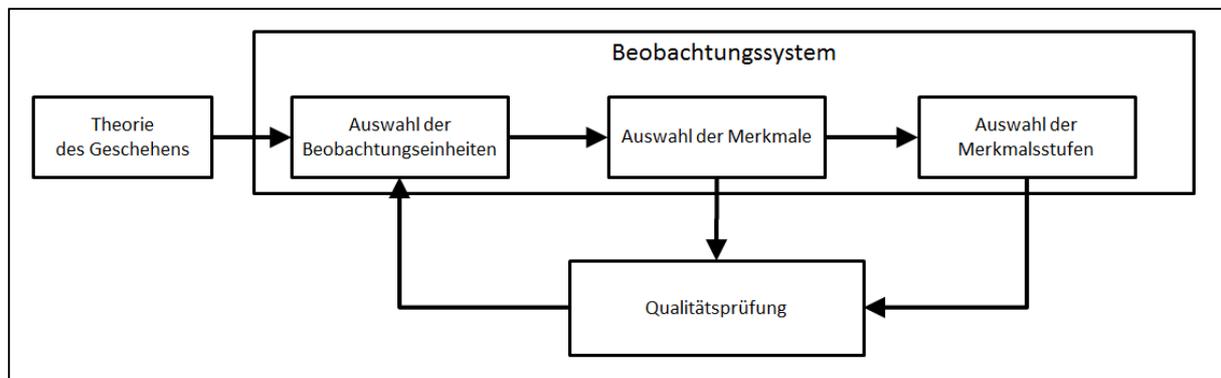


Abb.11. Entwicklung eines Spielbeobachtungssystems.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Entwicklung eines Spielbeobachtungssystems am Beispiel der Spielunterbrechungen erläutert.

Ausgangspunkt zur Entwicklung eines Spielbeobachtungssystems ist eine zugrundeliegende *Theorie des Geschehens*. Im Fall der Spielunterbrechung bestand der Ansatz darin, möglichst alle Aspekte eines Fußballspiels vollständig und genau zu beschreiben und zu analysieren, um Informationen über die Gesamtstruktur des Spiels zu erhalten. Aus Autorensicht ist es demnach wichtig das Phänomen der Spielunterbrechung von Grund auf zu observieren, um möglichst alle Aspekte der Struktur des Sportspiels Fußball zu beschreiben und aufzudecken. Auf diese Weise können Fragen bezüglich der Relevanz solcher Variablen für das Spiel beantwortet werden. Im zweiten Schritt, der *Auswahl der Beobachtungseinheiten*, muss das zu analysierende Objekt definiert werden. Im vorliegenden Fall sind dies offensichtlich Spielunterbrechungen. Die *Auswahl der Merkmale* stellt den nächsten Schritt dar. Hierbei ist es wichtig, alle relevanten Aspekte der Beobachtungseinheit zu bestim-

¹⁰ Erdmann et al. (1985, S. 73-75) geben auch eine Anleitung zur Entwicklung eines Beobachtungssystems; dieses thematisiert den Bereich des Schulunterrichts. Lames (1994b) übertrug und erweiterte die Ansätze von Cranach et al. (1969) und Graumann (1973) auf den Bereich der Systematischen Spielbeobachtung im Bereich Sportspiel, weshalb an dieser Stelle die Entwicklung nach Lames (1994b) repräsentativ gewählt wurde.

men. Exemplarisch sollen hierbei für die Spielunterbrechungen die Merkmale Ort, Zeitpunkt und Art aufgeführt werden. Für jedes dieser Merkmale müssen wiederum *Merkmalsstufen* ausgewählt werden. Merkmalsstufen sind Ausprägungsmöglichkeiten von Merkmalen. Im genannten Fall wären das vereinfacht Offensive/Defensive, Halbzeit 1/ Halbzeit 2, und Freistoß/ Einwurf/ Eckball/ usw. Wichtig hierbei ist auf die Einhaltung der von Lames (1994b) geforderten Kriterien zu achten:

- Vollständigkeit (Jedem Ereignis muss eine Merkmalsstufe zugeordnet sein)
- Eindeutigkeit (Jedem Ereignis muss genau eine Merkmalsstufe zugeordnet sein)
- Operationale Definition (Zuordnung einer eindeutigen Messvorschrift)
- Inhaltliche Relevanz (Merkmalsstufen müssen relevante Aspekte beschreiben)

Im Anschluss an die Phasen der Auswahl der Merkmale und der Merkmalsstufen sollte eine Phase der *Qualitätsprüfung* erfolgen. Für beide Phasen thematisiert die Qualitätsprüfung Fragen wie Ökonomie und Anwendbarkeit, ebenso wie Notwendigkeit der gewählten Merkmale und Merkmalsstufen. Eine große Anzahl an zu observierenden Merkmalen und Merkmalsstufen ermöglicht zwar eventuell tiefer reichende Analysen, dennoch muss der Beobachtungsaufwand in einem vernünftigen Verhältnis zur Aussagekraft der Analysen stehen. Somit muss an dieser Stelle ein Spagat zwischen Ökonomie und Relevanz gelingen (Lames, 1994b). Eine endgültige und optimale Entscheidung ist jedoch immer zweckabhängig und für jedes Beobachtungssystem neu zu treffen (Lames, 2001).

Nach dieser Entscheidung muss das Beobachtungssystem außerdem noch auf dessen Einhaltung der Gütekriterien hin überprüft werden (Graumann, 1973; Erdmann et al., 1985; Czwalina, 1988). Sind Objektivität (Unabhängigkeit vom Beobachter), Reliabilität (Genauigkeit und Konstanz einer Messung) und Validität (Gültigkeit der Messung) gewährleistet, kann das Spielbeobachtungssystem zum Einsatz kommen. Im Rahmen einer Systematischen Spielbeobachtung (der Beobachter ist in diesem Fall das Messinstrument) muss die Objektivität stets gepaart

mit der instrumentellen Konsistenz der Reliabilität betrachtet werden (Lames, 1992).

Für den Bereich der Case-by-Case Analysen von Spielunterbrechungen wurden aus diesen Gründen inter- und intra-reliability Tests durchgeführt, um zu prüfen, ob das Beobachtungssystem den Standards entspricht. Details über die Auswertung können den entsprechenden Artikeln entnommen werden.

2.2 Positionsdetektion im Fußball

2.2.1 Nicht-automatisierte Detektion via Handnotation

Die Ursprünge der Positionsdetektion arbeiteten nicht mit computerunterstützter Software, Tracking-Transponder oder hochauflösenden Kameras, sondern waren vielmehr ein Resultat hochintensiver, langwieriger Analyseprozesse, die durch einen Analysten oder Beobachter per Hand durchgeführt werden mussten. Ziel war und ist es immer noch, die Leistung der Spieler der eigenen und der gegnerischen Mannschaft zu analysieren, um beispielsweise Hinweise für ein optimales Training geben zu können. Des Weiteren kann mit Hilfe solcher Daten (im Falle einer stetigen Anwendung) eine umfangreiche Datenbank entstehen, die zur langfristigen Analyse von Spielerleistungen verwendet werden kann. Als Pioniere auf diesem Gebiet sind sicherlich Winterbottom (1959) oder Reilly und Thomas (1976) zu nennen. Ein deutscher Vertreter innerhalb dieser Gruppen ist in Waldemar Winkler (1985) zu finden. Winkler (1985) analysierte ein UEFA-Cup-Spiel mit Hilfe von „Landkarten“, welche alle 5 Minuten ausgewechselt wurden und konnte somit Aussagen über die Laufleistungen und Laufintensitäten geben (vgl. Abbildung 12).

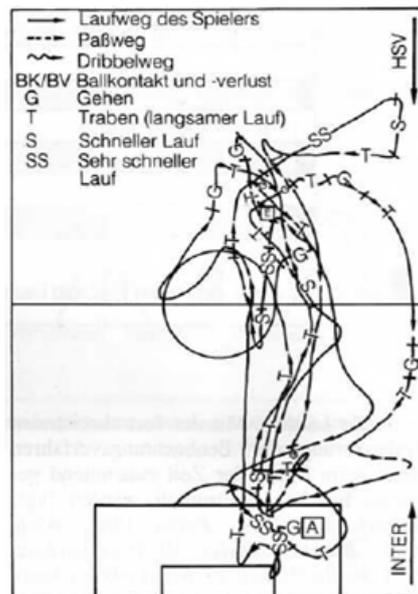


Abb. 12. Aufzeichnung eines Laufweges (5-Minuten Ausschnitt) eines Spielers (nach Winkler, 1985, S.23).

Sowohl die Analysen von Reilly et al. (1976) als auch die von Winkler (1985) waren zwar zum damaligen Zeitpunkt hochinteressant und innovativ, was die Umsetzbarkeit in der Praxis angeht, konnten diese Verfahren jedoch keineswegs Erfolg erzielen und konnten den, von Fröhner (1994) geforderten Ansprüchen an eine optimale Wettkampfnachbereitung werden (vor allem in Bezug auf die zeitgebundene Ergebnisdarstellung) nicht gerecht. Demnach blieben derartige Untersuchungen eigentlich grundsätzlich im wissenschaftlichen Kontext verankert. Ein Transfer in die Sportpraxis gelang nicht (James, 2006). Im Laufe der Zeit wurden zwar Computerapplikationen entwickelt, die die Handannotation vereinfachen sollten (Sportstec, 2008), aber die grundsätzlichen Probleme der Ungenauigkeit und des hohen Zeitaufwandes blieben bestehen.

2.2.2 Halbautomatisierte und vollautomatisierte Detektion

Gründe dafür, dass Positionsdetektion per Hand nicht Einzug in der Sportpraxis erhielt, lagen unter anderem in der fehlenden Anwendbarkeit aufgrund des hohen Zeitaufwands. Des Weiteren musste die erzielte Genauigkeit solcher Methoden kritisch betrachtet werden. Modernere Systeme, welche noch auf Handannotation basieren, aber mit Hilfe neuerer Software arbeiten, konnten sich ebenfalls nicht in der Sportpraxis etablieren und stellen nur vereinzelt Ausnahmen dar. Mit der Entwick-

lung von Systemen zur halb- und vollautomatisierten Positionsdetektion gelang es diese Mängel auszumerzen und einen dauerhaften sportpraktischen Einsatz zu gewährleisten. Dieser Fortschritt wurde bereits 2007 von Lames wie folgt prognostiziert:

„(...) weil die Technologie im Augenblick auf einem Stand zu sein scheint, der es Sportwissenschaftlern und Informatikern erlaubt, eine neue Generation von Unterstützungswerkzeugen in Angriff zu nehmen.“ (Lames, 2007, S. 305).

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Technologien, welcher sich diese Systeme heutzutage bedienen. Im Folgenden sollen die drei am häufigsten vertretenen und vielversprechendsten Technologien vorgestellt und auf deren Vor- und Nachteile eingegangen werden. Diese wären (1) Global Positioning Systeme (GPS), (2) Bilderkennungssysteme und (3) radarbasierte Trackingsysteme.

2.2.3 Positionsdetektion via Global Positioning System (GPS)

2.2.3.1 Hintergrundwissen

Die Geschichte des heutigen GPS geht in die frühen 60er Jahre zurück (Kaplan & Hegarty, 2006). Auf Initiative der U.S. Regierung sollte ein System entwickelt werden, welches in der Lage ist, Positionen von Objekten überall auf der Welt unter allen Wetterumständen und mit möglichst hoher Genauigkeit bestimmen zu können. Als erstes System wurde das Transit-System 1964 eingesetzt. Aufgrund der niedrigen Frequenz der Positionsbestimmung ($0,00167 - 0,000145\text{Hz}^{11}$) kam dieses System jedoch nur in der Schiffsnavigation zum Einsatz, da die entsprechenden Geschwindigkeiten des Objekts keiner hohen Bestimmungsfrequenz bedurften. Um diese Nachteile auszumerzen wurden mehrere Folgesysteme entwickelt, die vor allem den zeitlichen Aspekt der Positionsbestimmung optimieren sollten. Parallel zu diesen Verbesserungen unter dem Systemnamen Timation (Parry, 2010) wurde von der U.S. Air Force das System 621B entwickelt (Courtney, Laho, Kadar, Richards, Moore, Neglia, Shulman, Graber, Pangburn, Lathan, Regis & Glazer, 1973). Diese beiden Systeme dienten wiederum als Grundlage für zahlreiche Weiterentwicklungen und führten dazu, dass unter Anleitung des GPS Joint Program

¹¹ Gründe für die unterschiedlichen Frequenzen liegen in der Position des Objekts, welches getrackt werden sollte.

Office das NAVSTAR GPS Programm gestartet und entwickelt wurde. Das NAVSTAR GPS ist heutzutage unter dem Namen GPS bekannt.

2.2.3.2 Funktionsweise

Positionsbestimmung via GPS bedient sich zumeist der Methode der *Triangulation*. Für dieses Verfahren ist die bekannte Position von Referenzobjekten (Satelliten) Voraussetzung. Abbildung 13 dient zur Verdeutlichung des Prozesses. Man nehme an, dass die Positionen P_1 , P_2 und P_3 bekannt sind und X das Objekt darstellt, dessen Position bestimmt werden muss. Die Entfernungen $\Delta(P_1;X)$, $\Delta(P_2;X)$ und $\Delta(P_3;X)$ sind folgerichtig bekannt. Somit liegt das zu bestimmende Objekt jeweils auf einem Kreis, dessen Radius der Entfernung zum jeweiligen Bezugspunkt beträgt. Um eine zweidimensionale Position (in der Ebene) bestimmen zu können (vgl. Abbildung 11) benötigt man 3 Bezugspunkte, da anderen Falls zwei Schnittpunkte zwischen den Kreisen entstehen. Durch Verwendung eines dritten Bezugspunktes wird diese Zweideutigkeit eliminiert und die Position des Objektes kann bestimmt werden. Im Falle der Positionsbestimmung auf der Erde wird entsprechend der Methode auf der Ebene nicht mit Kreisen, sondern mit Kugeln und deren Schnittmengen bearbeitet. Zwei Kugeln ergeben einen Schnittkreis. Mit Hilfe eines dritten Punktes wird dieser Kreis wiederum auf zwei Punkte reduziert. Durch Verwendung eines vierten Bezugspunktes (oder der Erdkugel als vierter Kugel), kann die Position des Objektes auf der Erde bestimmt werden (Schönfeld, 2006).

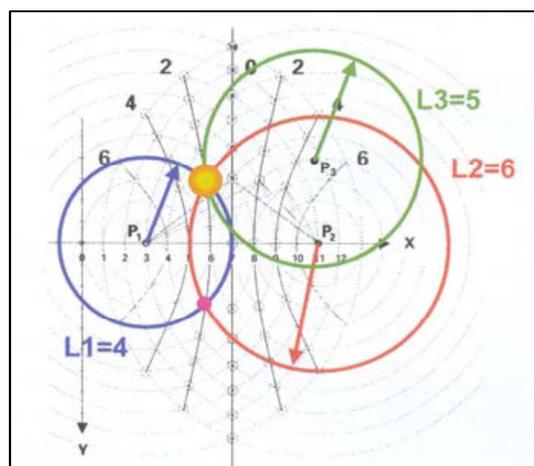


Abb. 13. Positionsbestimmung in der Ebene (nach Ripken & Nini, 2005)

Anwendung finden GPS Systeme im Fußball nur im Training¹². Frühere Versuche mit 1 bzw. 5 Hz Systemen zu arbeiten führten aufgrund der hohen Ungenauigkeit dazu, dass mittlerweile hauptsächlich Systeme mit einer Erhebungsfrequenz von 10 Hz verwendet werden. Nach Fußballregelwerk ist im Wettkampf die Verwendung von GPS Systemen nicht möglich, da keine Transponder getragen werden dürfen.

2.2.4 Positionsdetektion via Bilderkennung

2.2.4.1 Hintergrundinformationen

Im Laufe der letzten Jahre ist die Technik der automatischen Bilderkennung stets weiterentwickelt worden. Eine etablierte Methode zur Positionsdetektion stellt die Analyse von Bildern und Aufnahmen fest installierter bzw. statischer Kameras dar. Neben diesem Verfahren arbeiten Forschungsgruppen auch an der Möglichkeit zur Positionsdetektion aus dynamischen Kameraaufnahmen. Probleme dieser Verfahren liegen darin, dass nicht immer alle Spieler im Kameraausschnitt liegen und somit deren Position nicht exakt bestimmt werden kann. Vorteile sind klar in der wirtschaftlichen Komponente zu finden, da mit dieser Methode Kosten für Kameras eingespart werden könnten. Diese Systeme können jedoch nicht im Bereich der Wettkampfdiagnostik im Fußball eingesetzt werden. Im Folgenden wird somit nur auf Positionsdetektionssysteme via Bilderkennung eingegangen, welche auf fixierten, statischen Kameras beruht. Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den am häufigsten vertretenen, marktfähigen Systemen und Firmen, welche die Dienstleistung der Positionsdetektion via Bilderkennung anbieten.

¹² Es kommt zu vereinzelt Ausnahmen im Frauenfußball, bei welchen es erlaubt wird während Wettkampfspielen die benötigten Transponder zu tragen.

Tab.1. Übersicht zu Anbieter von Positionsdetektion via Bilderkennung.

System	Erhebungsfrequenz	Top-Kunden	Quelle
SportVU MV	15 Hz	English Premier League, UEFA	STATS (2012a) STATS (2012b)
Venatrack	25 Hz	English Premier League	Venatrack (2012)
Vistrack (Impire)	25 Hz	ARD, ZDF, sky, sport1, sat1, RTL, Liga total!, ALJAZEERA, ... DFB, Arsenal London, FC Bayern München, BVB, FC Barcelona, ... Sport Bild, Bild.de, kicker online, Der Spiegel, Focus, ...	Impire sports & facts (2012a) Impire sports & facts (2012b)
Amisco/ ProZone ¹³	25 Hz	Real Madrid CF, Chelsea FC, Liverpool FC, Bayern München, Olympique Lyonnais, Inter Milan, VfL Wolfsburg, RSC Anderlecht, Celtic FC,... DFB, South African Football Association, Georgian Football Federation, Österreich Fußball Bund, ... Ligue 1 (Frankreich), AXPO Super League (Schweiz). CANAL+, Orange, Ligue de Football Professionnel (lfp.fr), Olympique Lyonnais (olweb.fr), ...	Broich (2009) Amisco.eu (2010)
TRACAB	25 Hz	Spanish La Liga, Russian Premier League, Swedish Premier League, ...	TRACAB (2012) Fine (2010)

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich wird, gibt es eine große Zahl an Unternehmen, die Positionsdetektion via Bilderkennung anbieten. Unterschiede zwischen den Systemen sind vor allem in der Anzahl der eingesetzten Kameras zu finden. Die Spanne reicht von Systemen mit 2 Kameras (Vis.track der Impire AG) bis hin zu Systemen mit 32 Kameras (3D MoTrack von Venatrack Ltd). Grundsätzlich basiert jedoch je-

¹³ 2011 wurde Prozone Ltd. von der der Amisco Gruppe übernommen (Mastercoach International, 2011).

des System (bis auf einige Feinheiten im Bereich der Berechnungsalgorithmen) auf ähnlichen Methoden.

2.2.4.2 Funktionsweise

Zu Beginn ist es notwendig ein Modell des Fußballfeldes, auf dem das Spiel ausgetragen wird, zu kreieren. Sinn dieses Modells ist es, die exakte Position der Kamera, deren Blickwinkel und deren Zoom zu bestimmen bzw. zu schätzen, um damit ein virtuelles Modell des Spielfeldes zu generieren. Dieses Modell bildet somit eine Grundlage für die Errechnung der Positionsdaten jedes einzelnen Spielers in x- und y- Koordinaten. Um ideale Ergebnisse in diesem Modellierungsschritt gewährleisten zu können kommt es zu einem iterativen Optimierungsprozess (Beetz, Bandouch, Gedikli, Hoyningen-Huene v., Kirchlechner & Maldonado, 2006), der in einem dreistufigen Verfahren die Modellierung des Spielfeldes unterstützt: 1. Projektion des Feldmodells aufgrund der Kameraparameter, 2. Suche nach hohen Übereinstimmungen zwischen dem Feldmodell und dem echten Spielfeld und 3. Anpassung des Feldmodells entsprechend dem erreichbaren Optimum. Einen Überblick dazu gibt Abbildung 14.



Abb. 14. Iterativer Optimierungsprozesses zur Modellierung des Spielfeldes (nach Beetz et al., 2006).

Auf diese Weise gelingt es, das zunächst ungenau erscheinende Modell des Fußballfeldes Schritt für Schritt zu verbessern, um am Ende dieses Prozesses eine ausreichend genaue Modellierung gewährleisten zu können. Die Bedeutung dieses Schrittes liegt auf der Hand, haben Fehler und Ungenauigkeiten in dieser Phase große Auswirkungen auf die nachfolgenden Detektionsschritte.

Nachdem das Spielfeld auf diese Weise modelliert wurde, „sucht“ der Detektionsalgorithmus des Trackingsystems nur noch in diesem Feld nach zu trackenden Ob-

jekten. Zuschauer und Werbebanden werden (weitestgehend) vom Detektionsprozess ausgeschlossen (siehe Abbildung 15).



Abb. 15. Spielfeld aus Sicht des Trackingsystems.

Um nun in der Lage zu sein, Spieler den unterschiedlichen Mannschaften zuzuordnen zu können, „lernt“ das System die Farben der beiden Teams und der Schiedsrichter. Dabei wird ein Spektrum definiert, welches den jeweiligen Mannschaften und dem Schiedsrichterteam zugeordnet wird, um gegen mögliche Veränderungen in den Lichtverhältnissen gewappnet zu sein¹⁴. Abbildung 15 zeigt zudem, dass ein Spieler nicht anhand seiner realen Konturen, sondern mit Hilfe eines „Blobs“ (rote, blaue und grüne Spielerrahmen) erkannt wird. Die Größe der Blobs wird im Vorfeld der Positionsdetektion bestimmt. Dabei ist entscheidend, diese Größe möglichst passgenau zu definieren, da das System nur innerhalb des Blobs wiederum auf Basis der Farbpaletten die Spieler erkennt. Der beschriebene Prozess läuft entsprechend der Aufnahmefrequenz der Kameras mehrere Male pro Sekunde ab. Um eine möglichst hohe Genauigkeit bzgl. der Positionsbestimmung erzielen zu können arbeiten die Systeme zusätzlich mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsalgorithmen, die vorherige Bewegungen des getrackten Objektes in die aktuelle Positionsbestimmung mit einfließen lassen (Beetz, Hoyningen-Huene v., Kirchlechner, Gedikli, Siles, Durus & Lames, 2009). Dieser Prozess ist in gewisser Weise auch von Glättungsalgorithmen unterstützt, welche dazu dienen sollen ein gewisses Rauschen innerhalb der Positionsdaten zu verringern. Parallel zur automatischen Positionsde-

¹⁴ Bei vereinzelt Systemen kann das Farbspektrum während des Spiels durch manuelle Eingriffe nachjustiert werden, um Wetteränderungen (z.B. aufziehende Wolken) korrigieren zu können.

tektion besteht immer die Möglichkeit, manuell in den Prozess einzugreifen und Fehler per Hand zu korrigieren. Auch wird (je nach Anbieter) im Nachgang eines Spiels, die Positionsbestimmung nochmals nachjustiert; auch dieser Arbeitsschritt erfolgt manuell. Abbildung 16 gibt abschließend einen Überblick zum Prozess der Positionsdetektion via Bilderkennung.

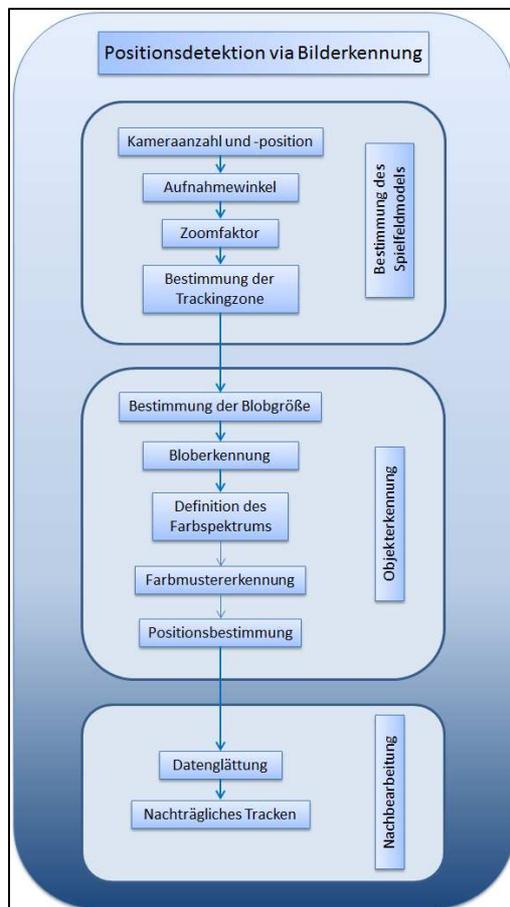


Abb. 16. Positionsbestimmung via Bilderkennung.

2.2.5 Radarbasierte Positionsbestimmung

2.2.5.1 Hintergrundwissen

Der Markt der radarbasierten Positionsdetektion wird von der österreichischen Firma Abatec (Abatec, 2011a) und ihrer niederländischen Tochterfirma inmotio (Abatec, 2011b) mit dem Local Position Measurement System (LPM) dominiert. Stellenweise wurde noch ein weiteres System von Carling (2008) erwähnt, der BioTrainer der Firma Citech Holdings aus Australien, aber es scheint, dass diese Firma mittlerweile nicht mehr besteht. Vereinzelt arbeiten weitere Forschungsgruppen an

Systemen¹⁵ in diesem Bereich, dennoch ist es durchaus angebracht von Abatec als marktführendem Anbieter im Sektor des Sports zu sprechen. Ein Vorgänger des LPM-Systems war das LPS (Local Position measurement System). Dieses System wurde an der Universität Graz entwickelt und war Ausgangspunkt für das LPM System. Ziel war es bereits damals, den Prozess der Analyse von Laufleistungen und anderen Informationen, die für eine Wettkampfdiagnostik relevant sind, zu ökonomisieren (Leitner, Stockinger, Hofmann & Hütter, 1997).

Aufgrund dieses Sachverhaltes soll im Folgenden auch primär die Funktionsweise (nach Leitner, Fischer, Söser, Baca, Smekal und Hofmann, 2003 und nach Stelzer, Pourvoyeur und Fischer, 2004) des LPM-Systems der Firma Abatec erläutert werden.

2.2.5.2 Funktionsweise

Abbildung 17 zeigt eine Skizze zum LPM Aufbau, inklusive Komponenten.

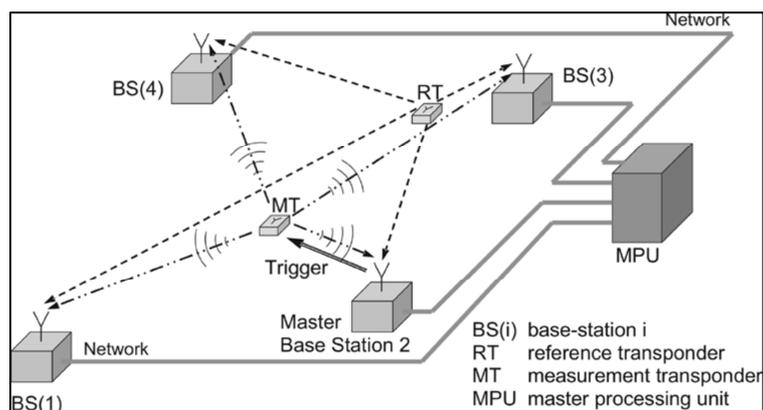


Abb. 17. Aufbauskitze LPM (nach Stelzer et al., 2004)

Um das Spielfeld sind sogenannte Basisstationen (base-stations BS) und der Referenztransponder positioniert. Grundsätzlicher Gedanke ist es, das Spielfeld durch ein zweidimensionales Koordinatensystem abzubilden. Bis auf seltene Ausnahmen befindet sich der Nullpunkt im Anspielpunkt, die Spielfeldlängsrichtung stellt die x-Richtung, die Spielfeldquerrichtung die y-Richtung dar.

¹⁵ Beispielsweise das Fraunhofer-Institut für integrierte Schaltungen mit dem System RedFIR (Heise.de, 2012) oder eine Forschungsgruppe der Universität Wien mit dem System UbiSense (Leser, 2012)

Mit Hilfe eines hochgenauen Tachymeters (Donath, Liedtke & Petzold, 2000) werden die Entfernungen der Basisstationen und des Referenztransponders, wie auch die Ecken des Spielfeldes bestimmt. Die Messung dieser Positionen erfolgt aus dem Nullpunkt des Koordinatensystems (dem Anspielpunkt) statt.

Alle BS sind entweder über Kabel oder über eine Wireless Verbindung mit der zentralen Verarbeitungseinheit (master processing unit MPU) verbunden. Der zu messende Transponder (measurement transponder MT) wird mit Hilfe der BS angesteuert und aktiviert. Der angesteuerte MT „antwortet“ mit Hilfe eines Signals auf einem 5,8 GHz ISM-Band (Industrial, Scientific and Medical Band), das aus einer elektromagnetischen Welle (im selben Frequenzband) besteht. Dieses Signal wird an alle erreichbaren BS übermittelt¹⁶. Die Zeit, welche der MT für die „Antwort“ benötigt wird wiederum dazu verwendet, die Position des MT zu bestimmen; dieser Schritt wird im Fachjargon *Positionsdetektion via Laufzeitmessung* genannt. Da das Signal unterschiedlich lange zu den verschiedenen BS benötigt, ist es von großer Wichtigkeit die BS und das eingehende Antwortsignal der MT miteinander zu synchronisieren. Dafür wird der Referenztransponder (reference transponder RT), dessen Position ebenfalls bekannt ist und somit auch die Dauer des Antwortsignals zu den BS, verwendet. Das Prinzip dieser Positionsbestimmung ist dasselbe wie bei einer GPS Technologie, nur dass in diesem Fall die BS als „Satelliten“ mit bekannter Position fungieren. Es werden niemals zwei MT gleichzeitig angesteuert. Das bedeutet, dass zu jedem Messzeitpunkt (das LPM System arbeitet mit einer Grundhebungsfrequenz von 1000 Hz) nur ein MT und der RT angesteuert werden. Die unterschiedlichen Informationen (Dauer der MT Antwort und Synchronisierung der BS mit Hilfe des RT) laufen als Rohdaten in der MPU zusammen und werden dort zu Positionsdaten umgewandelt.

Da auch die Technologie das Tragen von Sensoren (MTs) voraussetzt, ist der Einsatz dieser Technologie im Moment noch auf das Training beschränkt.

¹⁶ Es kann vorkommen, dass nicht alle BS das Signal übermittelt bekommen, da der Abdeckungsbereich der BS limitiert ist. Aufgrund dieser Thematik werden mittlerweile 10-12 BS verwendet, um ein optimales Messergebnis gewährleisten zu können.

3 Einzelbeiträge

3.1 *Game interruptions in elite soccer*

Siegle, M. & Lames, M. (2012). Game interruptions in elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 30 (7), 619-624.

DOI: 10.1080/02640414.2012.667877

Zusammenfassung:

Ziel der Untersuchung war es, Spielunterbrechungen während eines Fußballspiels genau zu beschreiben und zu überprüfen, ob Spielunterbrechungen als taktisches Mittel genutzt werden können. Mit Hilfe eines Beobachtungssystems wurden Art der Spielunterbrechung, Anzahl, Dauer, Ort, ausführende Mannschaft und aktueller Spielstand erhoben. Insgesamt wurden 16 Spiele aus der 1. Fußball Bundesliga der Saison 2009/2010. Im Durchschnitt kam es zu 108 Spielunterbrechungen pro Partie. Die mittlere Dauer einer Phase ohne Spielunterbrechung betrug 32,1s, die mittlere Dauer einer Spielunterbrechung lag bei 18,7s. Sowohl der Ort der Spielunterbrechung als auch der aktuelle Spielstand hatten einen signifikanten ($p < 0,05$) Einfluss auf die Dauer der Unterbrechung. Die Tatsache, dass Spielunterbrechungen länger dauerten, wenn die ausführende Mannschaft in Führung lag, diene als Beleg für den taktischen Nutzen von Spielunterbrechungen.

Eigene Leistung:

Forschungsidee, Literaturrecherche, Entwicklung des Beobachtungssystems inklusive Prüfung der Gütekriterien, Auswertung der Daten, Erstellen des Dokuments

3.2 Influences on frequency and duration of game stoppages during soccer

Siegle, M. & Lames, M. (2012). Influences on frequency and duration of game stoppages during soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 12, 101-111.

Zusammenfassung:

Basierend auf der Studie *Game interruptions in elite soccer*, versuchte diese Untersuchung den Einfluss von Geschlecht und Wettkampftart auf die Anzahl und Dauer von Spielunterbrechungen im Fußball zu analysieren. Dazu wurden, zusätzlich zur Datenbasis der vorangegangenen Studie, 8 Spiele der 1. Frauen Fußball Bundesliga aus der Saison 2009/2010, 16 Spiele der FIFA Weltmeisterschaft 2010 und 8 Spiele der FIFA Frauen Weltmeisterschaft untersucht. Beobachtet wurde mit Hilfe desselben Systems wie in der Studie *Game interruptions in elite soccer*. Zusätzlich dazu wurden die Informationen Geschlecht (männlich/ weiblich) und Wettkampftart (Liga/ K.O.) notiert. Insgesamt wurden 5860 Spielunterbrechungen analysiert.

Es zeigten sich signifikante Einflüsse ($p < 0,01$) von Geschlecht und Wettkampftart. Des Weiteren konnten signifikante ($p < 0,01$) Wechselwirkungen zwischen beiden Variablen festgestellt werden.

Die umfangreiche Analyse von Spielunterbrechungen machte deutlich, dass diese ein wesentlicher Bestandteil eines Fußballspiels sind.

Eigene Leistung:

Forschungsidee, Literaturrecherche, Auswertung der Daten, Erstellen des Dokuments

3.3 Zur Aussagekraft von Positions- und Geschwindigkeitsdaten im Fußball

Siegle, M., Geisel, M. & Lames, M. (2012). Zur Aussagekraft von Positions- und Geschwindigkeitsdaten im Fußball. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63 (9), 278-282.

DOI: 10.5960/dzsm.2012.028

Zusammenfassung

Seit der Entwicklung von Positionsdetektionssystemen im Fußball werden vermehrt Studien über Gesamtlaufstrecken und Laufleistungen in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen durchgeführt. Anhand dieser Analysen werden Aussagen über die Ermüdung eines Spielers getroffen. Diese Untersuchung befasste sich mit der Frage, ob dieses Vorgehen zuverlässig und valide ist. Dafür wurde der Einfluss von unterschiedlichen Variablen auf die Laufleistung analysiert.

Es wurden 14 Spiele bzw. 103 Spieler aus der 1. Fußball Bundesliga der Saison 2009/2010 untersucht. Daten über Laufleistungen wurden durch ein Positionsdetektionssystem erhoben. Untersucht wurden der Einfluss der Spielposition, der Gegnerstärke und des Spielstandes auf die Laufleistung.

Es konnte ein signifikanter Einfluss ($p < .01$) der Spielposition und des Spielstandes auf die Laufleistung beobachtet werden; für den Einfluss der Gegnerstärke wurde ein nicht signifikanter Trend ($p = .067$) festgestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass es eine Vielzahl an Einflussfaktoren auf die Laufleistung während eines Fußballspiels gibt. Die Aussagekraft von Laufleistungsanalysen im Sinne einer Ermüdungsschätzung ist somit als kritisch zu betrachten. Zukünftige Modellierungen der Ermüdung sollten versuchen die in dieser Studie aufgezeigten Einflussvariablen zu berücksichtigen, um valide Aussagen zu erlauben.

Eigene Leistung:

Forschungsidee, Literaturrecherche, Auswertung der Daten, Erstellen des Dokuments

3.4 Design of an accuracy study for position detection in football

Siegle, M., Stevens, T. & Lames, M. (2012, iFirst). Design of an accuracy study for position detection in football. *Journal of Sport Science*.

DOI: 10.1080/02640414.2012.723131

Zusammenfassung:

Durch die Entwicklung von Positionsdetektionssystemen entstand in den letzten Jahren eine Art neuer Forschungsrichtung, die auf Basis dieser Daten versucht, Informationen über Fußball zu generieren. Diese Informationen werden dann wiederum dazu genutzt, Hinweise für Training und Wettkampf zu geben. Voraussetzung für zuverlässige Hinweise sind jedoch zuverlässige Daten. Eine kritische Betrachtung der Literatur zeigte jedoch, dass die verwendeten Verfahren Schwächen aufweisen. Ziel dieser Studie war es demnach, ein neues Testdesign zur Überprüfung der Genauigkeit von Positionsdetektionssystemen zu entwickeln und anzuwenden. Mit Hilfe eines Laveg-Laserentfernungsmessers wurden zwei Positionsdetektionssysteme untersucht. Ein System arbeitete radarbasiert, das andere verwendete ein Bilderkennungsverfahren. Es zeigte ein signifikanter ($p=0,000$) Unterschied in der Genauigkeit zwischen beiden Technologien. Durch das entwickelte Testdesign konnte ein neuer Standard in der Genauigkeitsüberprüfung von Positionsdetektionssystemen gesetzt werden.

Eigene Leistung:

Literaturrecherche, Entwicklung des Testdesigns, Testdurchführung, Auswertung der Daten, Erstellen des Dokuments

3.5 Modeling soccer by means of relative phase

Siegle, M. & Lames, M. (in press). Modeling soccer by means of relative phase. *Journal of Systems Science and Complexity*.

Zusammenfassung:

Fußball ist ein komplexes System, das durch seinen dynamischen, nicht linearen Charakter geprägt ist. Aufgrund dieses Sachverhaltes, können triviale Modelle und Analysen nur bedingt dabei helfen, Informationen über das Spiel zu generieren. Mit Hilfe der Methode der Relativen Phase wurde versucht, das Interaktions- und Kopplungsverhalten von Mannschaften, Spielergruppen und Einzelspielern zu analysieren, um wiederum Aussagen über die Systemdynamik treffen zu können, der ein Fußballspiel unterliegt. Auf Basis von Positionsdaten des FIFA Weltmeisterschaft Finalspiels 2006 zwischen Italien und Frankreich wurden Spielfeldlängs- und Spielfeldquerbewegungen mit Hilfe der Relativen Phase analysiert. Es zeigten sich für alle drei Bereiche (Mannschaft, Spielergruppen und Einzelspieler) deutlich zu erkennende In-Phase-Muster. Perturbationen dieser „Kopplung“ konnten durch einen Vergleich mit der Videoaufzeichnung des Spiels als Torchancen identifiziert werden.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Methode der Relativen Phase dabei helfen kann, die Komplexität eines Fußballspiels zu analysieren.

Eigene Leistung:

Literaturrecherche, Auswertung der Daten, Erstellen des Dokuments

4 Diskussion

Ziel dieses Abschnittes ist es, die Ergebnisse der Einzelbeiträge in einem größeren Kontext zu diskutieren und mit einem Ausblick zu schließen. Zunächst sollen die einzelnen Themengebiete speziell für sich diskutiert und jeweils ein Ausblick gegeben werden; im Anschluss daran wird versucht, die gewonnenen Informationen themenübergeordnet in den Bereich der Wettkampfdiagnostik einzuordnen.

4.1 Themenspezifische Diskussion und Ausblick

4.1.1 Case-by-Case Analysen von Spielunterbrechungen

Ziel der beiden Beiträge war es, die Frage nach der Relevanz von Spielunterbrechungen im Sportspiel Fußball zu beantworten. Um dies zu ermöglichen, wurden verschiedene Untersuchungsschwerpunkte definiert und behandelt. Auf die einzelnen Ergebnisse für die Bereiche der *Deskriptiven Beschreibung, Dauer und Sequenz von Phasen laufenden und unterbrochenen Spiels, taktischem Nutzen von Spielunterbrechungen* und *Einflussvariablen auf die Anzahl und Dauer von Spielunterbrechungen* wird in den jeweiligen Einzelbeiträgen genauer eingegangen.

Mit Hilfe der Untersuchungsschwerpunkte konnten aussagekräftige differenzielle Profile von Spielunterbrechungen nachgewiesen werden, die verdeutlichen, dass Spielunterbrechungen ein bedeutender Bestandteil des Sportspiels Fußball ist.

Neben den gewonnenen Erkenntnissen öffnen sich weitere interessante Forschungsansätze, wie zum Beispiel das bereits erwähnte Verhältnis von nachspielrelevanten Spielunterbrechungen und der angesetzten und tatsächlichen Nachspielzeit. Des Weiteren kann der Einfluss von Spielunterbrechungen auf die Laufleistung untersucht werden. Erste Analysen haben gezeigt, dass die naive Hypothese der „Null-Belastung“ während Spielunterbrechungen nicht zutrifft. Vielmehr kommt es zu einer großen Anzahl an Aktionen hoher bis höchster Intensität während Spielunterbrechungen.

Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass das Themengebiet der Case-by-Case Analysen von Spielunterbrechungen einen großen Beitrag zur Theoretischen Wettkampfdiagnostik leisten konnte und auch weiterhin leisten kann. Die Ergebnisse der

Untersuchungen tragen dazu bei, Fußball besser zu verstehen und Aussagen über die Wettkampfstruktur zu ermöglichen.

4.1.2 Zur Aussagekraft von Positions- und Geschwindigkeitsdaten im Fußball

Der Ansatz dieses Beitrages war es, zu überprüfen, ob eine Ermüdungsschätzung rein auf Basis von Positionsdaten im Fußball möglich bzw. valide ist. Hierfür wurden Einflussfaktoren wie Spielposition, Gegnerstärke und Spielstand auf die Laufleistung von Feldspielern während eines Fußballspiels analysiert. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass eine direkte Verbindung zwischen Laufleistung und Grad der Ermüdung eines Spielers kein valides Vorgehen darstellt. Neben den eigenen Ergebnissen wurde im Beitrag eine Vielzahl an anderen Untersuchungen aufgeführt, deren Resultate diesen Sachverhalt weiter verstärken. Aus Sicht der Theoretischen Wettkampfdiagnostik müssen jedoch weitere Faktoren auf ihren Einfluss auf die Laufleistung hin untersucht werden (z.B. Wetter, Uhrzeit des Spiels, Spielort etc.), um eine umfassende Aussage zur Struktur des Sachverhaltes zu ermöglichen.

Parallel dazu ist es nun Ziel und Aufgabe der Trainingswissenschaft, die Ergebnisse und Erkenntnisse zu nutzen, um andere, validere Methoden und Wege zu entwickeln, wie eine Ermüdungsschätzung auf Basis von Positionsdaten im Fußball gelingen kann. Erste Ansätze unter Verwendung spektralanalytischer Verfahren wirken vielversprechend.

4.1.3 Modellierung von Fußball mit Hilfe der Relativen Phase

„In der Regel ist „das Modell“ (...) weder Selbstzweck noch in dieser Form eindeutig als das „Modell des Systems“ eindeutig bestimmt. Vielmehr sind (...) zu gegebenen Problemstellungen zu erstellende Lösungssysteme in eine Reihe von Ebenen und Aspekten gegliedert, die aus jeweils unterschiedlicher Sicht spezifische Modellbildungen erforderlich machen.“ (Perl, Lames & Glitsch, 2002, S.37).

Diese Aussage von Perl et al. (2002) kann auch für den Beitrag zur Modellierung von Fußball mit Hilfe der Relativen Phase geltend gemacht werden. Der Ansatz der Relativen Phase soll nicht als das allgemeingültige Werkzeug zur Analyse und Untersuchung von Fußball gesehen werden; vielmehr wurde versucht, ein Verfahren zu adaptieren, welches in der Lage ist, systemdynamische Aspekte des Sportspiels abzubilden. Als Teil dieser Systemdynamik wurde angestrebt, den Themenkomplex

der selbstorganisierten Kopplung von Mannschaften, Kleingruppen und Einzelspielern während eines Fußballspiels abzudecken.

Aus Sicht einer Theoretischen Wettkampfdiagnostik ist es gelungen, mit Hilfe der Relativen Phasen Modellierung diese Aspekte analysieren zu können. Ziel muss es nun sein, einerseits die zugrundeliegende Datenlage zu verbessern, andererseits aber auch bereits mit der Analyse von Einflussvariablen auf die Phänomene von Systemdynamik und Kopplung zu beginnen.

Erste Schritte in diese Richtung wurden bereits unternommen. Eine Analyse von Spielen auf unterschiedlichem Leistungsniveau hat gezeigt, dass Mannschaften umso stärker gekoppelt sind, je höher das Spielniveau ist, auf dem sie sich bewegen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit Hilfe der Studie zur Modellierung von Fußball mit Hilfe der Relativen Phase der Wissensbestand in diesem Bereich erweitert werden konnte; zudem ist es gelungen, theoriebildende Erkenntnisse auf dem Sektor der Systemdynamik im Fußball zu erzielen.

4.1.4 Design of an accuracy study for position detection in football

Ausgangspunkt für diese Studie waren die nicht zufriedenstellenden Untersuchungen im Bereich der Validierung von Positionsdetektionssystemen im Fußball, die bis dato publiziert wurden. „Weiche“ Tests mit Hilfe von Lichtschrankensystemen, sowie Fehler bzw. Unsauberkeiten im methodischen Vorgehen rechtfertigen die kritische Position, die an dieser Stelle eingenommen wird.

Mit Hilfe des neu entwickelten Testverfahrens und unter Verwendung eines hochgenauen Referenzsystems, ist es nun möglich, Systeme auf ihre Grundfähigkeit – Positionsdetektion– zu testen. Ein weiterer Vorteil des neuen Verfahrens liegt in der hohen Anzahl an Vergleichswerten, die wiederum eine bis dahin nicht erreichte Aussagekraft ermöglichen.

Als „Nebenprodukt“ konnten in der durchgeführten Untersuchung zudem zwei Systeme verglichen werden, die sich unterschiedlicher Technologien zur Positionsde-

tektion bedienen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass bildbasierte Positionserkennung durchaus in der Lage ist vernünftige Positionsdaten zu generieren. Dennoch wird die Genauigkeit von transponderbasierter Positionserkennung nicht erreicht. Langfristig könnten diese Erkenntnisse dazu führen, dass das Tragen von Transpondern im Wettkampf offiziell erlaubt wird, um die Genauigkeit der Daten zu verbessern. Ein weiterer Grund für diese Vermutung besteht in der rasch voranschreitenden Miniaturisierung der zu tragenden Transpondern (folienbasierte Technologien, die in das Trikot der Spieler eingewebt werden können).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Standards der Qualitätskontrolle von Instrumenten der Wettkampfdiagnostik durch die durchgeführten Studien neu gesetzt wurden und in Zukunft als Hürde gesehen werden müssen, die es für Anbieter von Positionsdetektionssystemen zu nehmen gilt, um auf dem Markt der Anbieter von Positionsdatensystemen bestehen zu können.

4.2 Themenübergreifende Diskussion und Zusammenfassung

Diese Arbeit hat es sich zum Ziel gesetzt, innovative Untersuchungen im Fußball durchzuführen, die im Rahmen einer Wettkampfdiagnostik Verwendung finden können. Hierfür wurde zunächst die bisherige Betrachtungsweise von Wettkampf im Allgemeinen und Wettkampfdiagnostik im Speziellen aus einer trainingswissenschaftlichen Perspektive aufgezeigt. Mit Hilfe einer Neugliederung der Felder der Wettkampfdiagnostik (siehe Abbildung 6, S. 18) wurden die Gebiete der Theoretischen Wettkampfdiagnostik, der Praktischen Wettkampfdiagnostik und der Methodologie der Wettkampfdiagnostik spezifiziert.

Zwar besteht keine direkte Verbindung zwischen den Einzelbeiträgen und der Praktischen Wettkampfdiagnostik (siehe Abbildung 7, S. 21), dennoch haben die gewonnenen Resultate Bedeutung für diesen Bereich, da sie als Grundlage und Ausgangspunkt für eine Praktische Wettkampfdiagnostik betrachtet werden müssen.

Eine trainingswissenschaftliche Besonderheit ist im Bereich des methodischen Vorgehens zu finden. Hier wurden verschiedenste Verfahren und Methoden verwendet, um die jeweiligen Zielstellungen erfüllen zu können. Systematische Spiel-

beobachtung, Quantitative Analyse von Positionsdaten, Modellbildung sowie biomechanische Referenzsysteme wurden für die Untersuchungen eingesetzt.

Trainingswissenschaftlich deshalb, weil sich diese sportwissenschaftliche Disziplin unterschiedlichster Methoden aus anderen Disziplinen (nicht nur sportwissenschaftlichen) bedient, um ein Optimum in Bezug auf die gesetzten Ziele zu erreichen (siehe Abbildung 18). Dies geschieht jedoch stets aus einer ganzheitlichen Perspektive und nicht wie in anderen Disziplinen in Bezug auf die jeweilige Basiswissenschaft (Hohmann et al., 2002, S. 17).

Neuere theoretische Ansätze verdeutlichen diesen Sachverhalt. So versuchen Passos, Davids, Araújo, Pazc, Minguéns und Mendess (2011) mit Hilfe eines aus der Mathematik stammenden „small-world-network-Ansatzes“ die Selbstorganisation im Sportspiel (hier am Beispiel Wasserball) näher zu beleuchten. Eine aus der Informationstheorie stammende Methode wurde unlängst von Vilar, Araújo, Davids und Bar-Yam (in press) im Fußball angewandt; mit Hilfe einer Entropiebetrachtung nach Shannon (1948) wurde versucht teamübergreifende und teaminterne Abstimmung zu untersuchen. Im Bereich der Rekurrenz-Analyse wird mittlerweile auf die Verwendung von linearer Rekurrenz verzichtet, da diese „nur“ die Beziehung zwischen Gliedern einer Folge untersucht (Berg, 1986); vielmehr wird mit Hilfe von Rekurrenz Plots, die vor allem zur Analyse von chaotischen Systemen verwendet werden können (Eckmann, Kamphorst & Ruelle, 1987), versucht, den Komplexitätsgrad des Spiels aufzugreifen und zu verstehen.

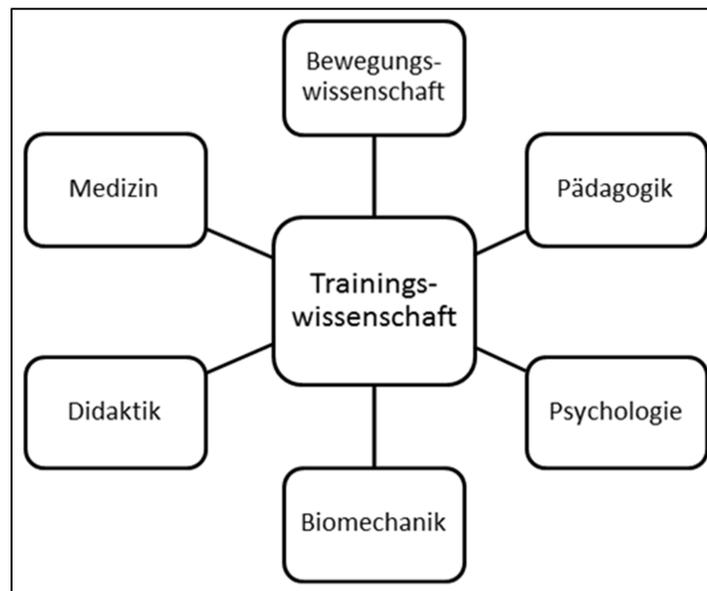


Abb. 18. Stellung der Trainingswissenschaft.

Aus sportpraktischer Sicht wäre eine perfekte Praktische Wettkampfdiagnostik wünschenswert, da dadurch die individuelle Leistungsfähigkeit der einzelnen Spieler und somit der gesamten eigenen Mannschaft erhöht und im Idealfall optimiert werden kann. Dies geschieht nach Definition der Praktischen Wettkampfdiagnostik durch Einzelfallstudien, wissenschaftliche Begleitung von Mannschaften oder der Einbindung innovativer Methoden im Wettkampf. Gerade der letztgenannte Bereich entwickelt sich rasch weiter. Durch den Einsatz von Biosensoren beispielsweise wird es in Zukunft möglich sein, mehr und genauere Informationen über die Leistung von Sportlern zu erhalten (Venturebeat, 2011), was die Grundlage für eine leistungssteigernde Wettkampfdiagnostik darstellt.

Trotz dieser Entwicklungen ist eine derartige Wettkampfdiagnostik im Fußball nur schwer vorstellbar. Dies hat mehrere Gründe. Zum einen ist die Voraussetzung von stabilen Leistungen der Sportler nicht gegeben, zum anderen gibt es aufgrund der Komplexität des Sportspiels Fußball eine derart große Anzahl an unbestimmbaren Faktoren, die eine Prognostizierbarkeit nicht zulassen. Selbst bei idealen Informationsvoraussetzungen und Analysemöglichkeiten wird es nicht möglich sein, Spiel-

positionen und Spielzüge zu bewerten, wie es beispielsweise im Schach nach der Minimax-Methode¹⁷ (Shannon, 1950) geschieht.

Abschließend kann festgehalten werden, dass das Sportspiel Fußball aufgrund seiner Komplexität sicherlich nie gänzlich verstanden und der Spielverlauf nie gänzlich prognostiziert werden kann. Genau diese Tatsache macht Fußball aber zu der Sportart, die sie ist und durch diesen Aspekt entsteht die Faszination, die dieser Sport mit sich bringt, sowohl für den Fan als auch für den Wissenschaftler.

Schließen soll diese Arbeit mit einem Zitat von Hohmann et al. (2010, S. 198), die diesen Sachverhalt wie folgt darstellen:

„Diese Limitierungen (...) sollten für Trainingswissenschaftler jedoch keinen Anlass zur Resignation darstellen (...) und wären für die „Zunft“ ohnehin kontraproduktiv.“

¹⁷ Bewertung der „Auswirkung“ von Spielzügen anhand von Figur-Punktwerten. Eine solche Bewertung wird über eine große Anzahl an Zügen gedanklich, oder per Computer vollzogen, um einen minimalen Punktwertverlust (eigene Figur wird geschlagen) und einen maximalen Punktwertgewinn (gegnerische Figur wird geschlagen) zu erzielen.

5 Literaturverzeichnis

- Abatec. (2011a). Abatec Group AG. Online, Zugriff am 01.12.2011, unter http://www.abatec-ag.com/index_html?id=41.
- Abatec. (2011b). Inmotiotec. Local Position Measurement. Online, Zugriff am 01.12.2011, unter http://www.abatec-ag.com/index_html?id=41.
- Amisco.eu (2010). References. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter <http://www.sport-universal.com/aboutus/references/references.html>.
- Augste, C. & Lames, M. (2008). Differenzierte Betrachtung von taktischem Verhalten und Belastungsstrukturen auf der Basis von Spielunterbrechungen im Fußball. In A. Woll, W. Klöckner, M. Reichmann & M. Schlag (Hrsg.), *Sportspielkulturen erfolgreich gestalten* (S. 113-116). Hamburg: Czwalina.
- Bales, R.F. (1975). Die Interaktionsprozessanalyse: Ein Beobachtungsverfahren zur Untersuchung kleiner Gruppen. In R. König (Hrsg.), *Beobachtung und Experiment in der Sozialforschung* (S.148-167). Köln: Kiepenheuer & Witsch.
- Bangsbo, J., Nørregaard, L. & Thorsøe, F. (1991). Activity Profile of Competition Soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 16 (2), 110-116.
- Beetz, M., Bandouch, J., Gedikli, S., Hoyningen-Huene v., N., Kirchlechner, B. & Maldonado, A. (2006). Camera-based Observation of Football Games for Analysing Multi-agent Activities. In H. Nakashima, M. Wellmann, G. Weiss & P. Stone (Eds.), *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems* (pp. 42-49). Hakodate: Japan.
- Beetz, M., Hoyningen-Huene v., N., Kirchlechner, B., Gedikli, S., Siles, F., Durus, M. & Lames, M. (2009). ASPOGAMO: Automated Sports Games Analysis Models. *International Journal of Computer Science in Sports*, 8 (1), 4-21.
- Berg, L. (1986). *Lineare Gleichungssysteme mit Bandstruktur*. München-Wien: Carl Hanser.
- Brack, R., Dreckmann, C. & Luderschmid, M. (submitted). Videobasierte Halbzeitanalyse bei der HBW Balingen-Weilstetten.
- Bradley, P.S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P. & Krustup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27 (2), 159-168.
- Brettschneider, W.-D. (1980). Entwicklung und Anwendung eines Instruments zur Spielbeobachtung. In R. Andresen & G. Hagedorn (Hrsg.), *Beobachten und Messen im Sportspiel* (S. 25-32). Berlin: Bartels und Wernitz.
- Broich, H. (2009). *Quantitative Verfahren zur Leistungsdiagnostik im Leistungsfußball Empirische Studien und Evaluationen verschiedener leistungsrelevanter Parameter*. Dissertation thesis, Deutsche Sporthochschule Köln.
- Cordes, O., Lamb, P. & Lames, M. (2012). Concepts and methods for strategy building and tactical adherence – A case study in football. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 7 (2), 241-254.
- Courtney, J., Laho, R., Kadar, I., Richards, P. Moore, M., Neglia, M., Shulman, I., Graber, E., Pangburn, L., Lathan, R. Grumman, E., Hazeltine, R. Magnavox, B. (1973). *System 621B User Equipment Definition and Experiments Program. Task VI – Phase II. Volume 1 – Executive Summary*. New York: Grumman Aerospace Corporation.

- Cranach, M. & Frenz, H.G. (1969). Systematische Beobachtung. In C.F. Graumann (Hrsg.), *Handbuch Psychologie, Bd. 7 – Sozialpsychologie, 1. Halbband* (S. 269-331). Göttingen.
- Czwalina, C. (1988). *Systematische Spielerbeobachtung in den Sportspielen*. Ahrensburg bei Hamburg: Czwalina.
- Döbler, H. (1974). *Abriss einer Theorie der Sportspiele*. Leipzig: Deutsche Hochschule für Körperkultur.
- Donath, D., Liedtke, M. & Petzold, F. (2000). Current digital support in the architectural survey of buildings. In L. Hempel (Hrsg.), *IKM 2000 proceedings: International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering*. Weimar: Deutschland.
- Dreckmann, C., Görsdorf, K. & Lames, M. (2008). Konstanz im Handball. Vermittlungsstrategien und Wirksamkeitsnachweise der Qualitativen Spielbeobachtung im Nachwuchsleistungssport. In A. Woll, W. Klöckner, M. Reichmann & M. Schlag (Hrsg.), *Sportspielkulturen erfolgreich gestalten – von der Trainerbank bis in die Schulklasse* (S. 117-120). Czwalina: Hamburg.
- Dreckmann, C., Görsdorf, K. & Lames, M. (2011). Video-Taktiktraining in den Sportspielen. *Leistungssport*, 5, 7-12.
- Dufour, W. (1993) Computer – assisted scouting in soccer. In T. Reilly, J. Clarys und A. Stibbe (Hrsg.), *Science and football II* (S.160-166). London: E & FN Spon.
- Eberspächer, H. (2005). Mentales Training. In H. Seelig, W. Göhner & R. Fuchs (Hrsg.), *Selbststeuerung im Sport. 37. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie vom 5. bis 7. Mai in Freiburg – Abstracts* (S.17). Hamburg: Czwalina.
- Eckmann, J.P., Kamphorst, S.O. & Ruelle, D. (1987). Recurrence Plots of Dynamical Systems. *Europhysics Letters*, 5, 973-977.
- Erdmann, R. & Willimczik, K. (1985). Beobachtung. In K. Willimczik (Hrsg.), *Grundkurs Datenerhebung 2 – Beobachtung – Befragung – Einstellungsmessung – Soziometrie – Verhaltensanalyse – Versuchsplanung* (S. 39-77). Ahrensburg bei Hamburg: Czwalina.
- Esposito, F., Impellizzeri, F.M., Margonato, V., Vanni, R., Pizzini, G. & Veicsteinas, A. (2004). Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 167-172.
- Fine (09.11.2010). Free-viewpoint Immersive Networked Experience. Specification of FINE's camera architecture. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter <http://www.projectfine.eu/assets/deliverables/D3.1.pdf>.
- Flanders, N.A. (1970). *Analyzing teacher behaviour*. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- Florida-James, G. & Reilly, T. (1995). The physiological demands of Gaelic football. *British Journal of Sports Medicine*, 29 (1), 41–45
- Frester, R. (2000): *Erfolgreiches Coaching. Psychologische Grundlagen für Trainer*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Fröhner, B. (1994). Aktuelle Computer- und Videotechnologie zur systematischen Untersuchung des technisch-taktischen Handelns im Volleyball aus individueller und mannschaftstaktischer Sicht. *Schriftenreihe zur angewandten Trainingswissenschaft*, 1, 49-67.
- Gerisch, G., Rutemöller, E. & Weber, K. (1988). Sportsmedical Measurements of Performance in Soccer. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W. J. Murphy (Eds.), *Science and Football* (pp. 60-67). London: Spon.

- Graumann, C.F. (1973). Grundzüge der Verhaltensbeobachtung. In C.F. Graumann & H. Heckhausen (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 14-41). Frankfurt: Reader zum Funk-Kolleg.
- Grosser, M., Brüggemann, P. & Zintl, F. (1986). *Leistungssteuerung in Training und Wettkampf*. München: BLV-Verl.-Ges.
- Heise.de (2012, 24.01). Fußball-Analyse mit RFID. Online, Zugriff am 06.09.2012, unter <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Fussball-Analyse-mit-RFID-1420924.html>.
- Heurer, A. (2010, 17.12). Bundesliga-Prognose – Nur 13 Prozent fehlen Dortmund zum Titel. Online, Zugriff am 27.10.2011, unter <http://www.spiegel.de/sport/fussball/0,1518,735213,00.html>
- Hohmann, A. (1985). *Zur Struktur der komplexen Sportspielleistung*. Ahrensburg: Czwalina.
- Hohmann, A. (1997). Wettkampfdiagnostik. In G. Thiess, P. Tschiene & H. Nickel (Hrsg.), *Der sportliche Wettkampf* (S. 144-190). Münster: Philippka.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin. Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart: Schattauer.
- Hottenrott, K. & Neumann, G. (2010). *Trainingswissenschaft – Ein Lehrbuch in 14 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Impire sports & facts (2012a). Impire AG – Referenzen. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter <http://www.bundesliga-datenbank.de/de/references/>.
- Impire sports & facts (2012b). VIS.TRACK. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter http://www.bundesliga-datenbank.de/fileadmin/impire/pdf/VIS.TRACK__GER_.pdf.
- James, N. (2006). The role of notational analysis in soccer coaching. *International Journal of Sport Science and Coaching*, 1 (2), 185-198.
- Kaminski, G. (1975). Einige Probleme der Beobachtung sportmotorischen Verhaltens. In H. Rieder, H. Eberspächer, K. Feige & E. Hahn (Hrsg.), *Empirische Methoden in der Sportpsychologie* (S. 43-65). Schorndorf: Hofmann.
- Kaplan, E.D. & Hegarty, C.J. (2006). *Understanding GPS. Principles and Applications* (2. Auflage). Boston, MA: Artech House Inc.
- Lames, M. (1991). *Leistungsdiagnostik durch Computersimulation: Ein Beitrag zur Theorie der Sportspiele am Beispiel Tennis*. Frankfurt, Thun: Harry Deutsch.
- Lames, M. (1992). Probleme von Beobachtungssystemen in den Sportspielen am Beispiel Fußball. In W. Kuhn & W. Schmidt (Hrsg.), *Analyse und Beobachtung in Training und Wettkampf* (S. 135–153). Sankt Augustin: Academia.
- Lames, M. (1994). *Systematische Spielbeobachtung*. Münster: Philippka.
- Lames, M. (1994b). Systematische Spielbeobachtung. In B. Strauss & H. Haag (Hrsg.), *Forschungsmethoden – Untersuchungspläne – Techniken der Datenerhebung in der Sportwissenschaft* (S. 373–384). Schorndorf: Hofmann.
- Lames, M. & Hohmann, A. (1997). Zur Leistungsrelevanz von Spielhandlungen im Volleyball. In B. Hoffmann & P. Koch (Hrsg.), *Integrative Aspekte in Theorie und Praxis der Rückschlagspiele* (S. 121-128). Hamburg: Czwalina.

- Lames, M. (1999). Fußball - Ein Chaosspiel? In J.P. Jannsen, A. Wilhelm & M. Wegner (Hrsg.), *Empirische Forschung im Sportspiel* (S. 141-156). Kiel: Universität Kiel.
- Lames, M. (2001). Der pragmatische Entschluss - Der Zweck als konstitutives Element der Modellbildung am Beispiel Sportspielbeobachtung. In J. Perl (Hrsg.), *Sport und Informatik VIII* (S. 65-72). Köln: Strauß.
- Lames, M. (2007). Informatische Unterstützung des Coachings im Hochleistungssport. *Informatik-Spektrum*, 31 (4), 301-307.
- Leitner, R., Stockinger, B., Hofmann, P. & Hütter, M. (1997). New technologies in sport game analysis. In J. Bangsbo, B. Saltin, H. Bonde, Y. Hellsten, B. Ibsen, M. Kjaer & G. Sjøgaard (Hrsg.), *Book of Abstracts of the 2nd Annual Congress of the European College of Sport Science in Copenhagen* (S. 310-311). Copenhagen: Dänemark.
- Leitner, R., Fischer, A., Söser, A., Baca, A., Smekal, G. & Hofmann, P. (2003). A novel 3D local position measurement (LPM) technology. In E. Müller, H. Schwameder, G. Zallinger & V. Fastenbauer (Hrsg.), *Book of Abstracts of the 8th Annual Congress of the European College of Sport Science in Salzburg* (S. 191). Salzburg: Österreich.
- Leser, R. (2012, Juli). *Accuracy test of a wireless position tracking system for measuring sports activities*. Vortrag auf dem Pre-Olympic Congress of the International Association of Computer Science in Sport in Liverpool, UK.
- Lühnenschloss, D. (1995). Wesen, Merkmale und Funktionen sportlicher Wettkämpfe. *Leistungssport*, 25 (1), 6-11.
- Mastercoach International (21.06.2011). Amisco Gruppe übernimmt Prozone Ltd. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter http://mastercoach.de/index.php?option=com_content&task=view&id=85&Itemid=4.
- Miethling, W.D. & Perl, J. (1978). Ansätze zur Verwendung von Computern für leistungssportliche Probleme unter besonderer Berücksichtigung der Sportspiele. *Leistungssport*, 8 (2), 130-139.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23 (6), 593-599.
- Ogushi, T., Ohashi, J., Nagahama, H., Isokawa, M. & Suzuki, S. (1993). Work intensity during soccer match-play (a case study). In T. Reilly, J. Clarys & A. Stribbe (Eds.), *Science and football* (pp. 121-123). London: Spon.
- Parry, D. (2010, 02.04). Father of GPS and Pioneer of Satellite Telemetry and Timing Inducted into National Inventors Hall of Fame. Online, Zugriff am 30.11.2011, unter http://www.navy.mil/Search/display.asp?story_id=52305.
- Perl, J., Lames, L. & Glitsch, U. (Hrsg.). (2002). *Modellbildung in der Sportwissenschaft*. (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, 132). Schorndorf: Hofmann Verlag.
- Prem, K. (2007, 19.11). ASpoGAMo: Mit dem Laptop auf der Trainerbank. Informationsdienst Wissenschaft. Online, Zugriff am 10.10.2011, unter <http://idw-online.de/pages/de/news235967>.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F., Castagna, D., Abt, G.A., Chamari, K., Sassi, A. & Marcora, M. (2007). Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *Journal of Sports Sciences*, 25, 659-666.
- Reilly, T. & Thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different personal roles in professional football match-play. *Journal of human movement studies*, 2, 87-97.
- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 15, 257-263.

- Ripken, H. & Nini, Y. (2005). *Schulinformation Raumfahrt: Navigation. Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht Ausgabe 1*. Troisdorf: Bildungsverlag EINS GmbH.
- Rohde, H.C. & Espersen, T. (1988). Work intensity during soccer training and match-play. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy (Eds.), *Science and football* (pp. 68-75). London: Spon.
- Schmidt, G. & Lüttke, D. (1984). Zur Analyse des Sprachverhaltens von Sportspieltrainern im Wettkampf. In R. Andersen & G. Hagedorn (Hrsg.), *Steuerung des Sportspiels in Training und Wettkampf. 5. Internationales Berliner Sportspiel-Symposium* (S. 171-185). Ahrensburg: Czwalina.
- Schnabel, G., Harre, H.D. & Borde, A. (1997). *Trainingswissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf*. Berlin: Sportverlag.
- Schnabel, G., Harre, H.D. & Krug, J. (2008). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Schönfeld, R. (2006). *Das GPS-Handbuch, GPS-Handgeräte in der Praxis, Band 1: Grundlagen, Basis-Funktionen, Navigation und Ortung, Karten*. Münster: Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat.
- Shannon, C.E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27 (3), 379 - 423.
- Shannon, C.E. (1950). Programming a Computer for Playing Chess. *Philosophical Magazine*, 7 (41), No.314.
- Simon, F.B. (2008). *Einführung in die Systemtheorie und Konstruktivismus* (3. Aufl.). Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag.
- Smaros, G. (1980) Energy usage during a football match. In V. Vecchiet (Eds.), *Proceedings of the 1st International Congress on Sports Medicine Applied to Football* (pp. 795-801). Rome.
- Sportstec. (2008). Trak Performance. Online, Zugriff am 01.12.2011, unter http://www.sportstec.com/Products_Trak_Performance.
- STATS (2012a). Technology – SportVU Football MV. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter http://www.sportvu.com/PDFS/SportVU_FootballMV_Technology.pdf.
- STATS (2012b). League Relationships. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter http://www.stats.com/league_relationships.asp.
- Stelzer, A., Pourvoyeur, K. & Fischer, A. (2004). Concept and Application of LPM—A Novel 3-D Local Position Measurement System. *IEEE*, 52 (10), 2664-2669.
- TRACAB (2012). About TRACAB – We´re uncovering sports DNA. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter <http://www.tracab.com/about.aspx>.
- Van Gool, D., Van Gerven, D. & Boutmans, J. (1988). 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: Spon.
- Venatrack (2012). Venatrack Technology for Facts, Figures and Videos. Online, Zugriff am 12.09.2012, unter <http://www.venatrack.com/index.php?page=aboutus>.
- Venturebeat (2011). Beyond Moneyball: How biosensors are already changing sports today. Online, Zugriff am 05.11.2012, unter <http://venturebeat.com/2011/09/23/moneyball-bio-sensors-sports/>.

- Vilar, L., Araújo, D., Davids, K. und Bar-Yam, Y. (in press). Science of Winning Soccer: Emergent pattern-forming dynamics in association football. *Journal of Systems Science and Complexity*.
- Weineck, J. (2007). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. Balingen: Spitta.
- Winkler, W. (1985). Fußball analysiert: Hamburger SV gegen Inter Mailand (I). *Fußballtraining*, 9+10, 22-25.
- Winterbottom, W. (1959). *Soccer Coaching*. Kingswood: The Naldrett Press Ltd.

6 Abbildungsverzeichnis

<i>Abb.1.</i> Wechselwirkungen zwischen den Gegenstandsbereichen der Trainingswissenschaft (nach Hohmann et al., 2010, S.30).	6
<i>Abb.2.</i> Wissensbestände von Trainingswissenschaft, Trainingslehre und Sportpraxis (nach Hohmann et al. 2010).	8
<i>Abb.3.</i> Modell zur Kopplung von Training und Wettkampf (nach Lames, 1994).	10
<i>Abb.4.</i> Phasen der Wettkampfsteuerung (nach Hohmann et al., 2010).	11
<i>Abb.5.</i> Übergeordnete Ziele und Aufgaben der Wettkampfdiagnostik.	16
<i>Abb.6.</i> Felder der Wettkampfdiagnostik.	17
<i>Abb.7.</i> Übersicht zur Verbindung der Themengebiete mit den Feldern der Wettkampfdiagnostik.	18
<i>Abb.8.</i> Systeme und Subsysteme in einem Fußballspiel.	23
<i>Abb.9.</i> Priorisierung der Spielziele. Stärke der Pfeile stellt die Wichtigkeit der Zielerreichung dar.	24
<i>Abb.10.</i> Teamübergreifende und Teaminterne Systemkopplung.	26
<i>Abb.11.</i> Entwicklung eines Spielbeobachtungssystems.	30
<i>Abb.12.</i> Aufzeichnung eines Laufweges (5-Minuten Ausschnitt) eines Spielers (nach Winkler, 1985, S.23).	33
<i>Abb.13.</i> Positionsbestimmung in der Ebene (nach Ripken & Nini, 2005)	35
<i>Abb.14.</i> Iterativer Optimierungsprozesses zur Modellierung des Spielfeldes (nach Beetz et al., 2006).	38
<i>Abb.15.</i> Spielfeld aus Sicht des Trackingsystems.	39
<i>Abb.16.</i> Positionsbestimmung via Bilderkennung.	40
<i>Abb.17.</i> Aufbauskitze LPM (nach Stelzer et al., 2004)	41
<i>Abb.18.</i> Stellung der Trainingswissenschaft.	53

7 Tabellenverzeichnis

Tab.1.	<i>Übersicht zu Anbieter von Positionsdetektion via Bilderkennung.</i>	37
--------	---	----