

Trainingsprogramm zur Verletzungsprävention im leistungsorientierten Amateurfußball

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

an der

Fakultät für Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft der Universität Regensburg

vorgelegt von

Birgit Fellner

2019

Institut für Sportwissenschaft

Lehrstuhl Prof. Dr. Petra Jansen

Erstgutachter: Prof. Dr. Petra Jansen

Zweitgutachter: PD Dr. Werner Krutsch

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	V
Zusammenfassung / Summary.....	3
I) Hinführung zum Thema.....	5
1 Problemstellung	6
2 Ziel der Arbeit	7
II) Grundlagen und aktueller Forschungsstand.....	7
3 Sportartenanalyse Fußball	8
3.1 Physisches Anforderungsprofil.....	9
3.1.1 Ausdauer	10
3.1.2 Kraft.....	15
3.1.3 Schnelligkeit	20
3.1.4 Beweglichkeit	28
3.1.5 Agilität und Gewandtheit	32
3.1.6 Koordination	34
3.2 Funktionelles Anforderungsprofil.....	40
3.2.1 Grundbewegungsmuster im Fußball.....	41
3.2.2 Dreidimensionale Bewegungsebenen	42
3.2.3 Komplexität der sportlichen Bewegung in Muskelketten	44
3.2.4 Der Zusammenhang zwischen Mobilität und Stabilität im Fußball	44
3.2.5 Die (A)Symmetrie in den Bewegungsmustern.....	46
4 Verletzungen im Fußballsport	47
4.1 Risikofaktoren von Verletzungen im Fußball	48
4.1.1 Externe Risikofaktoren.....	49

4.1.2	Interne Risikofaktoren	55
4.2	Verletzungsbilder im Fußball.....	60
4.2.1	Verletzungen am Kniegelenk.....	61
5	Verletzungspräventive Maßnahmen im Fußball	70
5.1	Funktionelle und biomechanische Leistungsdiagnostik	70
5.1.1	Sprungtests	72
5.1.2	Agilitätstests.....	73
5.1.3	Stabilitätstests.....	74
5.1.4	Mobilitätstest.....	75
5.2	Sportartspezifität im präventiven Athletiktraining	75
5.2.1	Ziele des sportartspezifischen, präventiven Athletiktrainings.....	76
5.2.2	Die Notwendigkeit von Sportartspezifität.....	77
5.3	Inhalte präventiver Trainingsprogramme.....	78
5.3.1	Neuromuskuläres Training	79
5.3.2	Thermogenese und allgemeine Erwärmung/Aktivierung	80
5.3.3	Mobilitätstraining und <i>Movement Preparation</i>	81
5.3.4	Training der Rumpf- und Becken-Bein-Stabilität	82
5.3.5	Sprung- und Landetraining, plyometrisches Training	85
5.3.6	Agilitätstraining.....	88
5.4	Anwendung in Prävention, Rehabilitation & Sekundärprävention	90
5.4.1	Return to Activity	91
5.4.2	Return to Sport.....	92
5.4.3	Return to Play.....	92
5.4.4	Return to Competition	93
5.5	Aktueller Stand in der Anwendung im leistungsorientierten Amateurfußball .	93
5.6	Etablierte Präventionsprogramme.....	96

III) Empirische Untersuchung.....	97
6 Fragestellungen und Hypothesen	97
7 Studienrelevante Aspekte und Grundlagen	101
7.1 Methodisches Vorgehen, Supervision und Compliance	103
7.2 Probanden	104
7.3 Allgemeine Trainer- und Spielerabfrage	104
7.4 Spielerprofil Pre-Season-Screening.....	106
7.5 Sportmotorische Testbatterie.....	107
7.5.1 Messinstrumente	108
7.5.2 DropJump	110
7.5.3 SideHop	113
7.5.4 Multidirectional Speed Case – Pro Agility Shuttle	115
7.5.5 One-Leg-Stability.....	118
7.6 Verletzungs-Report.....	119
7.7 Implementierung eines präventiven Trainingsprogramms.....	120
7.7.1 Modul I – Mobilisationstraining.....	123
7.7.2 Modul II – Rumpfstabilisationstraining	123
7.7.3 Modul III – Stabilisationstraining der Becken-, Beinachse	124
7.7.4 Modul IV – Sprung- und Landetraining	125
7.7.5 Modul V - Agilitätstraining.....	126
8 Studie 1	127
8.1 Studiendesign	127
8.2 Ergebnisse.....	132
8.3 Diskussion	141
9 Studie 2	145

9.1	Studiendesign	146
9.2	Ergebnisse.....	147
9.3	Diskussion.....	151
10	Studie 3	153
10.1	Studiendesign	154
10.2	Ergebnisse.....	155
10.3	Diskussion.....	159
11	Studie 4	161
11.1	Studiendesign	162
11.2	Ergebnisse.....	164
11.3	Diskussion.....	177
12	Abschlussdiskussion	183
12.1	Ergebniszusammenfassung und Erkenntnisse	183
12.2	Limitation und kritische Auseinandersetzung	188
12.3	Praxisrelevanz und Ausblick.....	191
	Literatur	193
	Abbildungsverzeichnis.....	231
	Tabellenverzeichnis.....	235
	Eidesstattliche Erklärung	242
	Anhang.....	243

Abkürzungsverzeichnis

Abb	<i>Abbildung</i>
ACL.....	<i>Lig. cruciatum anterior</i>
BFV	<i>bayerischer Fußballverband</i>
BL.....	<i>Bayernliga</i>
BMI	<i>Body Mass Index</i>
bspw	<i>beispielsweise</i>
BZ.....	<i>Beobachtungszeitraum</i>
bzgl.....	<i>bezüglich</i>
BzL.....	<i>Bezirksliga</i>
ca.....	<i>circa</i>
COD	<i>Change of Direction</i>
DFB	<i>Deutscher Fußballbund</i>
DVZ	<i>Dehnungsverkürzungszyklus</i>
fE	<i>frontale Ebene</i>
FIFA	<i>Fédération Internationale de Football</i>
F-MARC	<i>FIFA Medical Assessment and Research Centre</i>
FMS™	<i>Functional Movement Screen</i>
FPT	<i>Functional Performance Test</i>
GIRD	<i>glenohumeral Innenrotationsdefizit</i>
HFmax.....	<i>maximale Herzfrequenz</i>
i.d.R.....	<i>in der Regel</i>
IC.....	<i>Initialkontakt</i>
IFAB	<i>International football association board</i>
IG.....	<i>Interventionsgruppe</i>
KG.....	<i>Kontrollgruppe</i>
KSP.....	<i>Körperschwerpunkt</i>
KV	<i>Knieverletzung</i>
LESS.....	<i>Landing Error Scoring System</i>
Lig.....	<i>Ligamentum</i>
LL.....	<i>Landesliga</i>
LSI.....	<i>Limb Symmetry Index</i>
LZA.....	<i>Langzeitausdauer</i>
M.....	<i>Musculus</i>
MDS.....	<i>Multi Directional Speed</i>
MFT-CD	<i>MFT Challenge-Disc</i>
Min.....	<i>Minut(en)</i>
NLZ.....	<i>Nachwuchsleistungszentrum</i>
NMT	<i>Neuromuskuläres Training</i>
NPV	<i>Negative Predict Value</i>
PCL	<i>Lig. cruciatum posterior</i>

PPV	<i>Positive Predict Value</i>
pTP	<i>präventives Trainingsprogramm</i>
RL	<i>Regionalliga</i>
RSI	<i>Reaktivindex</i>
sE	<i>sagittale Ebene</i>
SEBT	<i>Star Excursion Balance Test</i>
sec	<i>Sekunden</i>
Tab	<i>Tabelle</i>
u.a.	<i>unter anderem</i>
UAP	<i>Universal Athletic Position</i>
VBG	<i>Verwaltungsberufsgenossenschaft</i>
vgl.	<i>vergleiche</i>
VKB	<i>vorderer Kreuzbandriss</i>
VO ² max	<i>maximale Sauerstoffaufnahmekapazität</i>
VV	<i>Vorverletzung</i>
Wdhg.	<i>Wiederholung(en)</i>
WP	<i>Wendepunkt</i>
z.B.	<i>zum Beispiel</i>

Zusammenfassung / Summary

Thema dieser Arbeit ist es zum einen, die neuromotorische Qualität des DropJumps im leistungsorientierten Amateurfußball Bayerns zu analysieren und den Zusammenhang der Bewegungsqualität mit dem Aufkommen von Verletzungen zu überprüfen. Andererseits soll der Einfluss eines spezifischen Trainingsinterventionsprogramms auf die Verletzungsinzidenz und die Entwicklung der Bewegungsqualität untersucht werden.

Im ersten Teil der Promotionsarbeit soll die grundlegende Problemstellung erarbeitet und die Ziele dieser Arbeit herauskristallisiert werden.

Darauf folgt im zweiten Abschnitt die Darlegung der sportmedizinischen und -wissenschaftlichen Grundlagen sowie ein Einblick in den aktuellen Forschungsstand der präventiven Fußballmedizin. Weiter wird eine Übersicht über Verletzungsparameter von Knie- sowie speziell Kreuzbandverletzungen gegeben, welcher die Vorstellung von praxisorientierten verletzungspräventiven Maßnahmen folgt.

Der dritte Abschnitt dieser Niederschrift umfasst die empirische Untersuchung der Promotionsarbeit. Hier wird in einer ersten Studie die Bewegungsqualität fußballspezifischer Bewegungsabläufe zur Einschätzung verletzungsrelevanter Risikofaktoren im leistungsorientierten, bezahlten Amateurfußball analysiert. In Studie 2 Zusammenhang von Vorverletzungen auf die Bewegungsqualität des *Landing Error Scoring Systems* (LESS) beim DropJump untersucht. Die dritte Studie beschäftigt sich mit dem Zusammenhang des LESS-Scores und der Verletzungsinzidenz, bevor die vierte Studie den Einfluss der spezifischen Trainingsintervention auf den LESS-Score sowie die Verletzungsinzidenz überprüft.

Die abschließende Diskussion fasst die Ergebnisse der empirischen Analysen nochmal zusammen, setzt sich mit Limitationen des Studiendesigns kritisch auseinander und transferiert die Erkenntnisse der Promotionsarbeit in die Sportpraxis.

The subject of this thesis is to analyse the neuromotor quality of DropJumps in performance-oriented amateur football and to examine the relationship between the quality of movement and the onset of injuries. Furthermore, the influence of a specific training intervention program on the incidence of injury and the development of the quality of movement should be investigated.

In the first part of the doctoral thesis, the basic problem will be worked out and the goals of this thesis will be crystallized.

This is followed in the second section by the presentation of the fundamentals of sports medicine and science as well as an insight into the current state of research in preventive football medicine. In addition, an overview of injury parameters of knee and especially cruciate ligament injuries is given, which is followed by the idea of practice-oriented injury prevention measures.

The third section of this transcript includes the empirical investigation of the dissertation. In a first study, the motion quality of football-specific movement sequences for the assessment of injury-relevant risk factors in performance-oriented, paid amateur football is analyzed. In Study 2, the relationship previous injuries on the motion quality of the Landing Error Scoring System (LESS) at DropJump was investigated. The third study looks at the relationship between the LESS score and the incidence of injury before the fourth study examines the impact of specific training intervention on LESS score as well as injury incidence.

The concluding discussion summarizes the results of the empirical analyses, examines critically the limitations of the study design critically and transfers the findings of the doctoral thesis into sports practice.

I) Hinführung zum Thema

Fußball fasziniert Millionen von Menschen. Keine andere Spielsportart zählt weltweit so viele Berufs- und Amateurspieler. Fußball wird rund um den Globus nahezu von 270 Millionen Menschen begeistert gespielt. Die *Fédération Internationale de Football Association* (FIFA) zählt derzeit 211 organisierte Mitgliedsverbände (FIFA, 2019), darunter den deutschen Fußballbund (DFB), der in seinen 21 Landesverbänden über sieben Millionen Mitglieder führt (DFB, 2019). Gleichzeitig gehört der Fußball zu den Mannschaftssportarten mit dem höchsten Verletzungsrisiko, bedingt durch das Anforderungsprofil dieser Sportart. Unabhängig von Vereins-, Schul- oder im nicht organisierten Sport führt der Volkssport Nummer 1 Fußball die Unfallstatistik deutlich an (Krutsch, Eichhorn, Hoffmann & Angele, 2013; Meyer, Faude, aus der Fünten, 2014).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich zum einen mit Bewegungsanalyseverfahren der funktionellen Leistungsdiagnostik zur Prävention von Verletzungen im Leistungsfußball und zum anderen mit dem Einfluss eines speziellen präventiven Trainingsprogramms auf das Bewegungsverhalten und die Verletzungsinzidenz der Zielgruppe. Als Grundlage einer zielgerichteten, verletzungspräventiven Arbeit im Fußball ist es unabdingbar, sich mit Ursachen, Risikofaktoren, Verletzungsmuster, Häufigkeit und Art der Verletzungen zu befassen, um darauf basierend entsprechende Interventionsmaßnahmen einzuleiten. So gibt es zahlreiche, teils von den Weltverbänden initiierten epidemiologischen Studien, die dazu beitragen, Charakteristika und Risikofaktoren von Fußballverletzungen besser zu verstehen (Ekstrand, Waldén & Hägglund, 2004; Junge, Dvorak, Graf-Baumann & Peterson, 2004; Dvorak, Junge & Grimm, 2010; Ekstrand, Hägglund & Waldén, 2011; Junge & Dvorak, 2013). Auch nationale Forschungsarbeiten beschäftigen sich zunehmend mit diesen Fragestellungen im deutschen Profi- und Amateurfußball (Faude, Meyer, Federspiel & Kindermann, 2009; Krutsch, Voss, Gerling, Grechenig, Nerlich & Angele, 2014; Koch et al, 2016; Krutsch, Zeman, Zellner, Pfeifer, Nerlich & Angele, 2016). Die Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG) publiziert seit drei Jahren aktuelle epidemiologische Zahlen zu Art, Häufigkeit und Entstehungsmechanismen bezüglich (bzgl.) Verletzungen in den drei deutschen Fußball-Profiligen (VBG, 16; VBG 17; VBG 18).

Diese unterscheiden sich natürlich wesentlich von den Amateurligen durch die Trainings- und Spielanforderungen, aber auch die Rahmenbedingungen, wie Trainingssteuerung, medizinische Strukturen oder individualisiertes Athletiktraining. Umso erstaunlicher, dass funktionelle Screening-Tests in der Fußballforschung noch immer wenig Anwendung finden, wenn man bedenkt, dass es kaum Erkenntnisse über die neuromotorischen sowie biomechanischen Voraussetzungen als Indikator für Verletzungen gibt. Wesentlich ist deswegen auch die prospektive Datenerfassung, um wichtige Referenzwerte zu erhalten – bevor sich der Spieler eine Verletzung zuzieht. So bestätigen auch Moser & Bloch (2015), dass diese Datenerfassung für eine spätere Orientierung im Rehabilitationsverlauf von großer Bedeutung ist.

Diese Promotion greift bestehende Forschungslücken auf und soll dazu beitragen, Risikofaktoren als Prädiktoren für schwerwiegende Knieverletzungen im Bereich neuromotorischer Bewegungsmerkmale im leistungsorientierten Amateurfußball zu analysieren. Daraus abgeleitet sollen Risikoathleten identifiziert, ein Zusammenhang mit der Verletzungsinzidenz hergestellt und die Notwendigkeit eines sportartspezifischen, präventiven Athletiktrainings für die entsprechende Zielgruppe etabliert werden.

1 Problemstellung

Das Anforderungsprofil im Fußball, welches im Abschnitt 3 dieser Arbeit detailliert analysiert wird, zeichnet sich insgesamt durch sehr typische physische Belastungsmerkmale aus, die durch Bewegungsmuster mit hoher Intensität zum Tragen kommen. Vor allem Schussbewegungen, Ausfallschritte, Sprünge, Sprints, Beschleunigungen, Abbremsbewegungen, Stop-And-Gos, Drehbewegungen oder Richtungswechsel charakterisieren im hohen Maß das moderne Fußballspiel (Dost, te Poel & Hyballa, 2015; Kianmarz, 2016). Der Sportanalyse der Verwaltungsberufsgenossenschaft zufolge sind all dies Bewegungsanforderungen, die in ihrer Komplexität für Spieler eine erhöhte Verletzungsgefahr darstellen (VBG, 2016; 2017; 2018). Um erfolgreiche Verletzungsprävention zu gewährleisten, ist es demnach von besonderer Bedeutung, dass sich vor allem durch funktionelle und neuromotorische Defizite

besonders gefährdete Spieler, durch entsprechende Trainingsmaßnahmen neuromotorische Automatismen aneignen, um Risikosituationen während des Trainings oder im Wettkampf verletzungsfrei zu meistern zu können (Jöllenbeck et al, 2013).

2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Promotionsarbeit ist einerseits die Untersuchung theoretischer Grundlagen im Forschungsfeld *Verletzungsprävention im Fußball*. Andererseits steht die empirische Untersuchung funktioneller und neuromotorischer Prädiktoren für Kniegelenksverletzungen in Abhängigkeit von Alter, Spielniveau, Teamzugehörigkeit und Vorverletzungen ebenfalls im Fokus der Arbeit. Die zentralen Forschungsfragen der durchgeführten Studien beschäftigen sich mit der Analyse und Evaluation von funktionellen, neuromotorischen Voraussetzungen von verletzungsrisikanten, sportspezifischen Bewegungsmustern, welche im Anschluss mit der Verletzungsanfälligkeit in Verbindung gebracht werden. Nach der Evaluation der Baseline-Screening-Daten und der Entwicklung eines präventiven Trainingskonzepts für die Zielgruppe leistungsorientierter Amateurfußballer, soll der Einfluss dieses Programms auf Neuromotorik und Verletzungsinzidenz überprüft werden. Diese Untersuchung soll die Bedeutung und Notwendigkeit präventiver Trainingsinhalte im Amateurfußball herausstellen.

II) Grundlagen und aktueller Forschungsstand

Im Mittelpunkt dieses Abschnittes steht eine grundlegende Einführung in die theoretischen Themengebiete des Forschungsfeldes *Verletzungsprävention im Fußball*. Um Verletzungen evaluieren und entsprechende präventive Maßnahmen ableiten zu können, bedarf es vorab einer gründlichen Analyse der Sportart Fußball selbst. In einem weiteren Schritt wird detailliert speziell auf Verletzungen des Kniegelenks eingegangen, kontextbezogene Risikofaktoren von Verletzungen werden herausgearbeitet. Die

Möglichkeiten der präventiven Diagnostik spielen ebenso eine Rolle, wie die Inhalte entsprechender Trainingsinterventionen zur Verletzungsprophylaxe.

3 Sportartenanalyse Fußball

Dass die sportliche Leistungsfähigkeit eines Fußballspielers durch viele unterschiedliche Leistungskomponenten bestimmt wird, ist eine gesicherte sportwissenschaftliche Erkenntnis. So zählen, wie in Abbildung (Abb. 1) dargestellt, koordinativ-technische, psychosoziale, physisch-konditionelle, mentale, taktisch-kognitive, aber auch konstitutionelle und gesundheitliche Faktoren zu den leistungsbestimmenden Eigenschaften im Mannschaftsspiel Fußball (Weineck, 2004; Bisanz & Gerisch, 2008; Weineck, Memmert & Uhing, 2012; Dost et al, 2015). Ähnlich schreibt auch Bangsbo (1994) dem Fußball hohe technische, taktische, physische und psychische Anforderungen zu, die insgesamt in einem engen Zusammenhang stehen.



Abbildung 1: Anforderungsprofil Fußball (verändert nach Bisanz & Gerisch, 2008, S.51)

Laut Michael Boyle (2010) ist es unabdingbar, die jeweiligen Anforderungen der entsprechenden Sportart genau zu kennen, bevor man trainiert oder Trainingspläne

erstellt. So unterscheiden sich allen voran die physischen Belastungskomponenten von Sportart zu Sportart ebenso, wie deren sportartspezifischen Bewegungsmuster. Je nach konditionellem, koordinativem und funktionellem Anspruch muss ein Training, sowohl im Hinblick auf eine Leistungsoptimierung sowie Leistungssteigerung, als auch hinsichtlich einer gezielten Verletzungsprävention ausgearbeitet und konzipiert werden. Es wird grundsätzlich zwischen ausdauer- und kraftorientierten Sportarten unterschieden, wobei auch die Komponente Schnelligkeit, als Kriterium der Analyse essentiell wichtig ist. Ebenso ist es wesentlich, sich die Einteilung der Bewegungsabläufe in zyklisch und azyklisch zu vergegenwärtigen, sowie die Variation zwischen Dauer- und Intervallbelastung zu berücksichtigen.

3.1 Physisches Anforderungsprofil

In den letzten Jahrzehnten haben sich die Anforderungen im Leistungsfußball weiterentwickelt. Ballorientierte Spielsysteme, Varianten des Pressing- und Umschaltspiels, schnelle Spielverlagerungen und vieles mehr, prägen moderne Spielweisen, die eine hohe Laufbereitschaft aller Mannschaftsteile erfordert (Wienecke, 2007). Damit ändert sich auch das physische Anforderungsprofil. Einflussfaktoren wie Spielsysteme, sporttechnische Fertigkeiten sowie konditionelle Komponenten haben den Fußball insgesamt schneller und athletischer gemacht. Schnelle Antritte, Sprints, Beschleunigungen aus unterschiedlichen Positionen, abrupte Stopps, Sprünge, schnelle Richtungswechsel, Dribblings, Pässe, Schüsse und Zweikämpfe bestimmen dabei das Spiel (Dost et al, 2015; Kianmarz, 2016). Die sportmotorischen Hauptbelastungsformen Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Beweglichkeit und Koordination bilden dabei die physische Basis fußballspezifischer Leistungsfähigkeit (Steinhöfer, 2008). Ohne diese Grundlage können beispielsweise (bspw.) Technik und Taktik nicht optimal ausgeprägt sein, da für deren Realisierung die physischen Voraussetzungen fehlen. Verheijen (2000) versteht all diese Belastungsformen als Fußballkondition. Seinem Verständnis zufolge werden im Spiel sämtliche physische Parameter angesprochen und gleichzeitig angeregt.

Den konditionellen Fähigkeiten werden demnach im Fußball eine bedeutende Rolle zugeschrieben.

3.1.1 Ausdauer

Ausdauer – als komplexe motorisch-konditionelle Fähigkeit – wird demnach definiert als Fähigkeit, einer sportlichen Belastung physisch und psychisch möglichst lange widerstehen zu können (d.h. eine bestimmte Leistung über möglichst langen Zeitraum aufrechterhalten zu können) und/oder sich nach sportlichen (psychophysischen) Belastungen möglichst rasch zu erholen. (Steinhöfer, 2008, S. 208)

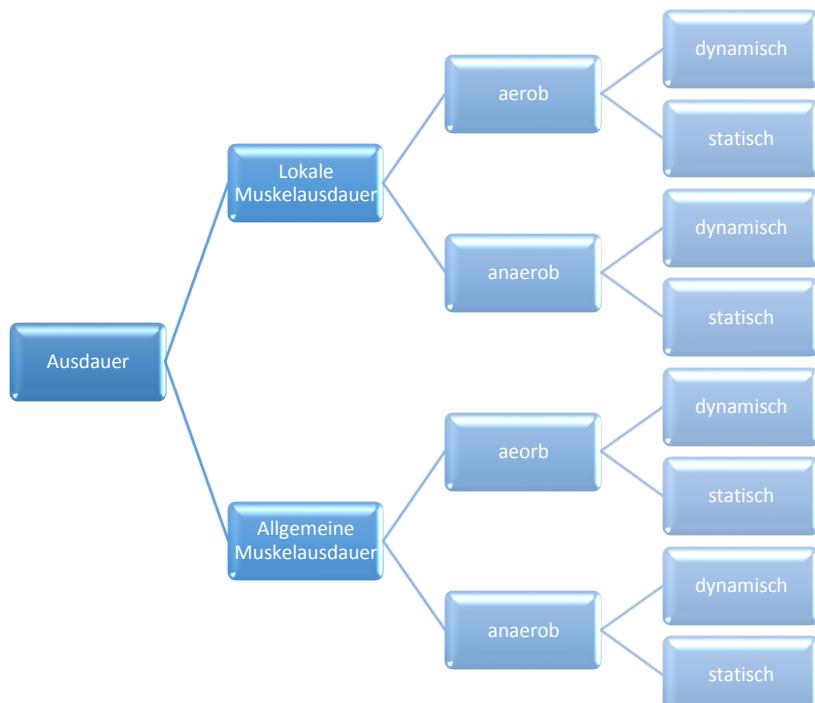


Abbildung 2: Formen der Ausdauer (angelehnt an Eisenhut & Zintl, 2009, S.39)

Die Belastungskomponente Ausdauer ist allgemein durch eine lange Belastungsdauer, die Ermüdungswiderstandsfähigkeit, sowie eine möglichst kurzfristige Regenerationsdauer gekennzeichnet (Steinhöfer, 2008). Die Ausdauerfähigkeit spiegelt sich in verschiedenen Formen wider und lässt sich unterschiedlich strukturieren. Die Unterteilung nach Eisenhut und Zintl (2009), in Abbildung 2 dargestellt, soll einen allgemeinen Überblick

über die Formen der Ausdauer geben. Dabei bilden die beanspruchte Muskulatur, deren Arbeitsweise sowie die Energiebereitstellung die Hauptkriterien.

Eisenhut und Zintl (2009) beschreiben als Kriterien der Ausdauerstrukturierung außerdem Wettkampfdauer in Verbindung mit der damit höchstmöglichen Belastungsintensität. Daraus ergeben sich die Ausdauerformen Kurzzeitausdauer (35-120 sec.), Mittelzeitausdauer (2-10 min), Langzeitausdauer (LZA) I (10-35 min.), LZA II (35-90 min.) und LZA III (90 min.-6h). Auch der Allgemeinheitsgrad und die Spezifik haben große Bedeutung für die jeweilige Sportart. Hierfür sind die Grundlagenausdauer (aerobe Basiskapazität) sowie die spezielle Ausdauer (sportartspezifische aerob-anaerobe Kapazität) die Kenngrößen. Auf Letzteres soll im Folgenden näher eingegangen werden.

3.1.1.1 Anforderungen und Bedeutung der Ausdauer im Fußball

Steinhöfer (2008) macht deutlich, dass der Begriff Ausdauer im Hinblick auf Sportspiele sehr unterschiedliche Ausprägungsformen hat. Weiter führt er an, dass „*entsprechend dem vorliegenden Spielcharakter mit zeitlich und intensitätsmäßig wechselnden Belastungen, Ausdauer in seiner Reinform in keinem Sportspiel vorkommt*“ (Steinhöfer, 2008, S. 223). Unterschiedliche zyklische und azyklische Bewegungswechsel aus Gehen, Stehen, Joggen, Rennen, Sprinten sowie Rückwärts-Seitwärtslaufend prägen im Sportspiel den Intervallcharakter (Mohr, Krustrup & Bangsbo, 2003; Bangsbo, 1993). Es kommt zu einem permanenten Wechsel zwischen aerober und anaerober Energiebereitstellung. Somit spielt für den Fußballspieler neben einer gut ausgeprägten Grundlagenausdauer auch eine azyklische, spezielle Ausdauer eine entscheidende Rolle (Gießing & Schohl, 2009). Dabei beobachten verschiedene Analysen aus dem Leistungsfußball eine Gesamtlaufleistung zwischen circa (ca.) 9000 bis 13000 Meter pro Spiel, abhängig von Spieler und Spielposition (Dost et al, 2015; Kianmarz, 2016). Festzuhalten ist, dass sich die in Tabelle (Tab. 1, S.12) aufgeführte Gesamtlaufstrecke in den letzten zwei Dekaden nicht entscheidend geändert hat. Jedoch hat der Prozentsatz der mit hohen Geschwindigkeiten ($> 15\text{km/h}$) absolvierten Spielanteile zugenommen (Tschan, Baon, Smekal & Bachl, 2001).

Tabelle 1: Literaturbelege für die Untersuchungen zur Gesamtlaufleistung von Fußballspielern (verändert nach Kianmarz, 2016, S.28)

Autor	Jahr	Land	Spielklasse	Gesamtlaufstrecke (km)
Bangsbo	1994	Dänemark	Professional	9,4-10,8
Rienzi et al	2000	Südamerika	Professional	8,64
Strudwick et al	2001	England	Professional	11,3
Moher et al	2003	Dänemark	Profis (N=18)	10,3
Thatcher & Batterham	2004	England	Professional	10,28
Bangsbo et al	2006	Dänemark	Professional	10,0-13
Rampinini et al	2007	Euro-Ligen	Profis (N=18)	10,86
Di Salvo et al	2007	Spanien	Profis (N=300)	11,41±10,2
Barros et al	2007	Brasilien	1 th League Brasilien	10,0
Broich	2009	Deutschland	Professional	10,9
Andrzejewski	2012	UEFA-Cup	Professional	11,3
Radley et al	2013	England	Premier League Championship 1 th Legue	10,7±0,98 11,4±0,83 11,6± 0,74

Durch den bereits beschriebenen deutlichen Anstieg des Leistungsniveaus werden die Aktionsräume für Fußballspieler dementsprechend zunehmend enger. Aktionen müssen daher dynamischer und schneller ausgeführt werden (Spitzenpfeil, Kornmayer & Hartmann, 2004). So dokumentierten Rienzi, Drust, Reilly, Carter und Martin (2000) bei Profispielern durchschnittlich 1431 unterschiedliche Aktionen ohne und mit Ball während eines 90-minütigen Spiels (Tschan , 2001). Dabei wechseln die Bewegungsmuster alle vier bis sechs Sekunden (sec.). Bei den Bewegungen handelt es sich um „10 – 20 Sprints, hochintensive Läufe ca. alle 70 Sekunden, etwa 15 Zweikämpfe, 10 Kopfbälle, 50 Involvierungen mit dem Ball, 30 Pässe und eine Vielzahl von Tempoänderungen, um sich gegnerischen Balleroberungsversuchen zu entziehen und den Ball unter Kontrolle zu bringen“ (Kianmarz, 2016, S.29).

Angelehnt an ältere Forschungsarbeiten von Reilly (1986) und Bangsbo (1994) zeigen Stølen, Chamari, Castagna und Wisløff (2005), dass die Laufintensität während eines Fußballspiels mit 90-minütiger Spieldauer bei ca. 80-90% der maximalen Herzfrequenz (HFmax) liegt. Dabei pendelt sich die Herzfrequenz bei knapp zwei Dritteln (63%) der Spielzeit bei 73 bis 92% ein, während lediglich bei 11% der Spielzeit eine niedrigere Herzfrequenz gemessen wurde. Mehr als 92% der HFmax wurde in den restlichen 26% der offiziellen Spielzeit gemessen. Auf diese Weise präsentiert sich das Fußballspiel als dominant aerob mit einschlägiger anaerober Ausdauerkapazität (Kianmarz, 2016).

Diese Daten erklären die Entwicklung des Fußballsportes hin zu einer offensiven, tempoorientierten Spielweise, mit hohem individuellem Aktionsradius und einer entsprechend hohen Ausdauerleistungsfähigkeit des Einzelspielers. Ist letztere im Allgemeinen und speziellen Bereich schlecht ausgeprägt, wirkt sie sowohl als leistungsdeterminierende Größe, als auch als verletzungsrisikanter Einflussfaktor (Weineck, 2004; Tschan et al, 2001). So ist ein - entsprechend den Anforderungen - gut ausgeprägtes Ausdauerniveau Grundvoraussetzung für:

- die Erhöhung der allgemeinen physischen Leistungsfähigkeit
 - eine verbesserte Regenerationsfähigkeit
 - die Reduzierung von Verletzungen
 - die Steigerung psychischer Belastbarkeit
 - die Verringerung ermüdungsbedingter taktischer und technischer Fehler
- (Weineck, 2004; Tschan, 2001; Gießing & Schohl, 2009)

Durch eine gut ausgebildete fußballspezifische, anerobe Ausdauerfähigkeit profitiert der Spieler von:

- „*einem guten Umgang mit fußballspezifischen Belastungen*
- *einer guten Verträglichkeit von regelmäßigen Tempowechseln während eines Spiels, sowie das Agieren auf konstant hohem Niveau.*
- *einer Ausführung aller fußballspezifischen Fähigkeiten in maximalem Tempo und maximaler Dynamik*“ (Gießing & Schohl, 2009, S.28).

3.1.1.2 Ausdauertraining im Fußball

Das Ausdauertraining im Fußball hat sich enorm gewandelt und entwickelt sich weg von stoischen Langzeit-Ausdauerläufen hin zu spezifischen Inhalten, denn der moderne Fußball legt Wert darauf, den konditionellen Anforderungen im Wettkampf bereits im Training gerecht zu werden. So betont Verheijen, Verfechter von fußballspezifischen Übungsformen, in seinem Handbuch *Fußballkondition* (2000), dass es nicht sinnvoll ist, den physischen Aspekt des Trainings aus dem Fußballkontext zu lösen. Auch andere Autoren

wie Dost et al (2015) oder Jöllenbeck et al (2013) verfolgen diesen Ansatz. Die Ausbildung der azyklischen aeroben Ausdauer erfolgt daher meist durch Technikformen wie Dribbeln, Balltreiben, Pass- oder Schussübungen. Auch Positionsspiele bei entsprechender Spielfeldgröße sind mögliche Alternativen. Je nach Übungsform können unterschiedliche Intensitätsstufen trainiert werden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über mögliche Trainingsmethoden.

Tabelle 2: Trainingsmethoden der azyklischen aeroben Ausdauer im Fußball (verändert nach Verheijen, 2000, S.135f)

	Extensives Dauertraining	Intensives Dauertraining	Extensives Intervalltraining	Fartlek-Training
Dauer	30-90 Min.	30-40 Min. (5x6-5x8 Min.)	30-60 Sek.	2-3 Blöcke von 10-15 Min.
Intensität	50% der max. Belastung	Herzfrequenz (HF) 160-180	HF 170-180	HF 180-Lebensalter
Wiederholungen (Wdhg.)	keine	5	8/Serie (2-5 Serien)	keine
Erholung	keine	5 Min.	45-90 Sek. Wiederholungspause 4-6min. Serienpause	keine

Das Training der azyklischen anaeroben Ausdauer beinhaltet intensive, kurz- bis mittelzeitige Belastungen. Im Wettkampf charakteristisch sind hierfür zum Beispiel (z.B.) Pressing-Situationen oder auch das Umschaltspiel nach Ballverlust. Die Belastungen erfolgt in der Regel (i.d.R.) nicht länger als 30 Sekunden, daher sollten die Trainingsintervalle im intensiven Bereich zeitlich entsprechend angepasst werden, da übersäuernde Belastungssituationen im Fußballspiel atypisch sind. Verheijen (2000) schlägt hierfür auch das Intervall-Tempotraining oder auch das Blocktraining als passende Methoden vor.

Während des Blocktrainings muss in etwa 15 Sekunden maximal intensive Arbeit geleistet werden. Bei insgesamt 4-8 Wiederholungen pro Serie (2-4 Serien) liegt die Wiederholungspause bei 15-30 Sekunden. Die Serienpause beläuft sich auf 4-6 Minuten (Min.). Im Intervall-Tempotraining geht es darum, 45-60 Sekunden Höchstleistung zu erbringen. Bei Intensitäten von 90-100% bei 6-8 Wiederholungen soll sich zwischen der jeweiligen Belastung bis zu fünf Minuten erholt werden.

Die Gegenüberstellung von hochintensivem Intervalltraining und umfangorientiertem Ausdauertraining wurde bereits von zahlreichen Forschungsgruppen (Dost et al, 2015) untersucht. So konnten Stögg, Stieglbauer, Sageder und Müller (2010) nachweisen, dass die positiven Effekte bezüglich der Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität ($VO_2\text{max}$), sowie der Steigerung der Wechselsprintleistung bei 4 mal 4 Minuten Spielformen oder 15"/15"-Intervallen langanhaltend waren.

Spezielle Übungsformen werden an dieser Stelle nicht aufgeführt.

3.1.2 Kraft

Für Steinhöfer (2008) ist die Muskelleistung Grundlage jeder Bewegung, sowohl im Alltag, Berufsleben oder beim Sport. Alle sportlichen Leistungen beruhen auf motorischer Kraft, die als Produkt der Masse und Beschleunigung ($F = m \cdot a$) als physikalische Größe beschrieben wird. Im Kontext des Sports definiert Steinhöfer (2008) die Kraft als

„[...] Fähigkeit des Nerv- Muskelsystems, durch Innervations- und Stoffwechselprozesse Muskelkontraktionen mit mehr als 30 Prozent des spezifischen Kraftmaximums durchzuführen und dabei Widerstände zu überwinden, ihnen nachzugeben oder sie zu halten“ (S.66).

Charakteristisch für die Kraftleistung im Sport sind die unterschiedlichen Arbeitsweisen der Muskulatur bei wechselnder Intensität, Dauer und Dichte der Belastung. Demnach gibt es die reine Kraft als solche im Sport nicht, sondern es treten, wie in Abbildung 3 (S. 16) dargestellt nur bestimmte Arbeitsweisen der Muskulatur auf.

So wird zwischen statischer, isometrischer und dynamischer Kraft, mit ihren jeweiligen Unterformen (konzentrisch, exzentrisch, exzentrisch-konzentrisch) unterschieden.

Ein weiterer essentieller Aspekt ist die Einteilung des Kraftverhaltens nach Erscheinungsformen. Wie Weineck (2004) versteht auch Steinhöfer (2008) die *Maximalkraft* als Basisfähigkeit, da alle weiteren Erscheinungsformen der Kraft vom willkürlich aktivierbaren Kraftpotential abhängig sind. Dieser Basisfähigkeit werden die Subkategorien *Schnellkraft*, *Reaktivkraft*, und *Kraftausdauer* zugeordnet (Tab. 3), welche sich gegenseitig durch eine Wechselbeziehung beeinflussen.

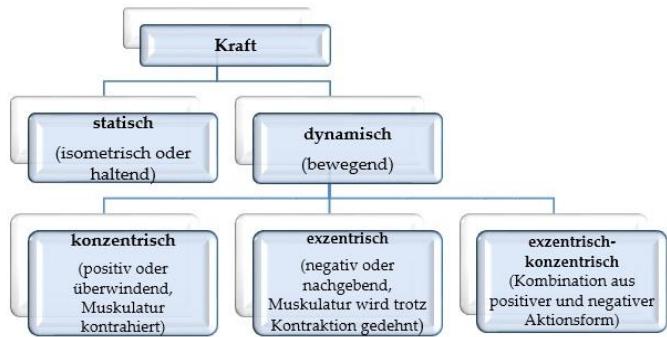


Abbildung 3: Strukturierung der Kraft nach Kontraktionsformen (verändert nach Steinhöfer, 2008)

Tabelle 3: Strukturierung der Kraft (verändert nach Steinhöfer, 2008, S.81)

Basisfähigkeit		Maximalkraft		
Subkategorien	Schnellkraft (statisch, konzentrisch)	Reaktivkraft (exzentrisch-konzentrisch)	Kraftausdauer (statisch/dynamisch)	
Komponenten	*Maximalkraft *Explosivkraft *Startkraft *muskuläre Leistungsfähigkeit	*Maximalkraft *Explosivkraft *Startkraft *reaktive Spannungsfähigkeit	*Maximalkraft *anaerob-alaktazider Stoffwechsel *anaerob-laktazider Stoffwechsel *aerob-glykolytischer Stoffwechsel	

3.1.2.1 Anforderungen und Bedeutung der Kraft im Fußball

In der modernen Trainingsplanung ist das Krafttraining auch im Fußball nicht mehr wegzudenken und wird „wegen seiner Effektivität für die Verbesserung der athletischen Fähigkeiten in das Training nahezu aller Sportarten integriert“ (Gießing & Schohl, 2009, S. 46).

Im Fußball dominieren dynamische und explosive Bewegungen, die sich durch beschleunigende und abbremsende Kraftentfaltungen charakterisieren.

Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer spielen dabei eine entscheidende Rolle. Während der regulären Spielzeit eines Fußballspiels, kommt es zu ca. 50 Richtungswechseln und bis zu 25 ein- oder beidbeinigen Sprüngen (Wissløf, Castagna, Helgerud, Jones & Hoff 2004). Dies stellt hohe Anforderungen an die Muskelarbeit bezüglich Balance, Gelenkstabilisation und Ballkontrolle dar (Eder & Hoffmann, 2006; Hoff, Kähler & Helgerud 2006) – und das permanent, denn Spieler benötigen die Kraft „*im Zusammenhang mit koordinativen Prozessen bei Starts, Sprints, Sprüngen, Dribblings, Schuss- und Kopfballaktionen, bei Tacklings, beim Rempeln und in weiteren Zweikampfsituationen*“ (Bisanz & Gerisch, 2008, S. 123). Fehlt die Kraftbasis, oder ist diese schlecht ausgebildet, beeinträchtigt dies nicht nur Schnellkraft und Schnelligkeit fußballrelevanter Bewegungsabläufe (z.B. bei Sprung, Schuss, Antritte, Finten), sondern hat auch großen Einfluss auf die Körperstabilisation in sämtlichen Bewegungsausführungen. Dies wiederum vermindert wichtige Trainings- und Wettkampfvoraussetzungen und führt langfristig zu Einbußen der sportartspezifischen Leistung sowie zu einem erhöhten Verletzungsrisiko (Steinhöfer, 2008; Weineck, 2004). „*Als Basis für spielspezifische Kraftfähigkeiten und zur Verletzungsprophylaxe ist ein Optimum an Muskelmasse unverzichtbar. Somit erhält das Muskelaufbautraining eine zentrale Funktion im Krafttraining der Spieler*“ (Steinhöfer, 2008, S.67). Allerdings ist es nicht entscheidend, eine maximal mögliche Kraftleistung verbunden mit deutlicher Gewichtszunahme anzustreben, sondern vielmehr die relative Kraft (Kraft/kg Körpergewicht) zu optimieren, um zum Einen die fußballspezifische Leistungsfähigkeit (Schnellkraft, Antritt) zu verbessern, und zum Anderen Verletzungen durch entsprechende muskuläre Symmetrie vorzubeugen (Bisanz & Gerisch, 2008).

Einen signifikanten Zusammenhang zwischen dynamischer Maximalkraft der knieumgreifenden Muskulatur und der Schnellkraft sowie maximale Leistung dokumentierte bereits Holger Broich (2009). Ihm zufolge kann durch entsprechendes Training die Qualität schnellkräftiger Bewegungen entscheidend beeinflusst werden. Auch die Arbeitsgruppe um Wisløff et al (2004) fand heraus, dass eine hohe maximale Kraftfähigkeit (Repetition Maximum = 1RM) in der 90° Kniebeuge mit fußballspezifischen Leistungsparametern wie dem Sprintantritt ($r = 0.94$; $p < 0.001$), Sprintleistungen mit

Richtungswechsel ($r = 0.68$; $p < 0.02$) und der Sprungkraft ($r = 0.78$; $p < 0.02$) korreliert. So spielt für Sprung- und Schnelligkeits- und Agilitätsleistungen im Fußball die Ausbildung des Reaktivkraftvermögens eine entscheidende Rolle. Sie setzt neben der Maximalkraft und der Fähigkeit sich schnell zu kontrahieren vor allem die reaktive Spannungsfähigkeit sowie die Fähigkeit des intermuskulären Zusammenspiels im Muskel voraus (Steinhöfer, 2008). Den positiven Einfluss eines regelmäßig durchgeführten Reaktivkrafttrainings auf die Agilitätsleistung mittels 6-wöchiger Intervention wurden von unterschiedlichen Arbeitsgruppen dokumentiert. So fanden die Forschergruppen Miller, Herniman, Richard, Cheatham & Michael (2006) und auch Váczki, Tollár, Meszler, Juhász und Karsai (2013) heraus, dass systematisches Reaktivkrafttraining die Schnelligkeitsleistung bei Läufen mit Richtungswechsel signifikant verbessert.

3.1.2.2 Krafttraining im Fußball

Ein Grund, Krafttraining im Fußball gezielt einzusetzen, ist mit dem Ausgleich von muskulären Dysbalancen verbunden. Trotz der immensen Bewegungsvielfalt im Fußballspiel, werden sportartspezifische Muskelgruppen oft sehr monoton belastet, was die Entwicklung von muskulären Dysbalancen fördert. Ohne entsprechende Trainingseinheiten, die dieser Entwicklung ausgleichend entgegenarbeitet, können sich Ungleichheiten und daraus resultierend Beschwerdebilder manifestieren. Darunter fallen oftmals Leistenbeschwerden, Rücken- oder Knieschmerzen (Weineck, 2004; Gießing & Schohl, 2009). Als Zentrum der Kraftübertragung ist ein stabiler Rumpf von zentraler Bedeutung, was für Fußballspieler gezieltes Rumpfstabilisationstraining begründet (Steinhöfer, 2008; Barr & Lewindon, 2016).

Ein weiterer Aspekt, der die Bedeutung von Krafttraining für Spielsportler unterstreicht, ist die damit verbundene Leistungsoptimierung, die sich im Fußball vor allem in Schnelligkeit und Explosivität widerspiegelt. Hier ist allen voran die Leistungsfähigkeit in der muskulären Kette der unteren Extremität von Bedeutung. McGill (2006) behauptet, dass alle Teamsportarten ähnlichen fundamentalen Bewegungsmustern unterliegen, wie Formen aus dem Laufen, Ausfallschritte, Kniebeugen, Rotationen, Balancieren oder auch

Druck- und Zugbewegungen. Er versteht daher explizites Krafttraining basierend auf eben diesen fundamentalen Bewegungsmustern als unumgänglich. Diese Vorstellung teilen auch Verheijen (1997; 2000) und Reilly (2007), die es als sinnvoll ansehen, diejenigen Faktoren auszuprägen, die einen leistungsentscheidenden Einfluss gegenüber anderen Sportlern ermöglichen können. Da es meist explosive und schnellkräftige Aktionen sind, die in einem Fußballspiel über Tor oder gewonnene und verlorene Zweikämpfe entscheiden, sollen eben genau diese Fähigkeiten trainiert werden.

Mögliche Übungsinhalte:

- Variationen von Kniebeugen (Stabilisationskraft, Maximalkraft)
- Variationen von Ausfallschritten (Stabilisationskraft, Maximalkraft)
- Variationen von explosive Step-Up-Übungen (Schnellkraft)
- Sprungübungen (Schnell- und Reaktivkraft) (Verheijen, 1997; 2000; Reilly, 2007; Steinhöfer, 2008).

Nachfolgende Tabelle 4 (S.20) soll einen Überblick über das fußballspezifische Krafttraining mit Zielen, Methoden, Inhalten und Belastungskriterien geben.

Im Hinblick auf Verletzungsprävention ist vor allem neuromotorisches Krafttraining von großer Bedeutung. Abschnitt 5.3.1. dieser Arbeit geht detailliert auf diesen Schwerpunkt ein.

Tabelle 4: Strukturmodell des Krafttrainings im Fußball (verändert nach Bisanz & Gerisch, 2008, S.125).

Fußball-Krafttraining			
Stabilisation	(Schnell-) Kraftausdauer	Schnellkraft	Reaktivkraft
ZIELE			
*Allg. Kraftaufbau *Stabilität bei dyn. & statischen Kraftanforderungen *Verletzungsprophylaxe	*Fähigkeit über ein Spiel optimale Kraft- entfaltung für Sprints, Sprünge und Schüsse zu gewährleisten.	*Verbesserung der Antrittsfähigkeit, Sprintbeschleunigung, Sprungkraft, Schuss-kraft	*Verbesserung der Reaktivkraft und Schnellkraft
METHODEN			
*Muskelaufbau mit Elementen der intra- und intermuskulären Koordination	*Wiederholungsmethode	*Methode maximaler Kurzzeitbelastung *Intra- und intermusk. Koordinationstraining	*Plyometrisches Trainingsprinzip
INHALTE			
*Übungen mit eigenem Körperegewicht und Kleingeräten	*Zirkeltraining *mittelschweres Gewichtstraining *Sprint-, Sprung-, Schussserien *Aquatrainings	*Sprints, Sprünge mit/ohne Zusatzgewicht *Aquatrainings	*Sprung-Sprint-Kombinationen *Niedersprünge / Übersprünge
BELASTUNGSSTRUKTUR			
Intensität: mittel Wdhg.: 8-20 Serie: 2-6 Pause 2 min	Intensität: mittel Wdhg.: 15-30 Serien: 2-4 Pause: 3 min	Intensität: submax. bis max. Bewegungstempo Wdhg.: 2-8 Serien: 2-6 Pause: 2-4 min	Intensität: maximal Wdhg.: 4-8 Serien: 2-4 Pausend: 2-5 min

3.1.3 Schnelligkeit

Schnelligkeit als komplexe sportmotorische Fähigkeit kann weder den konditionellen noch den koordinativen Leistungsanforderungen eindeutig zugeordnet werden. Ihr liegen sowohl energetische Prozesse als auch andere zentralnervöse Steuerungsprozesse zu Grunde. Die Ausprägungsformen der Schnelligkeit interagieren sowohl mit konditionellen (Kraft, Schnellkraft), als auch mit koordinativen

Leistungsvoraussetzungen (Koordination / Technik). Allgemein wird Schnelligkeit definiert als eine „*konditionell-koordinativ determinierte Leistungsvoraussetzung, auf Reize bzw. Signale in kürzest möglicher Zeit zu reagieren und/oder zyklische bzw. azyklische Bewegungen bei geringen Widerständen in höchster Geschwindigkeit durchzuführen*“ (Steinhöfer, 2008, S. 172).

Unterschieden werden die Schnelligkeitsausprägungen in Reaktions- und Bewegungsschnelligkeit, wie in Abbildung 4 verdeutlicht.

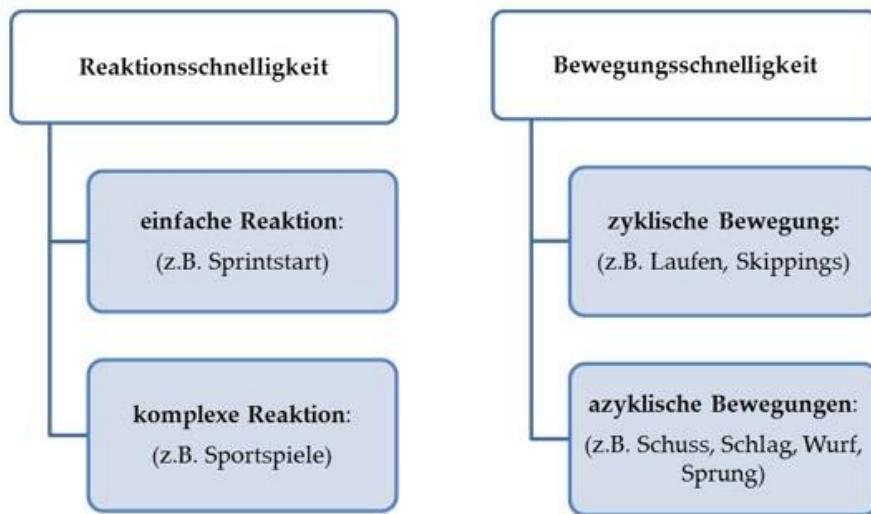


Abbildung 4: Schnelligkeitseinteilung (verändert nach Steinhöfer, 2008, S.173)

Steinhöfer (2008) setzt hinsichtlich der Bewegungsschnelligkeit geringe Widerstände voraus, sodass die elementaren Schnelligkeitsfähigkeiten (neuromuskuläre Steuerungsprozesse) leistungsbestimmend sind. Das heißt, es kann nur dann von Schnelligkeitsleistungen gesprochen werden, wenn die Anforderungen an die Kraftfähigkeit z.B. unter 30% des möglichen Maximums der bewegungsspezifisch entwickelbaren Kraft liegen. Das reine Auftreten von Schnelligkeitsleistungen ist im Sport selten. Weder in der Schnelligkeitsdisziplin schlechthin - dem Sprint - noch bei azyklischen, schnelligkeitsgeprägten Aktionen in den Sportspielen (z.B. Schüsse, Sprünge) kann auf Kraft-, bzw. Schnellkraftfähigkeiten verzichtet werden.

3.1.3.1 Anforderungen und Bedeutung der Schnelligkeit im Fußball

Die Schnelligkeit als Leistungsfaktor hat im modernen Fußball eine herausragende Bedeutung. Alle Spielaktionen haben aktiv wie auch reaktiv einen hohen Anspruch auf die Schnelligkeitsfähigkeit. Das Lösen vom Gegenspieler, Antritte, die abgebrochen werden müssen, Sprints mit Richtungsänderungen, Sprünge – auch in Kombination mit Anschlusshandlung - Dribblings und Zweikämpfe, spiegeln allesamt komplexe Schnelligkeitsfähigkeiten wider und sind dann erfolgreich, wenn sie schnell erfolgen. Schnabel, Haare und Krug (2008) erweitern dabei die entscheidenden Leistungskomponenten und verstehen neben der Bewegungs- und Reaktionsschnelligkeit auch die Handlungs-, Wahrnehmungs- und Antizipationsschnelligkeit als leistungsrelevante Aspekte. Ähnliche Ansätze verfolgen auch Weineck (2004), Bisanz und Gerisch (2008) und auch Dost et al (2015), welche nicht ohne Grund die Erweiterung der Teilsfähigkeiten der Komponente Schnelligkeit um die Entscheidungs- und Wahrnehmungsschnelligkeit vorschlagen (Tab. 5).

Tabelle 5: Teilsfähigkeiten der Schnelligkeit eines Fußballspielers (verändert nach Dost et al, 2015, S.42)

Die Schnelligkeit eines Fußballspielers wird bestimmt durch:	
Handlungsschnelligkeit z.B. bei einem 3:3 im kleinen Raum	So schnell wie möglich und wirksam zusammenspielen (technisch-taktische und konditionelle Voraussetzungen).
Aktionsschnelligkeit mit dem Ball	Mit einer höchstmöglichen Schnelligkeit Aktionen mit dem Ball durchführen.
Bewegungsschnelligkeit Ohne Ball, beschleunigen und abbremsen	So schnell wie möglich zyklische und azyklische Aktionen ohne Ball ausführen (sprinten, abbremsen, wenden, umkehren).
Reaktionsschnelligkeit (z.B Reaktionsspiele mit dem Partner)	Schnell auf überraschende Aktionen reagieren (Ball, Gegen- und Mitspieler).
Entscheidungsschnelligkeit (z.B. durch viele große und kleine Positionsspiele und spezielle Spielsituationen)	In einer möglichst kurzen Zeit die adäquate Entscheidung aus einer Vielzahl von Möglichkeiten treffen.
Antizipationsschnelligkeit (z.B. durch eine verbesserte Spielkenntnis im Sinne der Ausübung und Reflexion einer Vielfalt von Spielsituationen)	Schnelle Vorwegnahme der Spielentwicklung.
Wahrnehmungsschnelligkeit (z.B. durch ein Training bekannter und unbekannter Spielsituationen)	Mithilfe auditiver und visueller Informationen die aktuelle Spielsituation schnell einschätzen können.

Direkt beobachtbare Komponenten der Schnelligkeit sind die Formen der Aktions-, bzw. Bewegungsschnelligkeit. Letztere lässt sich wiederum in Schnelligkeitsausdauer, Sprintausdauer und Antrittsschnelligkeit unterteilen. Für den Fußball ist vor allem eine gut ausgeprägte Sprintausdauer entscheidend. Diese beschreibt die Fähigkeit, eine relevante Anzahl von Sprintleistungen zu absolvieren, ohne nennenswerte Abnahme der Antrittsschnelligkeit (Verheijen, 2000). Reilly, Bangsbo und Franks (2000) betrachten Sprints als dominierende Aktionen im Fußball, da sie wesentlich zum Ballgewinn, zur Ballverteidigung sowie zum Torerfolg und der Abwehr von Toren beitragen.

Sprintstrecken jenseits der 30m fallen dagegen während eines Fußballspiels nur selten an (Tab. 6).

Tabelle 6: Übersicht über die Sprintarbeit von Fußballspielern pro Distanzintervall (verändert nach Verheijen, 2000, S.24)

	Gesamte Sprintdistanz	Gesamte Anzahl Aktionen	1-5m	5-10m	10-20m	20-30m	30-40m	>40m	Höchstdistanz
Defense									
1.Liga	1,4km	162	83	47	18	8	4	2	56m
Hauptliga	0,7km	111	71	22	10	4	3	1	49m
2.Klasse	0,5km	62	33	14	8	3	2	2	62m
5.Klasse	0,3km	48	28	11	5	3	1	-	36m
A-Jun	0,9km	101	54	24	12	6	3	3	54m
Midfield									
1.Liga	1,1km	127	70	31	11	6	6	3	63m
Hauptliga	0,7km	92	59	12	9	5	4	3	56m
2.Klasse	0,6km	69	44	11	5	3	4	2	66m
5.Klasse	0,3km	51	35	6	4	4	1	1	48m
A-Jun	0,8km	94	57	14	11	6	4	2	66m
Ofense									
1.Liga	1,8km	193	76	59	28	14	4	2	53m
Hauptliga	1,2km	127	67	32	16	7	3	2	56m
2.Klasse	0,9km	99	52	26	13	4	2	2	55m
5.Klasse	0,5km	66	41	12	10	3	-	1	49m
A-Jun	1,4km	134	54	47	21	8	3	1	51m

Auch neuere Studien belegen, dass Sprintdistanzen nach durchschnittlich 17 – 20m beendet sind (Di Salvo, Baron & Tschan, 2007). Rehhagel (2011) beobachtete bei der Analyse von 6 Profispiele (Abb.5, S.24), dass der überwiegende Teil an Schnelligkeitsaktionen „unter 10m bzw. zwischen 10 und 20m liegt, so dass der weit

überwiegende Teil (584 bzw. 84%) aller beobachteten Schnelligkeitsaktionen ($n = 699$) spätestens nach 20m beendet ist“ (Rehhagel, 2011, S.89).

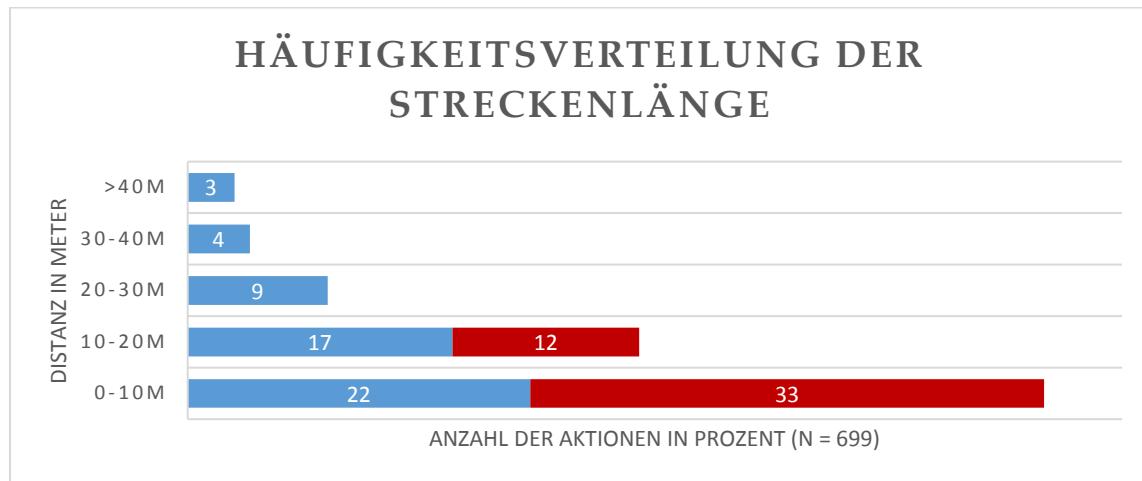


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Streckenlänge aller Schnelligkeitsaktionen (verändert nach Rehhagel, 2011, S.89)

Dabei ist die Anzahl der Schnelligkeitsaktionen laut Rehhagel (2011) in den ersten 45 Min. (374) um 30% höher als in der zweiten Spielhälfte (287) und nimmt innerhalb des jeweiligen Spielabschnitts stetig ab. Die Schnelligkeitsaktionen beginnen mit 81% überwiegend im Anschluss an eine Auftaktbewegung (z.B. Gehen, Traben, Laufen), in 19% der Fälle sprinten Spieler direkt aus dem Stand. Im Rahmen einer Spielanalyse, bei der sechs Spiele beobachtet wurden, stellte wiederum Rehhagel (2011) 271 Richtungswechsel während der Schnelligkeitsaktion fest, wobei veränderte Laufrichtung um 45° den größten Anteil hatte (105). Um 90° wurde die Richtung bei einem Drittel (89) der Aktionen geändert, während Änderungen um 135° (33) und um ca. 180° (44) seltener vorkamen.

3.1.3.2 Schnelligkeitstraining im Fußball

Angepasst an die Forderungen, die der Fußball an die Schnelligkeitsfähigkeit hat, muss das Training auch dem entsprechend konzipiert und gesteuert werden.

Steinhöfer (2008) schlägt hierfür unterschiedliche Hauptzielsetzungen eines sportartspezifischen Schnelligkeitstrainings vor. Wichtig ist demnach die Verbesserung

der zyklischen Bewegungsschnelligkeit, v.a. auf den ersten Metern (Antrittsschnelligkeit). Weiter zielt das Schnelligkeitstraining im Fußball auf eine Verbesserung der azyklischen Bewegungsschnelligkeit und auf eine Optimierung der Reaktionsschnelligkeit bei komplexen Reaktionen ab. Ein weiterer wichtiger Aspekt innerhalb der Zielsetzung des fußballspezifischen Schnelligkeitstrainings ist die Verbesserung der Ermüdungswiderstandsfähigkeit gegenüber häufig wiederholten Schnellkraftleistungen azyklischer und zyklischer Art. Es ist im Spiel enorm wichtig, auch in der 90. Spielminute noch schnelle Aktionen im Spiel generieren zu können.

Auch Verheijen (1997; 2000) unterstreicht die komplexen Aspekte des Schnelligkeitstraining. Fußballcharakteristisches Sprinttraining muss ihm Zufolge alle Phasen des Sprintens berücksichtigen. Dabei werden jeder Phase eigene Merkmale zugeschrieben, die im Training entsprechend berücksichtigt werden müssen. Folgende Ansätze sind bereits in der Praxis zu beobachten:

Antrittsschnelligkeit – Training der Antritts-/Sprintkraft

Verheijen (1997) dokumentiert, dass „*der größte Nutzen bei der Verbesserung der Antrittsschnelligkeit aus dem ersten Sprintschritt zu erzielen ist*“ (S.118). Im Training muss diesbezüglich der Schwerpunkt auf die Kraftentwicklung in den ersten Abstoßschritten liegen. Neben einer Verbesserung der Explosivkraft im Bereich des Krafttrainings sind vor allem Sprintübungen aus dem Stand hierfür am besten geeignet. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das Generieren maximaler Intensität bei jedem Sprint (Verheijen, 1997; Steinhöfer, 2008).

Beschleunigungsvermögen

Beim Beschleunigungstraining werden Streckenlängen zwischen 15-40m gewählt (Verheijen, 1997; 2000; Steinhöfer, 2008). Ziel ist es, so schnell wie möglich maximale Geschwindigkeit zu erreichen. Entscheidend hierfür ist die Schrittfrequenz, die unter anderem (u.a.) mit Hilfe von Koordinationsübungen trainierbar ist. Im Gegensatz zum Training der Antrittsschnelligkeit, wird das Beschleunigungsvermögen nicht aus dem Stand trainiert, sondern über einem fliegenden Start. Der Körper beschleunigt demnach

nicht explosiv, was viel Kraft kostet, sondern allmählich. Um das Beschleunigungstraining für die speziellen Anforderungen im Fußballsport nutzen zu können, müssen lineare Läufe mit Wendeläufen variiert werden, wie in Abbildung 6 beispielhaft dargestellt. Aber auch die Art und Weise der Beschleunigung, abhängig von der Wettkampfsituation, spielt eine wesentliche Rolle. Ohne Ball hat der Spieler die Möglichkeit, mit großen Schritten Geschwindigkeit aufzubauen, während er den Ball führend dies nur über kleinere Schritte realisieren kann. Hindernisse oder Bodenmarkierungen können im Training die Schrittänge vorgeben, wodurch der Spieler gezwungen ist, Schnelligkeit mit unterschiedlichen Schrittängen zu entwickeln (Verheijen, 1997).

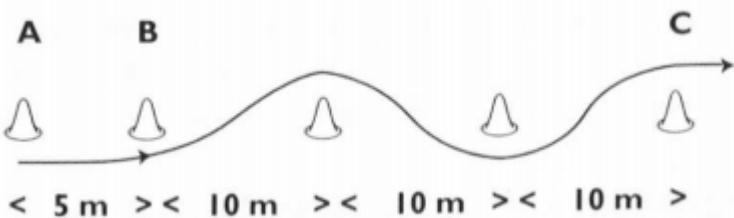


Abbildung 6: Beschleunigung mit Wendungen (Verheijen, 1997, S.119).

Supramaximales Schnelligkeitstraining / Das Durchbrechen der Schnelligkeitsbarriere

Im Schnelligkeitstraining ist ganz klar die Erhöhung der Schnelligkeit ohne Einbußen der Bewegungssicherheit das Ziel. Dies sind auf dem ersten Blick zwei Zielsetzungen, die sich zunächst auszuschließen scheinen. Sowohl die biologischen Voraussetzungen als auch die zunehmende Stabilisierung der Bewegungssicherheit können die Weiterentwicklung der Geschwindigkeitsausprägung einschränken. Dies wird Geschwindigkeits- oder Schnelligkeitsbarriere genannt. Für das Beschleunigungsvermögen ist hierfür mitunter die Nervenleitgeschwindigkeit verantwortlich. Je größer diese Leitgeschwindigkeit, desto schneller können Sprintschritte generalisiert werden. Das Überwinden bestehender Zeitprogramme der Leitfähigkeit kann durch bestimmte Übungsmethoden begünstigt werden. Hierzu gehören z.B. Bergläufe, Zugläufe an Zugmaschinen, Windschattenläufe oder Läufe an entlastenden Maschinen (Verheijen, 1997; Walz, 2000; Schlumberger, 2006; Steinhöfer, 2008). Für den Trainingsalltag ist dabei die Bergablauf-Variante eine gute Option. Hier ist zu darauf zu achten, dass der Hügel nicht zu steil ist, sodass ein technisch korrekter Laufstil gewährleistet bleibt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist eine unmittelbar folgende Übertragung der Bewegungsfrequenz auf eine ebene Fläche.

Schnelligkeitsausdauer

Es sind eher Einzelfälle, in denen Fußballspieler mehr als 60-70 Meter sprinten müssen (Verheijen, 1997; Steinhöfer, 2008). Dennoch kann es spielsentscheidend sein, über eine längere Distanz die Sprintgeschwindigkeit so lange wie möglich aufrecht zu erhalten. Das gezielte Training der Schnelligkeitsausdauer im Rahmen des Fußballsports sollte dabei nicht als stoischer linearer Lauf erfolgen, sondern auch hier müssen spezifische Elemente (Wenden, Kurven) aus dem Fußball in die Übungsformen integriert werden. Verheijen (1997) fordert unbedingt die Einhaltung der Prinzipien des Sprinttrainings der angewandten Trainingswissenschaft einzuhalten, da sich gezeigt hat, dass für die optimale Entwicklung der Schnelligkeit und Schnelligkeitsausdauer Wiederholungs- und Serienpausen von großer Bedeutung sind. Abbildung 7 zeigt eine mögliche Trainingsmethode samt Übungsform:

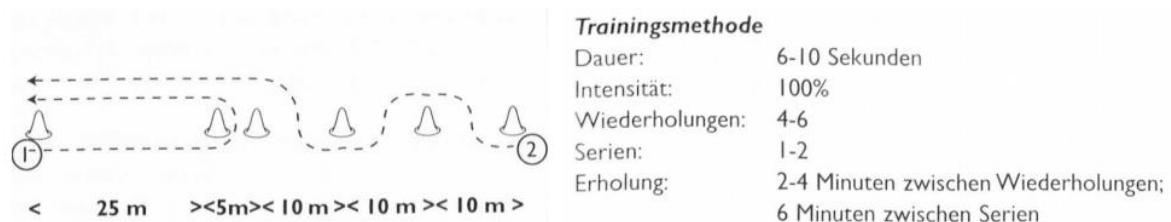


Abbildung 7: Übungsform und Methodik zum Schnelligkeitsausdauertraining (Verheijen, 1997. S.121)

Sprintvermögen

Charakteristisch für den Fußball sind häufige und kurze Sprints, oftmals mit wenig Regenerationszeit zwischen den Belastungen. Je besser die Regenerationsfähigkeit zwischen den Antritten und Sprints, desto effektiver die Ermüdungswiderstandsfähigkeit gegen sich wiederholenden Sprintbelastungen. Leistungsentscheidend ist demnach mitunter die zyklische Sprintkraftausdauer. Im Trainingsablauf finden sich hierfür Übungsmethoden wieder, bei denen wiederholt zyklische Antritte mit relativ kurzen Wiederholungspausen geschaltet werden (Intervallprinzip; z.B. 6-10 Wdhg., 1-2sec. Belastung, 10 sec. Pause). (Verheijen, 1997). Auch *Ins-and-outs*-Läufe mit wiederholt kurzem Antritt mit Trabpausen (Steinhöfer, 2008) haben sich bewährt. Entscheidend ist,

dass vor allem sportartspezifische Übungen gewählt werden. Übungs- und Spielformen mit und ohne Ball, multidirektionale Sprints, sowie technik- oder taktikorientierte Aufgabenstellungen mit der adäquaten Belastungsdosierung gelten als vielversprechend (Verheijen, 1997; Steinhöfer, 2008).

Im Hinblick auf die Trainingssteuerung ist außerdem die zeitliche Einordnung der Schnelligkeitskomponenten sorgfältig zu wählen (Tab. 7). Während beim Training von Antrittsschnelligkeit sowie Beschleunigungsvermögen eine körperliche Vorermüdung vermieden werden soll, ist diese beim Sprintvermögen mit kurzen Intervallen sogar erwünscht. Bei der Schnelligkeitsausdauer geht es darum, das Sprinten im Ermüdungszustand zu trainieren. Bei der zeitlichen Einordnung in eine Trainingseinheit muss die maximale Sprintgeschwindigkeit ermöglicht bzw. sichergestellt, und deswegen die körperliche Verfassung/ Physis des Athleten berücksichtigt werden (Verheijen, 1997).

Tabelle 7: Planung des Sprinttrainings (angepasst an Verheijen, 1997, S.122)

Antrittsschnelligkeit	Beschleunigungsvermögen	Schnelligkeitsausdauer	Sprintvermögen bei kurzen Intervallen
zeitliche Einordnung	Trainingsbeginn	Trainingsbeginn	Mitte der Trainingseinheit

3.1.4 Beweglichkeit

Betrachtet man die Bewegungsmuster eines Spielers während des laufenden Spiels genauer, fällt auf, dass vielseitige Wettkampfbeanspruchungen spezielle Beweglichkeitsfähigkeiten erforderlich machen. Unter Beweglichkeit versteht Steinhöfer (2008) allgemein „*die körperliche Fähigkeit, Bewegungen mit großen Schwingungsweiten (Bewegungsamplituden) in den Gelenken und Gelenksystemen auszuführen*“ (S. 262). Entscheidend dafür sind sowohl elastische Eigenschaften der Muskeln, Sehnen und Bändern, als auch die anatomisch gegebenen Bewegungsspielräume in den Gelenken (Weineck, 2004; Martin, Carl & Lehnertz, 2001).

Grundsätzlich wird zwischen *allgemeiner* und *spezieller*, *aktiver* und *passiver* sowie *statischer* und *dynamischer* Beweglichkeit unterschieden (Klee & Wiemann, 2005). Die *allgemeine*

Beweglichkeit beschreibt dabei die Beweglichkeit der primär wichtigen Gelenksystemen (Schulter, Hüfte und Wirbelsäule) auf ausreichendem Niveau, um den Alltag und allgemeine sportliche Betätigungen zu bewältigen. Die *spezielle Beweglichkeit* hingegen bezieht sich dagegen auf sportartspezifische Bewegungsmuster und die dafür benötigte Beweglichkeit in bestimmten Gelenken. Weiter definiert sich die *aktive Beweglichkeit* über die größtmögliche Bewegungsamplitude in einem Gelenk, die der Sportler unter willkürlicher Kontraktion der Agonisten/Synergisten bei gleichzeitiger Hemmung der Antagonisten realisieren kann. Diese Form der Beweglichkeit ist stets kleiner als die *passive Beweglichkeit*, bei der äußere Kräfte (Partner, Zuggeräte etc.) die Bewegungsamplitude fordern. Die Bedeutung der *statischen Beweglichkeit*, bei der es darum geht, eine endgradige Gelenkposition zu halten, spielt im Fußball dagegen keine entscheidende Rolle (Weineck, 2004). Die dynamische Beweglichkeit, in welcher, laut Martin, Carl und Lehnertz (2001), bestimmte Gelenkstellungen nur für kurze Zeit eingenommen werden und sich daraus wieder rausbewegt wird, hat im Sportspiel Fußball größere Bedeutung.

3.1.4.1 Anforderungen und Bedeutung der Beweglichkeit im Fußball

Die motorisch vielfältigen Bewegungsmuster im Fußball erfordern von den Spielern eine spezifisch ausgebildete Beweglichkeit. Sie entscheidet mitunter über die Leistungsfähigkeit (Bisanz & Gerisch, 2008).

Schnabel, Harre und Krug (2008) sehen in der Beweglichkeit die „*Voraussetzung für die Realisierung und damit für das Erlernen sportlicher Techniken, einschließlich des Erreichens der erforderlichen Bewegungspräzision [...]*“ (S.150).

Beweglichkeitsdefizite wirken sich auf die gesamte konditionelle Leistungsstruktur aus. Die Ökonomie des Bewegungsablaufes geht durch mangelnde Beweglichkeit verloren, worunter auch die Leistungsfähigkeit leidet (Klee & Wiemann, 2005; Steinhöfer, 2008; Reinhold, 2008). Unzureichend elastische Muskulatur verhindert den optimalen Bewegungsfluss, daraus resultieren Defizite in Kraft- und Schnelligkeitsfähigkeiten. So ist eine optimale Kraftentfaltung nicht mehr gewährleistet und auch die Schnelligkeit erfährt Leistungsdefizite, da diese „*einen freien Gelenkspielraum und schnell innervierende Muskeln*

ohne antagonistische Beeinträchtigungen verlangt“ (Bisanz & Gerisch, S. 252). Weiter ist eine unzureichende Mobilitätsfähigkeit der Muskulatur häufiger Verletzungsindikator. Allen voran die ischiocrurale Muskulatur sowie die Adduktorengruppe sind die am meisten verletzungsgefährdeten Muskelgruppen eines Fußballspielers, da diese häufig unterentwickelt sind (Reilly, 1996; Reinhold, 2008).

Reinhold (2008) veranschaulichte die Beweglichkeitsaspekte im Fußball wie folgt (Abb. 8):

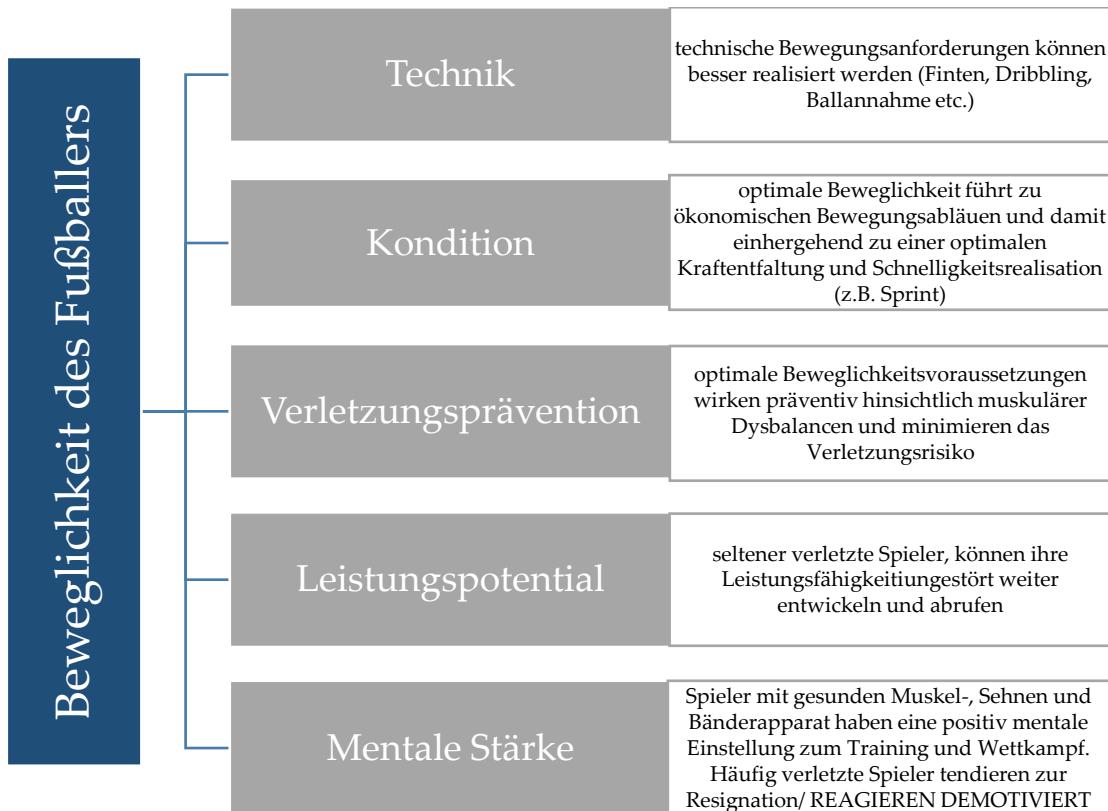


Abbildung 8: Überblick über Beweglichkeitsaspekte im Fußball (verändert nach Reinhold, 2008, S.20)

Zusammenfassend wirkt sich optimierte Beweglichkeit positiv auf folgende Merkmale aus:

- Verbesserung fußballspezifischer Technik und Koordination
- Ökonomisierung des Bewegungsablaufs
- Optimale Kraftentfaltung und Schnelligkeitsrealisation
- Verringerung der Verletzungsanfälligkeit

- Prävention von muskulären Dysbalancen (Bisanz & Gerisch, 2008; Freiwald & Engelhardt 2001; Anrich, 2002)

3.1.4.2 Beweglichkeitstraining im Fußball

Speziell auf das Beweglichkeitstraining im Rahmen eines sportartspezifischen präventiven Trainingsprogramms wird in Abschnitt 5.3.3. inhaltlich detailliert eingegangen. Dennoch sollen wichtige Prinzipien und Überlegungen zum Thema Beweglichkeitstraining im Fußball vorangestellt werden.

Als unmittelbare Vorbereitung auf einen Wettkampf oder auch eine Trainingseinheit darf Beweglichkeitstraining auf keinen Fall „*zu einer Verschlechterung der sportlichen Leistung führen*“ (Steinhöfer, 2008, S.282). Nicht alle Dehnmethoden werden dieser Anforderung gerecht. So wird zum Beispiel dem statischen Dehnen als unmittelbare Wettkampfvorbereitung in der Fachliteratur nachgesagt, dass es zu einer Reduktion von Explosivität und Schnelligkeit - und damit einhergehend - zu Leistungseinbußen führt (Güllisch & Schmidbleicher, 1999; McMillan, Moore, Hatler & Taylor, 2006; Hillebrecht, Robin & Böckmann, 2007; Gelen, 2010). Langfristig angesetzt konnten allerdings auch für den Fußball positive Aspekte festgestellt werden. So sehen Wiemann und Klee (2000) und auch Freiwald (2006) Langzeit-Dehnprogramme inklusive statischen Dehnmethoden insofern als gewinnbringend für die Leistungsfähigkeit an, da damit folgende Effekte erzielt werden können:

- Verstärkung und Festigung der Muskelfibrillen
- Verbesserung der Gewebegleitfähigkeit, sowie der Dehnbelastungsfähigkeit
- Vergrößerung der Gelenkreichweite
- Verringerung der Verletzungsanfälligkeit
- Verbesserung der Funktionalität

Es ist schlussfolgernd festzuhalten, dass bei der Auswahl der Dehn- oder Mobilisationsübungen „*eine systematische langfristige Vorbereitung auf die Sportart und eine kurzfristige Vorbereitung auf den Wettkampf oder das Training*“ unterschieden werden muss (Steinhöfer, 2008, S.283).

3.1.5 Agilität und Gewandtheit

Agilität als zentrale Leistungsfähigkeit gewinnt im modernen Athletiktraining mehr und mehr an Bedeutung. Unter Agilität versteht Reilly (1996) die Fähigkeit, Bewegungsrichtungen des Körpers abrupt zu wechseln. Ähnlich beschreibt Graham (2014) Agilität als „*Fähigkeit, explosiv antreten zu können, abzubremsen, seine Laufrichtung zu ändern und erneut anzutreten*“ (S.1). Für Radcliffe und Thies (2014) gehört dazu auch „*die Fähigkeit, die Körperhaltung und die Spielposition zu verändern und/oder Hindernisse in ausbalancierter Körperhaltung schnell und präzise zum umgehen*“ (S.21). Agilität ergibt sich somit aus der Kombination von Kraft, Schnelligkeit, Koordination und Gleichgewicht (Draper & Lancaster, 1985), und wird von „*kognitiven Komponenten des visuellen Erfassens von Situationen und des Entscheidens, die bei der Agilitätsleistung im Sport mitwirken (reaktive Agilität) [ergänzt]*“ (Schmidlein, Kotkowski & Kurz, 2014, S.138).

Im gleichen Atemzug thematisieren die Autoren auch die Subkategorie der reaktiven Agilität, also kurze Sprints mit reaktiven Richtungsänderungen als Reaktion auf externe Reize und veränderte Spielsituationen. Verstegen und Marcello (2001) schreiben der Agilitätsfähigkeit in diesem Zusammenhang sehr viele unterschiedliche Eigenschaften zu, die in Abbildung 9 veranschaulicht werden.



Abbildung 9: Komponenten der Agilität (modifiziert nach Verstegen & Marcello, 2001)

Buttifinant, Graham und Cross (2002) kritisieren, dass Agilität oft als Synonym für den Begriff der Schnelligkeit genannt wird. Ihnen zufolge bildet Agilität jedoch einen eigenen Leistungsparameter. Beim Vergleich eines Gewandtheitstests mit einem linearen Sprinttest (jeweils über 20 Meter) ließ sich kein entscheidender Zusammenhang zwischen linearer Sprintfähigkeit und Gewandtheit bei einem Zeittransfer von 10% von Gewandtheit zu Schnelligkeit (umgekehrt 4%) erkennen. Einen geringen Transferwert bestätigen auch die Forschergruppe Little und Williams (2005).

Noch strenger verstehen Nimphius, Callaghan, Bezodis und Lockie (2017) in Anlehnung an Sheppard und Young (2006) Agilität als benötigte Fähigkeiten und Voraussetzungen, Geschwindigkeit und Richtung zu ändern, während das Ereignis der tatsächlichen Richtungsänderung als *Change of Direction (COD)* eine spezielle Aufmerksamkeit erfährt.

3.1.5.1 Anforderungen und Bedeutung der Agilität im Fußball

Fußballspieler führen im Spiel alle 2-4 Sekunden eine Richtungsänderung durch. Daraus resultieren 1200-1400 COD pro Spiel. Die Fähigkeit aus einem Sprint heraus schnelle, stabile und zielstrebig Richtungswechsel durchzuführen kann spielerentscheidend sein und unterstreicht damit die Bedeutung einer optimalen Entwicklung dieser Leistungskomponente (Verheijen, 1997; Bangsbo, 1992; Little & Williams, 2005). Neben der reinen körperlichen Fähigkeit zu Richtungswechsel oder COD-Bewegungen kommen perzeptiv-kognitive Fähigkeiten, auf gewisse Reize (Verhalten des Verteidigers/Angreifers oder abprallende Bälle) adäquat zu reagieren (Nimphius, 2016). Der Spieler muss der Situation entsprechend in der Lage sein, „*die Geschwindigkeit in alle Richtungen oder in jede Körperorientierung (vorwärts, rückwärts, seitwärts, diagonal) zu erzeugen*“ (Schmidlein, Kotkowski & Kurz, 2014). Diese Fertigkeit wird auch Multi-Directional-Speed (MDS) genannt, und gewährleistet die Kontrolle der Geschwindigkeiten in alle Richtungen.

3.1.5.2 Agilitätstraining im Fußball

Die im Abschnitt 3.1.5. dargestellten Eigenschaften von Agilitätsfähigkeit müssen in entsprechenden Trainingsprogrammen berücksichtigt werden. Gambetta (2007) unterscheidet diesbezüglich sieben Hauptkomponenten des Agilitätstrainings. Darunter fallen Körperkontrolle und Eigenwahrnehmung, die Wahrnehmungs- und Reaktionsfähigkeit, der Start (first step quickness) inklusive Beschleunigung, schnelle Fußarbeit und Richtungswechsel sowie das Abstoppen und Abbremsen.

3.1.6 Koordination

Mit dem Begriff der Koordination befasst sich die Literatur in einer Vielzahl von Büchern. Dabei rückte auch die Frage nach Koordination speziell im Fußball die letzten Jahre immer mehr in den Fokus. Die Erkenntnisse aus der Trainingswissenschaft, dass eine bestmögliche Körper- und Ballbeherrschung Voraussetzung für Spitzenleistungen im Fußball darstellt, machen sich viele Profimannschaften zu Nutze. Inzwischen legen immer mehr großen Wert auf eine optimale koordinativ-technische Ausbildung (Buschmann, Bussmann & Pabst, 2009).

Dabei lassen sich recht unterschiedliche Definitionsversuche für den Begriff Koordination finden. Steinhöfer (2008) orientiert sich dabei an Hollmann und Hettinger (1990) und definiert Koordination als „[...] *Zusammenwirken von Zentralnervensystem und Skelettmuskulatur innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufes [...]*“ (Steinhöfer, 2008, S. 21).

Die koordinativen Fähigkeiten sind grob in Steuerungs-, Adoptions- und motorische Lernfähigkeit unterteilt. Die Steuerungsfähigkeit regelt dabei den Bewegungsprozess, um Bewegungsmuster mit hoher Genauigkeit und Ökonomie durchzuführen. Sich situativen Veränderungen anzupassen bedarf einer gut ausgebildeten Adoptionsfähigkeit. Bei der motorischen Lernfähigkeit kommt es insgesamt darauf an, Informationen aufzunehmen, sie zu verarbeiten und zu speichern, denn je besser diese einzelnen Prozesse funktionieren, desto flexibler kann sie ein Sportler bei unterschiedlichsten technischen, taktischen und konditionellen Anforderungen anwenden (Drobe, 2008).

Innerhalb dieses fähigkeitsorientierten Ansatzes sollen speziell ausdifferenzierte Fähigkeiten relativ unabhängige und somit abgrenzbare Merkmale repräsentieren. Insgesamt haben sich sieben spezielle Fähigkeiten herauskristallisiert, die in der Trainingswissenschaft beschrieben werden: Differenzierungs-, Kopplungs-, Rhythmisierungs-, Orientierungs-, Reaktions-, Umstellungs- und Gleichgewichtsfähigkeit. Die genaue Beschreibung wird in Abschnitt 3.1.6.1., angepasst an koordinative Anforderungen, näher erläutert (Steinhöfer, 2008).

Die Koordinationsfähigkeit darf und kann innerhalb der Sportpraxis nicht isoliert betrachtet werden. Konditionelle und koordinative Fähigkeiten bedingen sich bei jeder Bewegungsausführung gegenseitig. So ist die Schnelligkeit beispielsweise im hohen Maß von koordinativen Anteilen mitbestimmt. Bezugspunkt hierbei sind muskelphysiologische Vorgänge. Buschmann, Bussmann und Papst (2009) u.a. unterscheidet dabei zwei Arten von koordinativen Fähigkeiten. Zum einen die Intramuskuläre Koordination, die als Abstimmung der einzelnen Muskelfasern innerhalb eines Muskels beschrieben wird, zum anderen die Intermuskuläre Koordination, die die Abstimmung der Muskeln untereinander charakterisiert.

Für Steinhöfer (2008) ist ein ausgeprägtes Fundament koordinativer Fähigkeiten wichtig, um schwierige Techniken zu erlernen und sich taktisch neuen Aufgaben zu stellen. Ihm zufolge benötigen Kinder koordinative Voraussetzungen, um neue Techniken zu festigen und diese in Spielsituationen anzuwenden.

3.1.6.1 Anforderungen und Bedeutung der Koordination im Fußball

Das Sportspiel Fußball mit all seinen technischen und spielbezogenen Facetten beansprucht im hohen Maße koordinative Merkmalsausprägungen. So bestimmen nach Bisanz und Gerisch (2008) „koordinative Grundfähigkeiten [...] das Niveau der Fußballtechnik und damit des gesamten fußballspezifischen Handlungsspektrums“ (S.237). Gemeinsam mit souveränen, technisch anspruchsvollem Umgang mit dem Ball unter hohem Tempo und Zeitdruck bildet eine gut ausgebildete Koordinationsfähigkeit die Basis für eine taktisch anspruchsvolle Spielgestaltung. Weitere gewinnbringende Faktoren sind die

Ökonomisierung bezüglich Energieeinsatzes im Trainings- und Wettkampfbetrieb sowie verletzungspräventive Effekte (Bisanz & Gerisch, 2008). Selbige Autoren veranschaulichen das Spektrum der koordinativen Anforderungen im Fußball durch folgende Abbildung 10.



Abbildung 10: Spektrum der koordinativen Anforderungen im Fußball (Bisanz & Gerisch, 2008, S.237).

Im Kontext der fußballspezifischen Bedeutung können koordinativen Fähigkeiten in Anlehnung an Bisanz und Gerisch (2008) sowie Dost et al (2015) wie folgt beschrieben werden:

Differenzierungs-fähigkeit

Die Feinabstimmung des gesamten Bewegungsspektrums, hinsichtlich Krafteinsatzes und auch Bewegungstiming, findet in fußballspezifischen Lauf- und Sprungsituationen sowie in der Balltechnik seine Bedeutung. Ein adäquater Armeinsatz im Zweikampfverhalten, oder die optimale Passstärke je nach Entfernung der Mitspieler sind nur zwei Beispiele für geforderte Differenzierungs-fähigkeit im Fußball.

Reaktionsfähigkeit

Die Fähigkeit mit einer zweckmäßigen, schnellen und situationsangepassten Bewegungsauslösung auf ein Signal reagieren zu können, ist im Fußball eine unabdingbare Leistungskomponente und von herausragender Bedeutung.

Umstellungsfähigkeit

In Kombination mit der Reaktionsfähigkeit ist es für den Fußballspieler durchaus leistungsbestimmend, wie schnell er bei wechselnden Spielsituationen oder spilsituativen Bewegungsanforderungen seinen Handlungsvollzug anpassen kann. Bewegungsprogramme müssen dabei korrigiert oder gar komplett neu fortgesetzt werden, etwa beim Verteidigen einer Finte. Im weiteren Kreis gehört hierzu auch die Fähigkeit, sich auf wechselnde Spieltaktiken- und systeme des Gegners während eines Spiels einzustellen.

Kopplungsfähigkeit

Hier geht es primär darum, Teilkörperbewegungen während der Ausführung unterschiedlicher Fußballtechniken ökonomisch und den Anforderungen optimal angepasst, auszuführen. Sowohl bei unterschiedlichen Pass- und Schusstechniken, als auch bei Bewegungsmustern im Raum, wie z.B. die Verbindung von Drehungen und Antritt (Agilität) oder das Dribbling mit anschließender Flanke, bedarf es einer wirksamen Abfolge von Teilkörperbewegungen.

Rhythmusfähigkeit

Ein gut getrimter Bewegungsrhythmus ist eine wichtige koordinative Fähigkeit im Fußball, um den Bewegungsfluss z.B. beim Anlauf eines Freistoßes oder beim Timing im Kopfballspiel zu gewährleisten. Auch Rhythmuswechsel, wie sie bei Finten im Dribbling vorkommen, fallen unter diese Rubrik.

Gleichgewichtsfähigkeit

Die Gleichgewichtsfähigkeit beeinflusst im Fußball hohe Anzahl an Spielszenen, in welchen das dynamische Gleichgewicht aufrecht gehalten, oder wiederhergestellt werden

muss. Charakteristisch hierfür sind unter anderem Spielsituationen im Lauf, bei Sprung und Landung oder im Zweikampf, aber auch nach Richtungsänderungen und Drehungen. Ein gut entwickeltes Gleichgewichtsgefühl ermöglicht dem Sportler, die Bewegungsabläufe kontrolliert durchzuführen und darüber hinaus große Fortschritte im koordinativ-technischen Perfektionierungsprozess zu generieren.

Orientierungsfähigkeit

Räumliche und zeitliche Orientierungsfähigkeit ist im Fußball ein entscheidender Maßstab hinsichtlich des Leistungsniveaus. Spieler müssen in der Lage sein, ihren eigenen Standort und ihr Aktionsfeld in Bezug auf Mitspieler, Gegner und Spielsituation in Echtzeit einzuschätzen. Das ermöglicht den Spieler, das Spiel und mögliche Spielsituationen und Spielzüge schnell zu lesen und sich im individuellen, gruppen- oder mannschaftsbezogenen, spieltaktischen Konzept zurechtfinden. Dies ist z.B. bei der Abstimmung im Abwehrsystem der Viererkette oder bei der Raumaufteilung im Angriffsspiel von zentraler Bedeutung.

Zusammenfassend „*setzen die koordinativen Fähigkeiten den Spieler in die Lage, Vorhersehbares und Unvorhersehbares im Fußball sicher zu beherrschen*“ (Weineck, Memmert & Uhing, 2012, S.17). Dost et al (2015) verstehen die koordinativen Fähigkeiten gar als „*Vehikel, für die progressive Optimierung der dargestellten Komponenten der Leistungsfähigkeit eines Fußballspielers in einem langfristigen Trainingsaufbau (Basis-, Grundlagen-, Aufbau-, Anschluss-Hochleistungstraining) [...]*“ (S.37). Entscheidenden Stellenwert nehmen ausgeprägte koordinative Fähigkeiten auch im Sinne der Verletzungsprävention ein. Unterschiedliche wissenschaftliche Studien und Autorengruppen bestätigen den präventiven Einfluss von Koordinationstraining zur Verletzungsprophylaxe (Petersen et al, 2016; Knobloch & Martin-Schmitt, 2006; Jöllenbeck et al, 2013; Freiwald, Papadopoulos, Slomka, Bizzini & Baumgart, 2006).

Welchen Einfluss koordinative Übungen im Training haben können, und wie koordinative Inhalte in das Training integriert werden können, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

3.1.6.2 Koordinationstrainings im Fußball

Koordinationstraining muss ins Fußballtraining auf abwechslungsreiche Art und Weise integriert werden. Insgesamt soll dem Spieler ein hohes Trainingsspektrum mit komplexen Bewegungssituationen angeboten werden. Trainer müssen sich in das Bewegungsgefühl des Spielers hineinversetzen können sowie die besonderen Bedürfnisse des Fußballspielers (Problemlösungsstrategien, Körperbewusstsein, Bewegungsvorstellungen etc.) berücksichtigen (Dost et al, 2015).

Koordinationstraining sollte bereits im Schüleralter integriert und in spiel- und kindgerechter Form dargeboten werden. Dabei ist ein abwechslungs- und variantenreiches Training empfehlenswert, um vielseitige Entwicklung zu gewährleisten (Verheijen, 1997). Fortlaufend werden dabei die Präzisionsanforderungen im Trainingsbetrieb progressiv erhöht. Darunter versteht man Änderungen im Tempo und der Komplexität der Bewegungsaufgaben, ebenso unterschiedliche Variationen aufeinanderfolgender Bewegungsaufgaben sowie Änderungen innerhalb der Bewegungsaufgabe. Auch die Bedingungen des Umfeldes zu verändern oder zu variieren erhöht den Schwierigkeitsgrad koordinativer Anforderungen. Eine weitere Möglichkeit sind Trainingsinputs, die Koordinationsübungen mit konditioneller Vorbelastung kombinieren. Schlussendlich geht es um die situationsgerechte, variable Anwendung des gesamten, fußballspezifischen Bewegungsbestandes im wettkampforientierten Training (Bisanz & Gerisch, 2008).

Selbige Autoren bieten eine Vielzahl an Übungsvariationen mit und ohne Ball. Dazu zählen Lauf- und Sprungformen (z.B. Hopserlauf, Schrittsprünge, Überkreuzläufe etc.), Laufformen mit Bewegungskombinationen oder auch Laufformen mit Anpassungs- und Umstellungsaufgaben, wie in Abbildung 11 (S.40) exemplarisch aufgezeigt wird.



Abbildung 11: Durchlaufen der Stangenzwischenräume mit kleinen, schnellen Schritten im Wechsel an jeder Stange vorwärts, rückwärts (Bisanz & Gerisch, 2008, S.241).

Darüber hinaus können Laufformen mit Aufgabenstellungen zur Reaktions- und Umstellungsfähigkeit unter erhöhter Belastungsintensität oder auch in Kombination mit Rhythmus- und Kopplungsaufgaben gestellt werden. Übungsformen in Gruppenverbund mit oder ohne Ball, bzw. mit oder ohne Partnerkontakt zählen ebenfalls zum inhaltlichen Repertoire. Als weitere Beispiele dienen technikbezogenes Koordinationstraining oder Trainingsprogramme mit komplexem koordinativen Anforderungsprofil, die z.B. explizit die Orientierungsfähigkeit schulen, oder in komplexen Spielformen abgefragt werden (Bisanz & Gerisch, 2008).

3.2 Funktionelles Anforderungsprofil

Um Verletzungsmuster und Verletzungsrisiken evaluieren und verstehen zu können, müssen Athleten und die Anforderungen der jeweiligen Sportart bestmöglich analysiert werden. Nur daraus lassen sich Leistungsparameter, aber auch Defizite und Risiken für Verletzungsmuster oder Überlastungsschäden ableiten. Dabei reicht die Analyse der physischen Parameter in ihrer Reinform nicht aus. Es muss die Funktionalität im Sinne der Sportartspezifität mit in den Blick genommen werden (McGuigan, 2016).

Funktionell ist laut Duden (S.334) „Im Sinne der Funktion wirksam, die Funktion betreffend“ und bedeutet somit „*wirksam im Sinne der Aufgabe innerhalb eines größeren Zusammenhangs*“ (Duden, S.334). Somit empfiehlt sich eine Analyse der charakteristischen Bewegungsmuster und -anforderungen, aber auch die Kenntnis gängiger

Überlastungsprobleme, Verletzungsmuster und deren Mechanismen, die in einem gesonderten Abschnitt von zentraler Bedeutung sind.

Im Sinne der zentralen Schwerpunkte des Präventionsprogramms (siehe Abschnitt 5) wird folgend Bezug v.a. auf Kraft, Mobilität sowie die neuromotorischen Anforderungen in seiner Funktionalität und Sportartspezifität genommen.

3.2.1 Grundbewegungsmuster im Fußball

Es macht Sinn, bezogen auf das Sportspiel Fußball, Grundbewegungen von Grundbewegungsmustern nochmal zu unterscheiden. Die Bewegungsarten im Fußballspiel werden zweifelsohne von Laufbewegungen, dem Gehen sowie Sprüngen dominiert. Detaillierter betrachtet, kommen dann Bewegungsmuster aus dem Tackling, der Zweikampfführung sowie der unmittelbaren Aktion mit dem Sportgerät hinzu (Kianmarz, 2016; Bisanz & Gerisch, 2008; Dost et al, 2015; Verheijen, 2000). Sämtliche Bewegungen und Bewegungsmuster von Sportspielern weisen diesbezüglich Ähnlichkeiten auf, auch wenn sie nicht eins zu eins übertragbar sind. Grundlage einer jeden Bewegung auf dem Feld ist die sogenannte *Universal Athletic Position* (UAP), in der sich der Sportler in einer abwartenden Position befindet, bereit auf das Spielgeschehen zu reagieren beschreibt (Clark, Lucett & Kirkendall, 2010). Dabei handelt es sich um eine Art Start- oder auch Lauerposition, aus welcher sämtliche Bewegungsmuster des Spielers gestartet werden. Charakterisiert ist diese Position durch einen etwa hüftbreiten, beidbeinigen Stand, leicht flektierte Knie- und Hüftgelenke sowie einen, auf die Fußballen



verlagerten Körperschwerpunkt (KSP), wie exemplarisch in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 12: UAP in unterschiedlichen Sportarten (Clark, Lucett & Kirkendall, 2010, S.315)

Der Sportler hält dabei seinen Oberkörper stabil, den Rücken gerade, den KSP abgesenkt und kann damit ohne großen Zeitverlust in alle Spielrichtungen (vorwärts, rückwärts und seitwärts laufen) starten bzw. ist bereit, auf sämtliche Spielaktionen (Zweikampf, Tackling, Sprung) zu reagieren (Dawes & Roozen, 2012). Eine stabile UAP ist somit eine entscheidende Komponente für eine hohe, agilitätsbezogene Leistungsfähigkeit und Grundlage für leistungsstarke aktive und reaktive Bewegungsmuster im Fußball. Die Bedeutung in der Praxis wird im Abschnitt 6 nochmals aufgegriffen.

3.2.2 Dreidimensionale Bewegungsebenen

Bewegungen finden grundsätzlich im dreidimensionalen Raum statt. So bewegt sich der Mensch im Alltag und im Sport entsprechend der diagonal-rotatorischen Muskelanlage am Skelett. Daraus resultieren diagonal-spiralförmige funktionelle Grundbewegungen in allen drei Bewegungsebenen um entsprechende Achsen, wie in Abbildung 13 zu sehen.

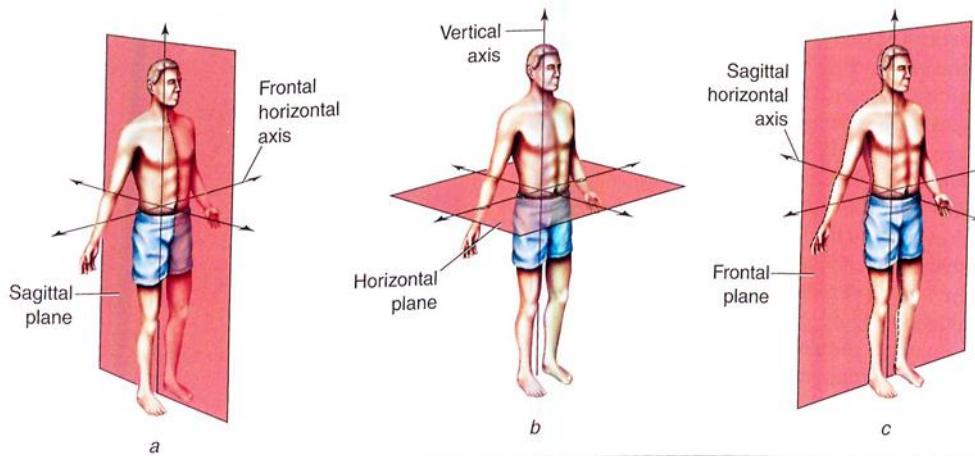


Abbildung 13: Bewegungsebenen- und Achsen (Behnke, 2006, S.27)

Kaum eine Bewegung wird demnach achsengerecht ausgeführt (Hedin, 2002, S.29f). Sobald der Körper stehend, also *ground-based*, im Alltag oder in einer Sportart funktioniert, arbeitet er immer intermuskulär in mehreren Körpersegmenten. Um den Bewegungsapparat interagierend zu stabilisieren, spielt die Verlagerung des Körperschwerpunktes eine entscheidende Rolle. Folgende Analyse eines einfachen

Schrittes als Grundbewegungsmuster vieler Sportarten (beim Gehen/Laufen) soll verdeutlichen, dass alltägliche und sportliche Bewegungen nie isoliert in einer Ebene geschehen, sondern die Bewegungsausführungen stets zwei oder mehr Bewegungsebenen ansprechen (Abb. 14).

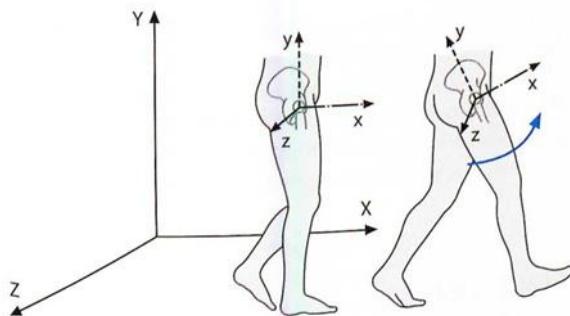


Abbildung 14: Exemplarische Darstellung von dreidimensionalen Femurbewegungen bei einem (rechten) Schritt (Banzer, Pfeiffer & Vogt, 2004, S.131)

Beim beidbeinigen Stand findet sich der Schwerpunkt, durch die Sagittalachse beschrieben, mittig im Körper. Sobald das rechte Bein für einen Schritt den Boden verlässt, verlagert sich der Körperschwerpunkt auf der Frontalebene nach links, um das Gleichgewicht durch die linke Rumpfhälfte zu stabilisieren. Der nachfolgende Schritt inkludiert eine dritte Bewegungskomponente um die Transversalebene. Das Becken rotiert auf dem Standbein nach innen. Neben dem Körper im Raum, beschreiben auch die Bewegungskomponenten in einem Gelenk mehrere Gelenkachsen (Abb. 15).

So verändern die Bewegungssachsen des Spielbeines ihre Position im Raum und führen dazu, dass der Oberschenkel bei einem Schritt die Bewegung nach vorne nicht nur um die

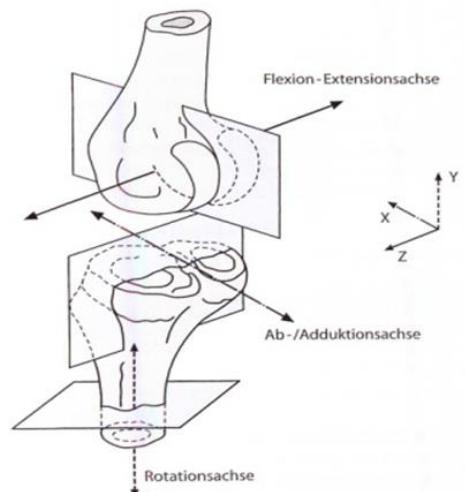


Abbildung 15: Graphische Darstellung der drei Gelenkachsen eines Gelenkkoordinationssystems am Beispiel des Kniegelenks (Banzer, Pfeiffer & Vogt, 2004, S.133)

frontotransversale Z-Achse macht, sondern sich die Bewegungsachsen den Ausrichtungen der Gelenkflächen anpassen (Banzer, Pfeiffer & Vogt, 2004).

Am Beispiel des Kniegelenks stellte bereits Kapandji (1992) fest, dass „*bei der Beugung [...] (Tibia steht still) der laterale Kondylus mehr nach hinten verlagert wird als der mediale, [woraus] sich eine Außenrotation des Oberschenkels [ergibt]*“ (Richter, 2009, S. 34). Das bedeutet, dass bei der vermeintlichen Bewegung des Kniegelenks in Flexion auf der Sagittalebene, wie es auch bei der Kniebeuge oder bei jedem Ausfallschritt in geschlossener Kette der Fall ist, das Gelenk auch einer rotatorischen Komponente auf der Transversalebene ausgesetzt ist. Diese Dreidimensionalität kann auf sämtliche sportliche Bewegungen und Bewegungsmuster übertragen werden und unterstreicht die Anforderungen eines modernen funktionellen Athletikkonzeptes zur Verletzungsprävention, was inhaltlich in Abschnitt 7 nochmals vertieft aufgegriffen wird.

3.2.3 Komplexität der sportlichen Bewegung in Muskelketten

Wie bereits mehrfach erwähnt, lebt das Sportspiel Fußball, bezogen auf die Physis des Athleten, von hohen konditionellen Anforderungen, seiner Dynamik und Geschwindigkeit sowie den hochkomplexen Bewegungen und Bewegungsmustern. Um der Komplexität fußballspezifischer Bewegungsmuster gerecht zu werden, ist das Verständnis der zusammenwirkenden Arbeitsweise innerhalb der Muskelketten von großer Bedeutung (Cook, 2011).

3.2.4 Der Zusammenhang zwischen Mobilität und Stabilität im Fußball

Inwieweit die Balance zwischen funktioneller Mobilität und Stabilität im Fußball eine Rolle spielt wird in Folge erläutert. Zunächst ist es wichtig, beide Parameter im funktionellen Sinn zu deuten. Die Mobilität geht dabei über die bloße Beweglichkeit hinaus. Sie reduziert sich nicht nur auf eine eingeschränkte Fähigkeit der Muskeldehnung, wie es z.B. beim *sit-and-reach*-Test mittels einer unzureichenden Rumpfbeuge durch die ischiocrurale Muskulatur identifiziert werden kann. Im funktionellen Verständnis beinhaltet Mobilität ein umfassendes Zusammenspiel von Muskeln, Faszien, Gelenken,

Haut und neuronalen Strukturen mit einem breiten Spektrum an Bewegungsgraden (Falsone, 2016). Dieser umfassende Ansatz trägt dazu bei, motorische Kontrolle in komplexen Bewegungsmustern und vollen Bewegungsumfängen zu entwickeln (Starrett, 2016). Die tiefe Kniebeuge ist ein gutes Beispiel für funktionelle Mobilität. Dabei sollen die Fersen am Boden gehalten werden und gleichzeitig die Oberschenkel parallel zum Boden und die Brustwirbelsäule in einer aufrechten Position stehen. Mobilität definiert sich hier als Interaktion von Sprunggelenk, Kniegelenk, Hüfte, und den gesamten Wirbelsäulenbereich mit allen beteiligten Muskelgruppen (Starrett, 2016). Ähnlich verhält es sich bei einem Schuss. Hier wird vor allem in den Gelenken der unteren Extremität sowohl beim Stand-, als auch beim Schussbein ein hohes Ausmaß an Mobilitätsfähigkeit abverlangt, während der Rumpf stabil gehalten werden muss (Kirkendall, 2012).

Analog dazu bedeutet auch die Stabilität mehr als nur Kraft und Festigkeit. So ist Kraft in der Lage, Bewegungen zu verursachen, Stabilität hingegen kontrolliert diese. Unterscheiden lassen sich dabei statische und dynamische Stabilität. Erstere bezieht sich auf die Fähigkeit, den Körper gegen die Schwerkraft in aufrechter Position zu halten und auszubalancieren. Die dynamische Stabilität umfasst die Ausführung und Kontrolle von komplexen Bewegungsmustern. Stabilität beruht dabei auf einem perfekten Zusammenspiel unterschiedlicher muskulärer und neuromuskulärer Fähigkeiten. Mobilität und Flexibilität, allgemeine Kraft- und Koordinationsfähigkeiten, spezielle lokale Muskelausdauer und eine insgesamt belastungsfähige cardio-vaskuläre Fitness sind unabdingbare und voneinander abhängige Komponenten. Um sich effizient bewegen zu können und dabei stets die Kontrolle zu bewahren, bedarf es einer optimal aufeinander abgestimmten Koordination aller Teilbereiche (Foran, 2001; Cook, 2011). Grygorowicz et al (2010) entdeckte in dem Zusammenhang, dass Asymmetrien von Flexibilität und Muskelkraft zu einer unzureichenden Kontrolle von Bewegungsmustern führt und daher im Zusammenhang mit Verletzungen diskutiert wird.

Die Abhängigkeit von Mobilität und Stabilität lässt sich - in Anlehnung an die Darstellung der Arm-Elevation von Gray Cook (2011) - am Beispiel eines Schusses beim Fußball aufzeigen. Grundvoraussetzung für einen Schuss ist ausreichende Mobilität von Muskeln

und Gelenken, um das Schussbein, aber auch das Standbein in eine entsprechende Position zu bringen. Um die Funktionalität und die optimale Bewegungsqualität allerdings zu gewährleisten, muss die kontralaterale Standbeinseite über die kleinen Gesäßmuskeln zunächst die Beckenposition stabilisieren und der Rumpf dynamisch stabilisiert werden. Erst die vorangeschaltete Kontraktion der kontralateralen Becken-Stabilisatoren ermöglicht es der Spielbeinseite, zum Schuss auszuholen und diesen dann durchzuführen. Zugleich muss, wie auch Münch (2011) feststellte, insbesondere bei schnellen Bewegungen wie dem Torschuss, die Kraftübertragung vom Schussbein auf den Ball über die Aktivierung der *Core*-Muskeln stabilisiert werden. Auch hier erfolgt die lokale Stabilisierung bereits vor dem Beginn der Schussbeinbewegung (*feed-forward-Mechanismus*).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Körper nur optimal leistungsfähig, sein kann, wenn entsprechende Bewegungsmuster maximale Stabilität und Funktionalität erfahren und das Training dementsprechend genau auf diese Aspekte abzielt (Münch, 2011; Boyle, 2010; Cook, 2011).

3.2.5 Die (A)Symmetrie in den Bewegungsmustern

Wurf- oder Schlagsportarten sind gekennzeichnet durch asymmetrische Bewegungsmuster. Demzufolge bilden sich Asymmetrien in Bezug auf Mobilität, Stabilität und Kraft aus. Fußballer erfahren in diesem Zusammenhang immer wiederkehrende, stereotype Bewegungsmuster, denen sich sowohl die aktiven als auch die passiven Strukturen des Bewegungsapparates anpassen. Obwohl ein ambitioniertes Fußballtraining auf Beidfüßigkeit abzielen sollte, entwickeln sich dennoch markante Unterschiede hinsichtlich bevorzugter Standbein- oder Spielbeinseite (Eder & Hoffmann, 2006). Die unterschiedlichen Beanspruchungen in der offenen kinetischen Kette (Schussbein) und in geschlossener kinetischen Kette (Standbein) führen zu muskulären und neuromuskulären Dysbalancen, die auch statische Veränderungen nach sich ziehen können. So zeigt das Sprunggelenk häufig auffällige Unterschiede im Seitenvergleich. Das bevorzugte Standbein entwickelt z.B. durch die immer wiederkehrende Beanspruchung,

die Schussposition zu stabilisieren, eine starke Lateralisierung der Becken-Bein-Achse (Abb.16). Weiter können stereotype, differente Spannungszustände der Muskulatur der Schussbein- gegenüber der Spielbeinseite zu funktionellen Seitendifferenzen und folgende Überlastungsbeschwerden in der Becken-Hüft-Region führen. Die Konsequenzen sind oft akute Traumen (Eder & Hoffmann, 2006).

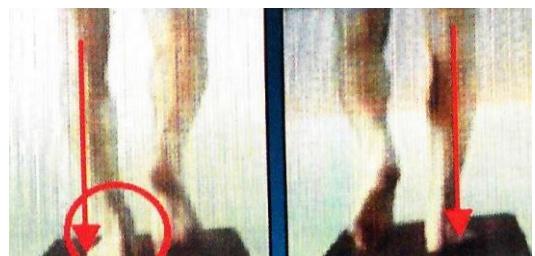


Abbildung 16: laterisierte Standbeinachse
(angelehnt nach Eder & Hofmann, 2016, S.29)

Sue Falsone (2016) zufolge können aber Asymmetrien geradezu notwendig sein, um in einer Sportart erfolgreich zu sein. Allerdings bezieht sich Falsone aber alleinig auf die asymmetrische Beweglichkeit bei Überkopfsportarten und das Phänomen des *glenohumeralen Innenrotationsdefizits* (GIRD), wonach die Innenrotation im Vergleich zur nicht dominanten Seite um etwa 20 Grad verringert ist. Einige Forscher und Ärzte halten GIRD allerdings „*für eine notwendige Anpassung an die Wurfbewegung*“ (Falsone, 2016, S.74) der dominanten Seite und wenden ein, dass der „*Gesamtbewegungsumfang (Außen- und Innenrotation zusammengenommen) die Symmetrie der Gliedmaßen besser darstellt*“ (Falsone, 2016, S.74). Es wird deutlich, dass in diesem Bereich weitere Forschungsarbeit nötig ist, um die Rolle der Asymmetrien für die Beweglichkeit und bezogen auf eine Verletzungsprognose genauer zu verstehen.

4 Verletzungen im Fußballsport

Fußball ist einer der verletzungsträchtigsten Sportarten. Von den deutschlandweit rund 2 Millionen Sportverletzungen im Jahr sind ca. 25% beim Fußball zu beobachten. Unabhängig von Vereins-, Schul- oder im nicht organisierten Sport führt die Sportart die Unfallstatistik an (Meyer, Faude & aus der Fünten, 2014; Krutsch, Angele, Hoffmann & Eichhorn, 2013). Dabei haben im organisierten Sport sowohl geschlechtsspezifische Unterschiede aber auch unterschiedliche Spielklassen-Zugehörigkeit Einfluss auf das Auftreten von Verletzungen. Dvorak et al (2009) konnten nachweisen, dass professionelle Fußballspieler aufgrund der großen körperlichen Belastung einer erhöhten Gefahr für

Verletzungen ausgesetzt sind. Dahingegen publizierten Freiwald et al (2006), dass „*Freizeitspieler relativ zur Dauer der sportlichen Aktivität häufiger verletzt sind als die regelmäßig trainierenden Spieler*“ (S.143). Weiter fällt auf, dass Spieler der Eliteligen im Vergleich zu den unteren Ligen weniger schwerwiegende Verletzungen erleiden (Freiwald et al, 2006). Hauptsächlich betroffen ist umstritten die untere Extremität (UE) (Papst, 2011; Kristenson, Waldén, Ekstrand & Hägglund, 2013; Hägglund, Waldén & Ekstrand, 2013; Stubbe et al, 2015; Junge & Dvorak, 2015). Faude, Meyer, Federspiel und Kindermann (2009) schreiben dieser Körperregion mit 76% die höchste Inzidenz zu. Die Verwaltungsberufsgenossenschaft hat 2017 das Verletzungsgeschehen im deutschen Profisport Sportarten Basketball, Handball, Eishockey und Fußball untersucht und dabei auch die Verletzungsursachen analysiert (VGB, 2017). Demnach haben sich in der Saison 2015/16 80,5% (+ 1,3% zum Vorjahr) der eingesetzten Fußballspieler aus erster und zweiter Bundesliga mindestens einmal verletzt, wobei sich 81% Verletzungen ohne Einfluss des Gegners zuzogen. In der Saison 2016/17 stieg die Anzahl der Verletzungen mit 82,7% nochmal um +2,2% an (VGB, 2018). Im bezahlten Amateurfußball liegt die Rate bei 79% (Loose et al, 2018b).

4.1 Risikofaktoren von Verletzungen im Fußball

Die hohe Verletzungsanfälligkeit im Fußball begründet das hohe Interesse der Forschung an den Ursachen und Risikofaktoren, mit dem Ziel letztere zu modifizieren und damit Verletzungsinzidenzen zu reduzieren. Das Aufdecken modifizierbarer und nicht-modifizierbarer Risikofaktoren gilt hier als Grundlage einer zielgerichtete Präventionsarbeit (Jöllenbeck et al, 2013; Krutsch et al, 2013). Entscheidend dabei ist auch eine exakte, differenzierte Analyse von Risikofaktoren hinsichtlich unterschiedlicher Parameter, wie Geschlecht oder Alter sowie Leistungsstand und Trainings-, bzw. Spielpensum (Jöllenbeck et al, 2013; Ristolainen, Heinonen, Waller, Kujala & Kettunen, 2009). Die Autorengruppe um Leena Ristolainen (2009) entdeckte hier z.B. zwar geschlechtsspezifische Differenzen bezüglich sportbezogener Verletzungsanfälligkeit, allerdings liegen diese wohl im unterschiedlichen Trainingsumfang begründet. Als

gesichert gilt die Annahme eines zwei bis sechs Mal höheren Risikos für Frauen, einen vorderen Kreuzbandriss (VKB) zu erleiden (Waldén, Hägglund, Werner & Ekstrand, 2010; Hewett, 2000). Graubau, Vitzthum, Mache, Groneberg und Quarcoo (2011) analysierten Studien zu gendermedizinischen Aspekten einer Kreuzbandruptur und fanden mehrere Ursachen für das höhere Risiko von Frauen heraus. So ist z.B. eine größere Gelenkflexibilität mit größerem Bewegungsspielraum eine Ursache. Vor allem in Rotationsbewegungen hat das weibliche Knie einen etwa 28% größeren Bewegungsspielraum, wodurch neben einer Tendenz zur Hyperextension auch eine stärkere Abduktion im Knie aufkommt (Hsu, Fisk & Yamamoto, 2006). Auch stellt ein bei der Frau geringerer Stoff- und fibrillärer Anteil des Kreuzbandzusammensetzung als beim Mann ein erhöhtes Risiko dar (Chaudhari, Zelman, Flanigan, Kaeding & Nagaraja, 2009). Problematisch erscheint ebenso, dass bei Frauen keine gleichmäßige Aktivierung der am Knie ansetzenden Muskeln erfolgt. Demnach kommt es in der Dynamik zu einer neuromuskulären Dysbalance bei der Rekrutierung von Kniestreckern und -extensoren. Im Vergleich zum Quadrizeps zu schwache Muskeln der hinteren Kette, die synergistisch mit dem vorderen Kreuzband wirken und so die Belastung auf das Band reduzieren, erhöhen die Gefahr einer Kreuzbandverletzung (White, Lee, Cutuk, Hargens & Pedowitz, 2003). Einen weiteren Einfluss scheinen hormonelle Faktoren zu haben. So scheint Östrogen eine inhibierende Wirkung auf die Bandzusammensetzung zu haben und dementsprechend die Bandflexibilität zu verändern (Iwamoto, Takeda, Sato & Matsumoto, 2008). Shakhlin (2010) sieht weiter eine, durch Östrogen verursachte, verschlechterte Sensibilität des Propriozeptionssystems während der Menstruation als Ursache.

Grundsätzlich können Risikofaktoren für Verletzungen im Fußball in externe und interne Faktoren unterschieden werden, wobei die Ergebnisse der jeweiligen Einflussgrößen in der Literatur nicht immer eindeutig sind.

4.1.1 Externe Risikofaktoren

Externe Risikofaktoren wirken von außen ein und sind aus diesem Grund bis zu einem gewissen Grad beeinflussbar. In diese Gruppe fallen u.a. das Wettkampflevel bzw. die

Spielklasse/Spielstärke, Spielsituationen (siehe 4.3.2.1), Spielbedeutung (Phase im Spiel, Phase während der Saison, Tabellensituation o.ä.), Schutzausrüstung bzw. Sportartikelhersteller, der Schiedsrichter, oder allgemeine Rahmenbedingungen wie die Spielstätte oder auch die Witterung (Krutsch et al, 2013; Murphy, Connolly & Beynon, 2003).

In einer Übersicht (Abb. 17) veranschaulichen Murphy, Connolly und Beynon (2003) extrinsische Risikofaktoren für Verletzungen bei unterschiedlichen Sportarten.

Table 1 Extrinsic risk factors for injury

Risk factor	Sport	Sex	Injuries studied	Study type	Effect of risk factor	Ref.
Level of competition	European team handball	m,f	ACL	PNRCS	Increased risk in games compared with practice	14
	European team handball	m	All	PRF	Increased risk in games compared with practice	6
	American football	n/a	All	PRF	Increased risk in games compared with practice	7
	Basketball	m,f	All	PRF	Increased risk in games compared with practice	8
	Soccer	m	All	EPI	Increased risk in games compared with practice	9
	Soccer	m	All	PRF	Increased risk in games compared with practice	10
	Ice hockey	m	All	EPI	Increased risk in games compared with practice	12
	Volleyball	m,f	All	PRF	Increased risk in games compared with practice for males; and no difference for females	13
	Australian football, field hockey, basketball, netball	m,f	Lower extremity, back	EPI	Incidence greatest in first 4 weeks compared with remainder of season	15
	Soccer	f	Lower extremity	PRF	Increased risk in games compared with practice	11
Skill level	Soccer	m	All	PRF	Increased incidence in less skilled players	16
	Soccer	m	All severe	PRF	Increased incidence in less skilled players	17
	Netball	f	Lower extremity, back	PRF	Increased incidence in more skilled players	18
	Basketball	m,f	Ankle	PRF	Increased incidence in college v high school	19
Shoe Type	Basketball	m,f	Ankle	PRF	Increased incidence with inflatable air cells in heels	22
	American football	n/a	ACL	PRF	Increased incidence with edge style cleats compared with other cleat designs	23
	Military training	m	Ankle	PRF	No difference between combat boots and basketball shoes	20
	Basketball	m,f	Ankle	RCT	No difference between low top, hi top, or hi top w/ air cell	21
Ankle Bracing	Military training, basketball	m,f	Knee and ankle	RCT	Fewer contact injuries among braced athletes; and no difference in non-contact injuries	25
	Soccer	m	Ankle	RCT	Fewer injuries among braced and exercise group compared with unbraced	27
	Soccer	m	Ankle	RCT	Fewer ankle injuries among braced athletes with previous injury; and no difference in ankle injury rates in athletes without previous injury	26
	Basketball	m,f	Ankle	PRF	No difference between braced, taped, unbraced athletes	22
Playing surface	Soccer	m	All	PRF	Increased incidence on turf compared with grass or gravel	30
	American football	m	Knee, foot/ankle	PRF	Increased incidence on turf compared with grass	29

ACL, Anterior cruciate ligament; EPI, epidemiological; PRF, prospective study of potential risk factors; RCT, randomised clinical trials; PNRCS, prospective non-randomised comparative study.

Abbildung 17: Extrinsische Risikofaktoren von Verletzungen (verändert nach Murphy, Connolly & Beynon, 2003, S.16)

4.1.1.1 Wettkampflevel

Die Literatur ist sich generell einig, dass die Gefahr einer Verletzung im Wettkampf höher ist, als im Training (Murphy, Connolly & Beynon, 2003). Berücksichtigt werden dabei

Verletzungen, die das verletzungsbedingte Versäumnis mindestens einer Trainingseinheit oder einem Wettkampf zur Folge hatten. Auch andere Autorengruppen bestätigen diese Tendenz sowohl beim Herren- als auch beim Damenfußball. So befassten sich bereits vor der Jahrtausendwende Nielsen und Yde (1989) mit dieser Fragestellung. Sie beobachteten, dass bei einer Gruppe von 123 männlichen dänischen Fußballspielern 60,5% der Verletzungen im Spiel passierten. Auch aktuelle Studien von Emery, Meeuswisse und Hartmann (2005) bestätigen eine signifikant höhere Verletzungsinzidenz im Wettkampf als im Training (relativ risk = 2.89; 95% CI, 1.69-5.21). Auch im deutschen bezahlten Amateurfußball zeigt sich nach Loose et al (2019) diese Tendenz (27.06/1000Stunden = hours = h; 4.47/1000h). Ähnliches gilt auch für den Damenfußball: In einer Studie zur Verletzungsanalyse steht für traumatische Verletzungen der unteren Extremität eine Inzidenzrate (IR) von 10.0/1000h im Wettkampf einer IR von 1.3/1000h im Training gegenüber (Söderman, Alfredson, Pietilä & Werner, 2001).

Zwei aufeinander folgende Studien im deutschen Profifußball hingegen zeichnen ein anderes Bild. Hier werden im Training häufiger Verletzungen beobachtet, wenngleich die Trainingsinzidenzen in der Saison 2015/16 (53,3%) im Vergleich zur Vorsaison 14/15 (62,3%) rückläufig waren (VBG, 2016; VBG, 2017).

Bezieht man die Frage nach der Verletzungsinzidenz auf Verletzungen des vorderen Kreuzbandes zeigt sich auch hier ein höheres Risiko im Wettkampf (Quisquater, Bollars, Van Lommel, Claes, Corten & Bellemans, 2013). Analog dazu geben Dragoo, Braun, Durham, Chen und Harris (2012) eine während des Spiels um 10.09 (95%; CI, 8.08-12.59) höhere Inzidenz als im Training an.

4.1.1.2 Spielklasse/Spielstärke

Bezüglich Spielklasse und Spielstärke sind kontroverse Ergebnisse in der Literatur zu finden. So dokumentieren die Autorengruppen Peterson, Junge, Chomiak, Graf-Baumann und Dvorak (2000), sowie Chomiak, Junge, Peterson und Dvorak (2000) bei unspezifischen Verletzungsbildern ein höheres Risiko für Spieler mit einem geringeren Spielniveau. Beide Studien involvierten Spieler sowohl aus dem Profibereich, über den Leistungsbereich bis

hin zum Amateurfußball lokaler Mannschaften. Auch Elite- und Amateurjugendmannschaften wurden untersucht. Vor allem schwerwiegende Verletzungen waren bei einem Vergleich von erster Liga gegenüber den unteren Ligen seltener zu beobachten (Freiwald et al, 2006). Andere Schlüsse wiederum lassen die Ergebnisse von Loose et al (2019) in seiner Studie zu. Hier weisen Spieler aus der höchsten untersuchten Spielklasse (Regionalliga [RL]: 3,92/1000h) die höchste IR bei traumatischen Verletzungen gegenüber den tieferen Klassen vor (Bayernliga [BL] = 3.13/1000h; Landesliga [LL] = 3.78/1000h; Bezirksliga [BzL] = 3.38/1000h; Elite-Junioren = 3,05/1000h). Geht es um Überlastungsschäden hingegen, ergibt sich ein völlig anderes Bild, wie folgende Abbildung 18 veranschaulicht:

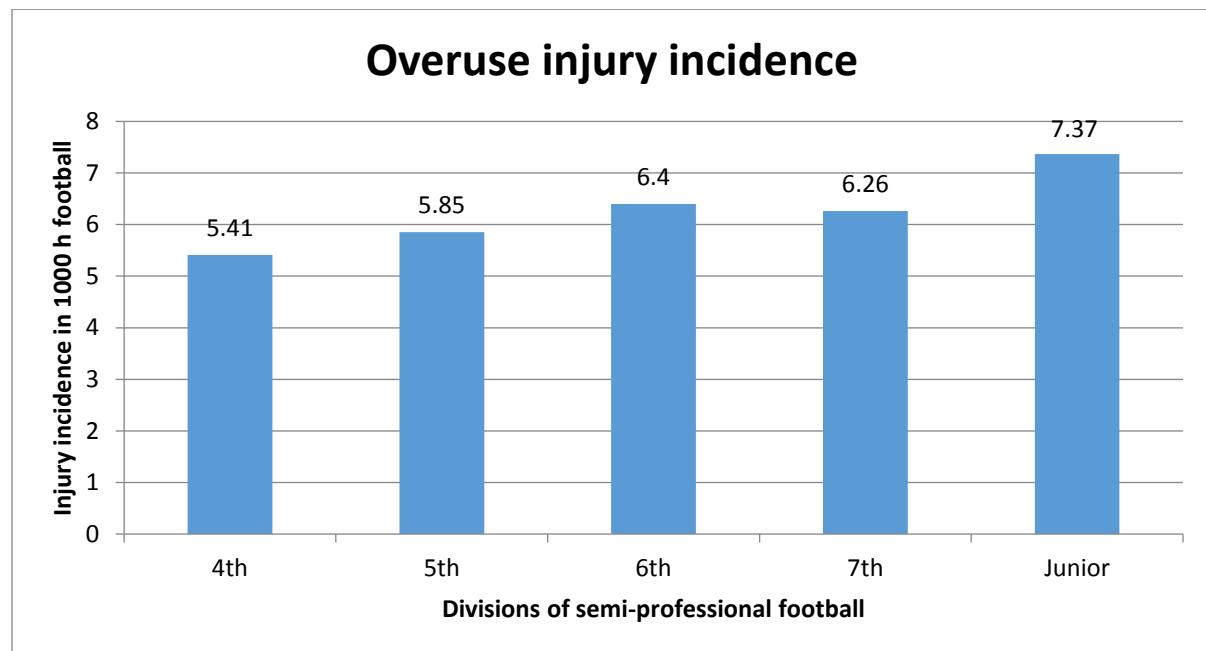


Abbildung 18: Inzidenz für Überlastungsschäden im Leistungsfußball (verändert nach Loose et al, 2019, S.7)

Untersucht man lediglich die Anfälligkeit für Verletzungen des vorderen Kreuzbandes, werden auch hier kontroverse Ergebnisse publiziert. Für Volpi, Bisciotti, Chamari, Cena, Carimati und Bragazzi (2016) sind unterklassige Spieler verletzungsanfälliger, während Roos, Ornell, Gärdsel, Lohmander und Lindstrand (1995) Elitespielern ein höheres Risiko zuschreiben.

4.1.1.3 Spielphase / Spielsituationen / Spielbedeutung / Spielpositionen

Fuller, Junge und Dvorak (2011) beobachteten bzgl. des zeitlichen Spielfortschritts unterschiedlich hohe Verletzungsanfälligkeit. So erleiden Männer in der zweiten Spielhälfte signifikant öfter Verletzungen als in der ersten Halbzeit, was wohl auf eine fortschreitende Ermüdung zurückzuführen ist. Bei Frauen werden hier keine Unterschiede beobachtet. Jürgen Freiwald et al (2006) nennt unterschiedliche Spielphasen im emotionalen Kontext (entscheidende Spielphase, aggressive Spielphase) als exogenen Faktor, der Einfluss auf die Anfälligkeit für Verletzungen hat. Darüber hinaus können auch Mitspieler, Gegenspieler (Foulspiel) sowie der Schiedsrichter das Risiko mitbestimmen. Dass explizite Spielsituationen einen entscheidenden Einfluss auf das Verletzungsrisiko haben, beweisen unter anderem Waldén, Krosshaug, Bjorneboe, Andersen, Faul und Hägglund (2015) sowie Brophy, Stepan, Silvers und Mandelbaum (2015). Im Kapitel 4.2.1.2 wird näher auch auf Verletzungsmechanismen eingegangen. Einen Zusammenhang zwischen Verletzungen und Spielpositionen konnte das FIFA Medical Assessment and Research Centre keine signifikant auffälligen Unterschiede zwischen Männern und Frauen feststellen (Fuller et al, 2011).

4.1.1.4 Schiedsrichter / Regelwerk/ Schutzausrüstung

Wie bereits zuvor thematisiert, können auch Schiedsrichter - und diesen voranstehend - das Regelwerk Einfluss auf das Verletzungsrisiko nehmen. Aus diesem Grund wurden die Konsequenzen für ein Foulspiel von hinten (1998) sowie der Einsatz von Ellenbögen bei Luftzweikämpfen (2006) durch die *International football association board* (IFAB) verschärft (Fuller et al, 2011). Allen voran bei der Auslegung und Einhaltung des Regelwerks trägt ein Schiedsrichtergespann eine tragende Rolle (Fuller et al, 2011; Krutsch et al, 2013). Durch adäquates Einschreiten und Bestrafen aggressiver, verletzungsrisikoreicher Spielweisen kann die Spieldynamik und damit das Risiko einer verletzungsriskanten Spielweise mitbestimmt werden. Intensive Schulungen für Referees, auch in Situationen, die mit hohem Druck einhergehen, konsequente Entscheidungen zu

treffen und zu tragen, soll folglich das Verletzungsrisiko positiv beeinflussen (Fuller et al, 2011).

In der Literatur werden weitere mögliche externe Risikofaktoren, wie der Spieluntergrund (Naturrasen versus Kunstrasen) oder Witterungsbedingungen (Hitze, Kälte, Regen etc.), kontrovers diskutiert.

4.1.1.5 Trainer

Im Rahmen einer Trainerabfrage von 67 Trainern der höchsten deutschen Ausbildungsstufe (Fußballlehrer und A-Lizenztrainer) waren mangelnde Fitness, zu geringe Regeneration, Vorverletzungen und falsches Training die meist genannten Antworten auf die Frage nach Verletzungsursachen. Bei mindestens drei dieser selbtkritischen Umfrageergebnisse hat der Trainer direkten Einfluss. Dies gilt ebenso für die Prävention. Demnach halten die Befragten Rumpfstabilisationstraining, sensomotorisches Training, Regenerationstraining, funktionelles Krafttraining, Koordinationstraining, sensomotorisches Training, Balancetraining und richtiges Aufwärmen für essentiell wichtige Bausteine verletzungspräventiver Trainingsinhalte (Klein, 2014). Angelehnt an das Manual der Fußballmedizin weisen auch Dvorak et al (2009) dem Trainer einen entscheidenden Einfluss auf die Prävention von (Rezidiv-) Verletzungen zu. Der Trainer ist zum einen für die Trainingsinhalte zuständig, und damit auch für die Implementierung präventiver Übungen in den Trainingsalltag sowie für ein zielgerichtetes, präventives Warm-Up vor Trainings- und Wettkampfbelastungen. Außerdem ist der Trainer auch verantwortlich für Regeneration, Rehabilitation und Return to Competition - Entscheidungen. Die Herausforderung in diesem Zusammenhang ist oft durch die Infrastruktur des Vereins bedingt. Ein Mangel an Spezialtrainern (z.B. Reha-, und Athletiktrainer), die die Realisierung und Umsetzung eines Präventionskonzepts fachlich mittragen, ist hier v.a. im Amateurbereich oft eine limitierende Größe (Krutsch et al, 2013).

4.1.2 Interne Risikofaktoren

Interne Risikofaktoren beziehen sich auf Kriterien, die vom Spieler selbst ausgehen. Diese können beeinflussbar, aber auch nicht beeinflussbar sein.

Als nichtbeeinflussbare intrinsische Risikofaktoren sind z.B. anatomische Gegebenheiten (siehe 4.2.2.2.), das Alter oder auch das Geschlecht zu nennen. So verletzen sich fußballspielende Männer statistisch signifikant häufiger als Frauen. Die Gefahr einen Kreuzbandriss zu erleiden ist allerdings bei Frauen um ein Vielfaches höher (Fuller et al, 2011). Die Forschung konzentriert sich bei den Gender-Untersuchungen hauptsächlich auf anatomische Unterschiede, Variationen der neuromuskulären Kontrolle sowie hormonelle Gegebenheiten (Smith et al, 2012; Wojtys, Huston, Schock, Boylan & Ashton-Miller, 2003). Das Alter als Untersuchungsgegenstand von Verletzungsursachen wird in der Literatur kontrovers diskutiert (Freiwald et al, 2006; Roos et al, 1995; Allen et al, 2016).

Neben den vier großen Forschungsbereichen, die sich mit anatomischen, hormonellen, biomechanischen und neuromuskulären Risikofaktoren (Hewett, Myer & Ford, 2006; Alentorn-Geli et al, 2009) auseinandersetzen, rücken auch jüngere Forschungsfelder in den Fokus. Die Forschergruppe um Smith et al (2012b) schreibt darüber hinaus kognitiven Funktionen sowie Vorverletzungen eine große Bedeutung zu. In den folgenden Abschnitten sollen diese Parameter näher beleuchtet werden.

4.1.2.1 Kognitive Faktoren

Psychische Faktoren und Parameter der Neurokognition spielen in der Verletzungsforschung im Fußball noch eine eher bescheidende Rolle. 2009 untersuchten Steffen, Pensgaard und Bahr in diesem Zusammenhang, ob psychologische Spielereigenschaften, die durch einen selbst ausgeführten Fragebogen bewertet wurden, Risikofaktoren für Verletzungen sind. Bei dieser Untersuchung kann bei jungen Spielerinnen beobachtet werden, dass ein hohes Maß an Lebensstress wesentliche Prädiktoren für neue Verletzungen darstellen. Auch Smith et al (2012b) nennen in Ihrer Literaturübersichtsarbeit explizit eingeschränkte kognitive Funktionen als Risikofaktor für die Verletzungsanfälligkeit für Kreuzbandverletzungen auf. Swanik, Covassin,

Stearne und Schatz (2007) setzten bei ihrer Fallstudie eine neurokognitive Testbatterie ein, um kognitive Prozesse von Spieler, die sich nachfolgend eine Verletzung zuzogen und nicht verletzter Spieler zu vergleichen. Demnach hatten VKB-Verletzte Spieler eine signifikant langsamere Reaktionszeit und Verarbeitungsgeschwindigkeit als Nicht-Verletzte. Ein ähnliches Bild ergibt sich für Spieler mit Kreuzbandverletzung: ein geringerer Score bei den visuellen und verbalen Gedächtnisleistungstests und ein insgesamt schlechterer Total-Score im Vergleich zu nicht verletzten Teilnehmern. Vor allem bei veränderten Bedingungen (Gegnerkontakt, Richtungswechsel, Stop-Bewegungen) führt eine verlangsamte Verarbeitungsgeschwindigkeit zu einer Unterbrechung des ursprünglichen Aktionsplans. Der anschließende Verlust der neuromotorischen Kontrolle im Kniegelenk verringert die dynamische Stabilität und zählt damit als stärker Verletzungsindikator (Swanik et al, 2015). Nach einer Studie von Monfort, Pradarelli und Grooms (2019) stehen visuell-räumliche Gedächtnisdefizite im Zusammenhang mit erhöhtem Knie-Valgus-Winkel während sportspezifischer Cutting-Bewegungen, was das Risiko für Knieverletzungen erhöht (vergleiche [vgl.] 4.2.1.2). Davon ableitend sehen Sie es als notwendig, entsprechende kognitive Funktionen zu beurteilen, um die mit einer beeinträchtigten neuromuskulären Kontrolle verbundenen Zustände besser zu verstehen und potenzielle Athleten mit einem erhöhten Verletzungsrisiko zu identifizieren. Auch Gokoler und Benjaminse (2019) befürworten, psychologischen und neurokognitiven Prozessen in der Verletzungsforschung mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Aspekte der Bewegungssteuerung wie Informationsverarbeitung, Aufmerksamkeitsfokus, Reaktionszeit, visuell-motorische Kontrolle und die komplexe Interaktion zwischen Aufgabe und Umgebung sollten demnach stärker berücksichtigt werden, auch um entsprechende Interventionen ableiten zu können. In Bezug auf kognitive Trainingsmethoden entwickelte die Forschergruppe Rusciano, Corradini und Stoianov (2017) die Biofeedback-Trainingsmethode *Neuroplus*, um Belastbarkeit, visuelle Aufmerksamkeit und damit einhergehend die Prävention von Verletzungen zu verbessern. In Ihrer Analyse zeigte sich bei der *Neuroplus*-Trainingsgruppe eine signifikante Verbesserung der physiologischen

Anpassungsfähigkeit, der Erholung nach Stress, der visuellen selektiven Aufmerksamkeit und der Prävention von Verletzungen gegenüber der Vergleichsgruppe.

4.1.2.2 Vorverletzungen

Die Wissenschaft geht davon aus, dass eine Vorgeschichte früherer Verletzungen der mit Abstand stärkste Risikofaktor für Verletzungen ist (Abrahams, McFie, Patricios, Posthumus & September, 2014; Ryan, DeBurca & Mc Creesh, 2014; Krosshaug et al, 2016; Bahr, 2016). Weiter ist sich die Forschung darüber einig, dass Vorverletzungen das Risiko eine schwerwiegende Knieverletzung (KV) (im speziellen Fall eine Kreuzbandverletzung) zu erleiden, begünstigen. Dabei spielen die Region der Verletzung (Knie, Untere Extremität, Rumpf), der Verletzungstypus (isolierte Ligamentverletzung versus Kombinationsverletzung von ligamentären und artikulären Strukturen), wie auch die Schwere der Verletzung eine entscheidende Rolle (Smith et al, 2012b). Vorausgegangene VKB-Rekonstruktionen sind ein großer Risikofaktor für Folgeverletzungen am Knie, sowohl am ipsi-, als auch am kontralateralen Bein (Waldén, Hägglund & Ekstrand, 2006; Orchard, Seward, McGivern & Hood, 2001). Dabei sind Spieler, deren Vorverletzungen maximal 12 Monate zurücklagen, einem 11,3-fach höheren Risiko ausgesetzt. Forscher haben ebenso herausgefunden, dass vorherige Verletzungen, meist am ipsilateralen Sprunggelenk, Risikofaktor für Knie- und VKB-Verletzungen sein können (Kramer, Denegar, Buckley & Hertel, 2007).

Um Folgeverletzungen zu vermeiden, ist es demnach unerlässlich, den Rehabilitationsverlauf exakt zu evaluieren und zu überprüfen. Rückständige Defizite im Kraftverhältnis, in der Biomechanik, der Propriozeption und der neuromotorischen Kontrolle müssen behoben sein, um das Risiko für erneute Verletzungen einzudämmen (Smith et al, 2012a).

4.1.2.3 Anatomische Faktoren

Es gibt mehrere anatomische Gegebenheiten, die die Gefahr, eine VKB-Verletzung zu erleiden, begünstigen. So erhöht z.B. ein größerer Q-Winkel¹, häufig bei Frauen zu beobachten, die Verletzungsrate aufgrund der daraus resultierenden veränderten Biomechanik (Mizuno et al, 2001; Pagenstert & Bachmann, 2008). Es entsteht ein höherer statischer und dynamischer Valgusstress.

Weiter ist eine generelle Gelenk-Laxheit, der Forschergruppe um Söderman (2001) zu Folge, ein erhöhter Risikofaktor für Verletzungen der unteren Extremität. Dies gilt auch speziell für die Verletzungsanfälligkeit des vorderen Kreuzbandes, da Gelenkinstabilität allen voran einen negativen Einfluss auf einen medialen Kollaps (dynamischer Valgus) hat. (Ford, Myer & Hewett, 2003; Uhorchak, Scoville, Williams, Arciero, St. Pierre & Taylor, 2003; Hewett, Myer & Ford, 2004).

Die direkte Länge und Stärke des vorderen Kreuzbandes wurden ebenso als Risikofaktoren untersucht. Im Gender-Vergleich sind Frauen aufgrund eines kürzeren und weniger kräftigen Ligament verletzungsgefährdet als Männer (Chandrashekar, Mansour, Sauterbeck & Hashemi, 2005).

Aufgrund der geringen Beeinflussbarkeit anatomischer Risikofaktoren, wird auf eine weitere Ausführung passender Belege verzichtet.

4.1.2.4 Biomechanische Faktoren

Im vorangegangenen Abschnitt wurden bereits Beispiele aus der anatomisch bedingten Risikogruppe genannt, die Einfluss auf die Biomechanik eines Sportlers haben. Aber auch neuromuskuläre Defizite können die Biomechanik von Bewegungsabläufen beeinträchtigen (Petersen et al, 2016). Daraus resultieren Fehl- und Überbelastungen, die sich als Schmerzsyndrom oder traumatische Verletzung äußern (Hewett et al, 2006; Alentorn-Geli et al, 2009; Volpi et al, 2016). Die biomechanischen Parameter unter

¹ Der Quadrizeps- (Q-)Winkel ist eine Beschreibung des Valguskraftvektors, der bei Kontraktion des Quadrizeps auf die Patella wirkt. Der Winkel wird geformt von einer Linie zwischen Spina iliaca anterior superior und dem Zentrum der Patella und einer Linie zwischen Zentrum der Patella und der Mitte der tibialen Tuberositas (Pagenstert & Bachmann, 2008, S.890).

Berücksichtigung genauer Verletzungsmechanismen im Fußballsport werden im Abschnitt 4.2.1.2 detailliert betrachtet.

4.1.2.5 Neuromotorische Faktoren

Das neuromuskuläre Zusammenspiel hat großen Einfluss auf Bewegungsmuster und Bewegungskontrolle während unterschiedlicher Spielsituationen und -aktionen (Alentorn-Geli et al, 2009). Neuromotorische Funktionsdefizite steigern insgesamt das Verletzungsrisiko. Darunter versteht man u.a. nicht adäquate Muskelaktivierung in Bezug auf Größe und Zeitpunkt. Werden Agonist und Antagonist, am Beispiel des Zusammenspiels vom Musculus (M.) quadriceps und der ischiocruralen Muskulatur, angemessen co-aktiviert, kann der Kapsel-Band-Apparat des Kniegelenks entsprechend besser geschützt werden. Zeitliche Verzögerungen der Aktivierung, bzw. ein Missverhältnis der Rekrutierung beim Landen oder Cutting-Manövern kann gleichbedeutend mehr Stress für das Gelenk sein (Hewett et al, 2006). So fanden Zazulak, Ponce, Straub, Medvecky, Avedisian und Hewett (2005) heraus, dass eine verfrühte und zu starke Quadriceps-Aktivierung bei zu schwacher Hamstring-Aktivität dazu beiträgt, dass die einwirkenden Kräfte bei Landungen nicht entsprechend absorbiert werden.

Weiter führen Hewett, Myer und Ford (2006) an, dass entsprechende Voraktivierung gelenkschützender Muskulatur positiven Einfluss auf das Verletzungsrisiko hat. Dies basiert auf der Annahme, dass die Muskulatur im Moment der Verletzung nicht schnell genug reagieren kann und daher die Entwicklung eines vorgespeicherten Bewegungsprogramms risikoreiche Bewegungsmuster beim Landen, Richtungswechseln oder in anderen unerwarteten Situationen vor Verletzungen schützen kann.

Ein weiterer entscheidender Risikofaktor für Verletzungen stellt die fortgeschrittene muskuläre Ermüdung dar. Ermüdete Muskulatur ist nicht mehr in der Lage, einwirkende Kräfte auf das Gelenk entsprechend zu absorbieren, bevor diese Kräfte auf die passiven Strukturen, wie Ligamente, einwirken (Ryder, Johnson, Beynnon & Ettinger, 1997).

4.2 Verletzungsbilder im Fußball

Wie bereits erwähnt sind Verletzungen der unteren Extremität beim Fußball am häufigsten zu beobachten. Dabei ist sich die Literatur insgesamt einig, dass sowohl im Profi-, Leistungs-, als auch Amateurfußball Muskelverletzungen am Oberschenkel sowie Bandverletzungen am Sprung- und Kniegelenk (Tab. 8) die häufigsten traumatischen Fußballverletzungen darstellen (Faude et al, 2009; Loose et al, 2019; VBG, 2017; VBG, 2018). Bezogen auf die Gelenkverletzung, geschehen dabei knapp die Hälfte der Unfälle durch Gegnerkontakt. Sogenannte *No-Contact*-Verletzungen, wie sie bei Richtungswechsel, Stop-and-Go-Bewegungen oder nach Landungen auftreten, sind unangenehme Folge nicht ausreichend stabilisierter Rotationsbelastungen.

Tabelle 8: Body areas affected by traumatic injuries in salaried semiprofessional soccer (n = 996) (verändert nach Loose et al, 2018, S.8)

Injury site	Percentage of traumatic injuries in n (%)
head and neck	38 (3.8)
upper extremity	90 (9.0)
back or trunk	66 (6.6)
hip or groin	156 (15.7)
thigh	181 (18.2)
knee	184 (18.5)
shin	48 (4.8)
ankle	161 (16.2)
foot	71 (7.2)

Eine groß angelegte Studie von Khodaee, Currie, Asif und Comstock (2016) mit 6154 Verletzungen bestätigt die Anfälligkeit für Muskelverletzungen des Oberschenkels und Verletzungen von Knie- und Sprunggelenk als die häufigsten Verletzungsbilder der unteren Extremität bei beiden Geschlechtern. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch eine Studie aus Belgien (Mufty, Bollars, van Lommel, van Crombrugge, Corten & Bellemans,

2015). Auch Roos et al (2016) publizieren entsprechende Ergebnisse bei Frauen (Oberschenkelmuskulatur: 11,6%; Knieverletzungen: 20,2%; Sprunggelenksverletzungen (18,1%) wie auch bei Männern (17,2%; 12,2%; 18,3%), wobei sich die Rangfolge verändert zeigt. Demnach sind Frauen wesentlich anfälliger für Knieverletzungen als Männer, die eher muskuläre Verletzungen und Verletzungen am Sprunggelenk erleiden. Bei beiden Geschlechtern konnte auch eine erhöhte Inzidenz für Kopfverletzungen nachgewiesen werden (F: 17,9; M:12,5).

4.2.1 Verletzungen am Kniegelenk

Verletzungen des Kniegelenkes gehören – wie bereits erwähnt - zu den häufigsten im Sport, insbesondere in Ballsportarten, da das Kniegelenk neben dem Gegnerkontakt auch hohen Kraftbelastungen ausgesetzt ist. Anderson und Paar (2013) zufolge wirkt allein beim Gehen das drei- bis vierfache Körpergewicht auf das Gelenk. Weiter ist es aufgrund der Lage zwischen den zwei längsten Röhrenknochen im Körper hohen Drehbelastungen ausgesetzt. Gekoppelt mit der geringen, knöchernen Stabilisierung aufgrund der inkongruenten Gelenkflächen gilt das Kniegelenk als besonders verletzungsanfällig.

Nach Engelhardt (2009) unterscheidet man im Verletzungsfall, je nach Impuls auf das Gelenk, Meniskus-, Ligament- oder Knochen-/Knorpelverletzungen. Abbildung 19 veranschaulicht die Verteilung der Verletzungsbilder nach Bollen (2000).

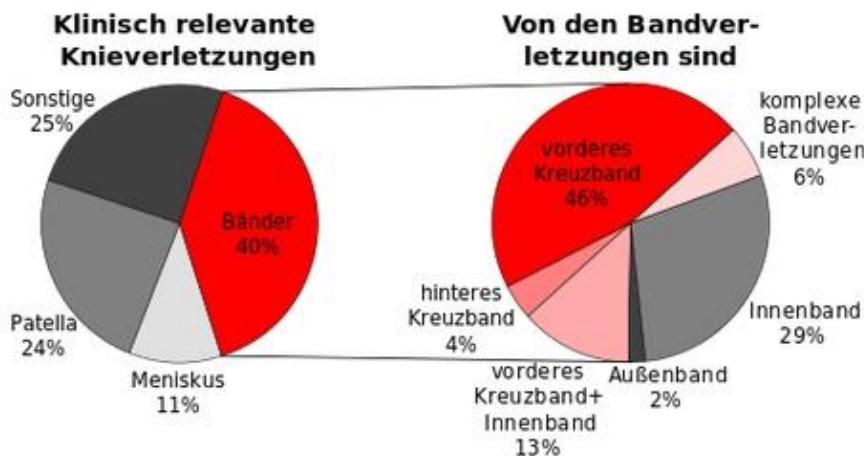


Abbildung 19: Knieverletzungen und deren Häufigkeit (Bollen, 2000).

Fokus dieser Arbeit liegt aufgrund ihrer Inzidenz in erster Linie auf Verletzungen des Kapselbandapparates im Kniegelenk, mit dem Schwerpunkt auf Verletzungen des vorderen Kreuzbandes.

4.2.1.1 Anatomische und funktionelle Grundlagen

Das Kniegelenk besteht aus zwei knöchernen Gelenkpartnern mit inkongruenten Gelenkflächen, welche die Funktionsweise des Gelenks beeinflussen. Dies bieten nur wenig Stabilität, daher ist der Kapselbandapparat des Kniegelenks für die Gelenkstabilität von besonderer Bedeutung (Platzer, 2009; Anderson & Paar, 2013). Auch die Kreuzbänder stellen eine wichtige Gruppe der Kniegelenksbänder dar. Sie liegen intrakapsulär und dienen in erster Linie der Kontakterhaltung und Stabilisation bei Drehbewegungen. Beide Kreuzbänder absorbieren einen sehr großen Anteil aller auftretenden Schubkräfte im Kniegelenk und sorgen für eine optimale Gelenkführung in Bewegung. Allen voran das vordere Kreuzband, dass aus zwei funktionellen Bündeln besteht, sichert eine physiologische Gelenksführung und „*unter verschiedenen Beugewinkeln gegen die anteriore tibiale Translation*“ (Petersen & Zantop, 2009, S. 297). Um die Funktion und die im nächsten Punkt beschriebenen Verletzungsmechanismen besser zu verstehen, bedarf es einer genaueren Betrachtung des Verlaufs der Kreuzbänder. Das Ligamentum (Lig.) cruciatum anterior (ACL) zieht dabei vom vorderen Tibiaplateau in den hinteren Bereich des lateralen Femurkondyls. Das Lig. cruciatum posterior (PCL) zieht analog dazu vom Tibiaplateau hinter dem ACL leicht nach vorne hin zum lateralen Femurkondyl (Behnke, 2005; Platzer, 2009; Prentice, 2011; Anderson & Parr, 2013; Münch, 2013b).

Welche Auswirkungen die unterschiedlichen Gelenkpositionen auf den Spannungszustand der einzelnen Bandstrukturen haben, wird im Folgenden erläutert. Die Kollateral- als auch die Kreuzbänder stehen dabei im Fokus. So sind beide Seitenbänder sowie der vordere Anteil des ACL bei gestrecktem Knie gespannt (Abb. 20a, S.63). Es kommt durch die Anspannung des ACL, begünstigt durch den Tractus iliotibialis (wirkt außenrotatorisch auf die Tibia ein), und die anatomische Form der Femurkondylen

bei den „*letzten 10° der Streckung [...] zur zwangsläufigen Schlussrotation, die etwa 5° beträgt*“ (Platzer, 2009, S. 212). Verhältnismäßig dazu, wickeln sich die Kreuzbänder leicht auseinander. Unterschieden wird die endgradige Streckung noch hinsichtlich offener oder geschlossener Kette. So rotiert beim Spielbein die Tibia gegenüber dem Femur nach außen, während auf der Standbeinseite der Femur auf der Tibia nach innen rotiert (Kapandji, 2009; Platzer, 2009)

Bei einer Beugestellung des Kniegelenks dagegen entspannen sich die Kollateralbänder nahezu vollständig und der Spannungszustand der Kreuzbänder steigt (Abb. 20b). Dies bedingt unter anderem das Vorwärtsgleiten des Femurs auf dem Tibiplateau. Das ACL reguliert demnach die Position von Tibia und Femur zueinander und verhindert zusammen mit der hinteren Oberschenkelmuskulatur eine vordere Schublade, welche im nächsten Abschnitt nochmal thematisiert wird. Je nach Rotationsbewegung in gebeugter Stellung ändert sich auch die Anordnung der Kreuzbänder zueinander. Bei einer Innenrotation wickeln sie sich ineinander, limitieren dadurch die Bewegungsamplitude und ihr Spannungszustand steigt dementsprechend (Abb. 20c). Bei einer Außenrotation drehen sich die Ligg. cruciata wieder auseinander. Diese Bewegung wird primär durch das Lig. collaterale tibiale limitiert und vom Lig. collaterale fibulare unterstützt. Bedenkt man die Auswirkung unterschiedlicher Gelenkpositionen auf den Spannungszustand, erleichtert dies auch das Verständnis der im nächsten Abschnitt folgenden Verletzungsmechanismen.

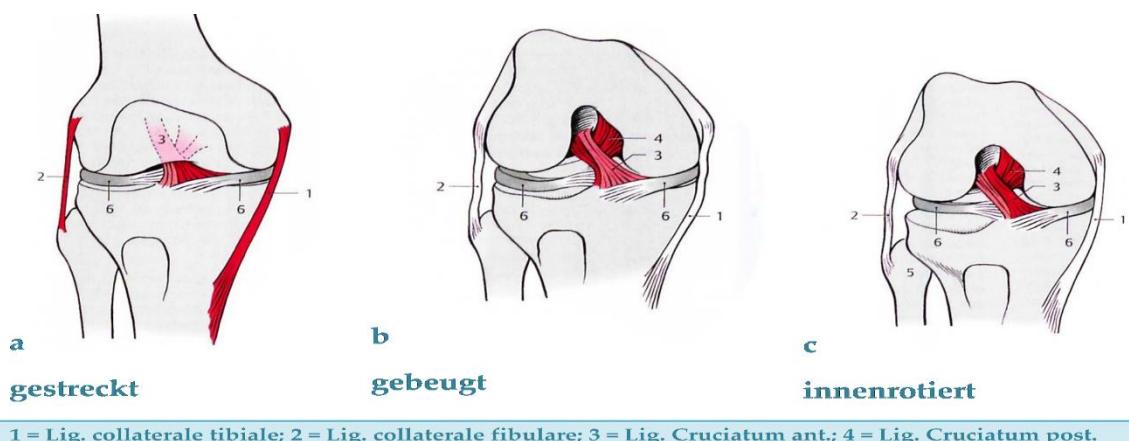


Abbildung 20: Spannungszustand der Bandstrukturen des Kniegelenks abhängig von der Gelenkposition (verändert nach Platzer, 2009, S.213)

4.2.1.2 Verletzungsmechanismen

Um die genauen Mechanismen von Knieverletzungen, speziell von VKB-Verletzungen, zu analysieren, werden in der Forschung unterschiedliche Methoden herangezogen. Eine Übersicht von Shimokochi und Shultz (2008) fasst die Untersuchungsmöglichkeiten der Verletzungsmechanismen zusammen. Dabei nennen die Autoren retrospektive Interviews von Verletzten, Videoauswertungen von Verletzungshergängen sowie in vivo und in vitro durchgeführte Belastungstests des vorderen Kreuzbandes unter Laborbedingungen.

Sowohl die Befragung von Betroffenen als auch die Videoauswertungen ergeben ähnliche Entstehungsmechanismen von vorderen Kreuzbandrupturen, die meist in Situationen der Landung nach einem Sprung, bei Abstoppbewegungen aus dem Lauf oder bei Richtungswechseln vorkommen und auch für andere Ballsportarten wie Volleyball, Basketball oder Handball charakteristisch sind (Shimokochi & Shultz, 2008; Boden, Dean, Feagin & Garrett, 2000; Olsen, Myklebust, Engebretsen & Bahr, 2004; Fauno & Wulff, 2006; Olsen, Myklebust, Engebretsen, Holme & Bahr, 2003).

Der VBG-Sportreport von 2018 fasst typische Verletzungsmechanismen und -Situationen des Kniegelenks im deutschen Profifußball wie folgt zusammen (Tab. 9):

Tabelle 9: Typische Verletzungssituationen im Fußball (verändert nach VBG, 2018, S.87)

Knie	Teil- oder Vollruptur des vorderen Kreuzbandes	Non-Kontakt	nein	Verdrehen, Medialer Valguskollaps	Landung, Landungs-Rich- tungswechsel- Komplex, Lauf	Kopfball, Grätsche, Dribbling, Tackling
		indirekter Kontakt	selten	Kollision mit Gegenspieler + Verdrehen/ Verblocken/medi- aler Valguskollaps	Landung, Landungs-Rich- tungswechsel- Komplex, Lauf	Kopfball, Grätsche, Dribbling, Tackling
	Teil- oder Vollruptur des Innenbandes	Kontakt	gelegentlich, eigenes Foul	Kollision mit Gegen- spieler (Knie-Knie- oder Rumpf-Knie- Kollision)	Stand, Lauf	Tackling, Grätsche

Die Bewegungsmuster der Verletzungssituation werden meist ähnlich beschrieben. Betroffene berichten von Valgus-Momenten im Knie, oftmals kombiniert mit einer Innen-

oder Außenrotation während sich das Knie in geringer Flexion (bis zu 20°) befindet (Ferretti, Papandrea, Conteduca & Mariani, 1992; McNair, Marshall & Matheson, 1990). Auch die beobachtende Analyse via Videoauswertung von den Forschergruppen um Boden, Dean, Feagin und Garrett (2000) sowie Olsen et al (2004) beschreiben ähnliche Situationen und stellen zusätzlich fest, dass das betroffene Knie bei geringer Kniebeugung meist Bodenkontakt hat und belastet ist. Den risikoreichen Zusammenhang zwischen geringem Kniebeugewinkel unter Belastungsmomenten beschreiben auch Dai, Mao, Garrett und Yu (2014). Diese sehen die zu stark extendierte Knieposition als Ursache für eine zu hohe Tibia-Translation nach anterior, was die Spannung im Lig. cruciatum anterior erhöht. Dabei wirkt der „*posterior ground reaction force*“ (Dai et al, 2014, S.300) als Antwort des Kniegelenks in Extension auf den entstandenen Flexionsmoment bei der Kraftübertragung des Bodens auf das Bein beim Initialkontakt (IC). Die dafür benötigte Quadrizepsspannung forciert einen Tibiavorschub, welcher das VKB-Verletzungsrisiko steigert. Auch Cochrane, Lloyd, Buttfield, Seward & McGivern (2007) konnten in ihrer Studie nachweisen, dass die meisten Verletzungen während Side-Cuttings oder während des Landevorgangs nach einem Sprung mit kaum gebeugtem Kniegelenk (<30°) erfolgen, und dass 47% der non-contact-Verletzungen Valgusmomente im Knie, sowie 42% eine Innenrotation der Tibia aufweisen. Waldén et al (2015) konnten bei den Mechanismen der zu geringen Knieflexion beim IC sowie der Valgus-Position im Knie keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Geschlechtern feststellen, auch wenn der dynamische Valgus bei Frauen deutlich höher ausfiel. Zusätzlich zählt diese Forschungsgruppe analog zu Hewett (2005; 2010) eine forcierte Eversion im Sprunggelenk als Faktor, der die Gefahr für eine Kreuzbandverletzung erhöht (siehe Abb. 22, S. 67).

Besonders die einseitige Belastung oder das explizite Landen auf einem Bein erhöht das Verletzungsrisiko (Volpi, 2016). Eine verstärkte Knieabduktion sowie eine zu geringe Hüftbeugung wie auch eine verstärkte Hüftadduktion im Moment des IC steigern zudem das Risiko einer VKB-Verletzung (Boden et al, 2009; Padua, 2012). Waldén et al (2015) fanden zudem heraus, dass vor allem Defensivspieler in Pressing-Situationen vom beschriebenen Verletzungsmechanismus betroffen sind, wie Abbildung 21 (S. 66) veranschaulicht. Weitere typische Spielsituationen für Verletzungen beschreiben sie als

„re-gaining balance after kicking and landing after heading“ (Waldén et al, 2015, S.4). Auch Brophy et al (2015) beweisen in ihrer Studie, dass mit 73% die meisten Verletzungen im Defensivverhalten, bei gegnerischem gegnerischer Ballkontrolle vorliegen, wobei auch hier wiederum Frauen häufiger betroffen sind (87% gegenüber 63% bei Männern). Im Abwehrverhalten sind das Tackling (51%) gefolgt von Richtungswechseln (15%) die primär risikoreichen Bewegungsmuster.



Abbildung 21: Non-contact-pressing mechanism (right knee) [...] (Waldén et al, 2015, S.5).

Hewett et al (2005) konnten analog dazu in ihrer Studie vor allen bei weiblichen Athleten eine Kombination aus „motions and rotations at all 3 lower extremity joints, potentially including hip adduction and internal rotation, knee (tibial) abduction, tibial external rotation and anterior translation and ankle eversion“ feststellen (Hewett et al, 2010, S.236, angelehnt an Hewett et al, 2005, S.95). Abbildung 22 (S.67) stellt neutral ausgerichtete Gelenkpositionen den Gelenkpositionen im dynamischen Valgus entgegen.

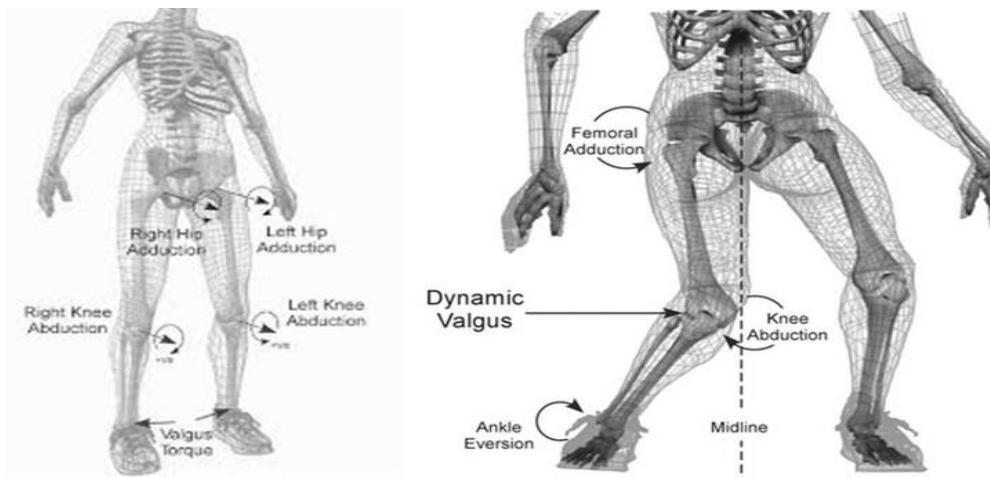


Abbildung 22: Neutrale Ausrichtung der Gelenke der unteren Extremität gegenüber Gelenkpositionen in Valguskollaps-Position (verändert nach Hewett et al, 2005, S.295).

4.2.1.3 Verletzungsursachen und Risikofaktoren

Die im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Verletzungsmechanismen unterliegen unterschiedlichen externen, aber allen voran auch internen Ursachen und Risikofaktoren, welche im Allgemeinen im Abschnitt 5.2. schon dargestellt worden sind. Zusätzlich zu den ursächlichen Risikofaktoren von Kreuzbandverletzungen werden allerdings auch neuromuskuläre Faktoren beschrieben. In Bezug auf Hewett, Ford, Hoogenboom und Myer (2010) gelten vier Ansätze als Hauptursachen von VKB-Verletzungen, wobei weibliche Athleten einer bis zu 6-fach höheren Inzidenz ausgesetzt sind.

Ligament Dominance

Bei jedem Bodenkontakt durch beispielsweise einen Schritt, einer Abstoppbewegung beim Cutting oder durch die Landung nach einem Sprung wirken Körper- und Gewichtskräfte in die Unterlage. Gemäß des dritten Gesetzes nach Newton *Aktion gleich Reaktion* wirkt jeder Kraft, die ein Körper A auf einen anderen Körper B ausübt, eine Gegenkraft entgegen (Baker, 2009). Hewett et al (2010) geht beim einfachen Gehen vom zwei- bis dreifachen Körpergewicht als Gegenkraft aus. Fußballtypische Bewegungsmuster wie Rennen, Cutting, Springen oder Landen erfahren demnach weitaus höhere Gegenkräfte, welche bei muskulärer Dysfunktion von den passiven Strukturen des Kniegelenks absorbiert werden müssen. Eine unzureichende muskuläre Sicherung und Stabilisierung in

verletzungstypischen Situationen sind Ursache dafür, dass die Bodenreaktionskräfte in einem [zu] hohen Maße auf die gelenkstabilisierenden Bänder einwirken. Wenn diese Krafteinwirkung die Rissfestigkeit des Kapselband-Apperates übersteigt, kommt es zu Verletzungen und Rupturen in diesem Bereich. Typisches Verletzungsbild hierfür ist der mediale Kollaps des Kniegelenks in die Valgusposition (vgl. Abb. 22). Die optimale neuromuskuläre Sicherung, allen voran durch eine gut ausgeprägte posteriore Muskelkette (Mm. Glutei, M. ischiocrurale M. triceps surae) hat hier großen präventiven Einfluss (Hewett et al, 2010; Volpi et al, 2016). Welche Rolle dabei auch die Rumpfstabilität und die motorische Kontrolle des Rumpfes spielt, wird unter *‘Trunk dominance’* vertieft erklärt.

Quadriceps Dominance

Nach Volpi et al (2016) beschreibt diese These, dass Athleten dazu tendieren, ihr Knie primär durch die Kontraktion des M. quadriceps zu stabilisieren. Dies hat allerdings einen tibialen Schub nach anterior zur Folge, was eine erhöhte Scherbelastung des ACL nach sich zieht. Auch hier zeigen Frauen verstärkt dieses muskuläre Ungleichgewicht (Hewett et al, 2010). Eine erhöhte Quadrizepsspannung, kombiniert mit zu geringer Knieflexion z.B. bei Landungen wirkt der Funktion des vorderen Kreuzbandes entgegen, die Tibia in Relation zum Femur nach posterior zu stabilisieren. Analog zur *‘ligament dominance’* wird auch hier die hintere Muskelkette zu wenig benutzt, um das Gelenk allumfassend zu stabilisieren. Der M. quadriceps, der über die Patellasehne am Tuber ositas tibiae ansetzt, hat auf Grund dessen lediglich eine eindimensional stabilisierende Wirkung auf das Kniegelenk. Die posteriore Muskelkette, bestehend aus den Mm. Semitendinosus, Semimembranosus und biceps femoris, verfügt über mediale und laterale Ansatzpunkte am Knie Ansatzpunkte, weswegen diesen Muskeln eine wichtige Rolle bei der Kniegelenksstabilisation zugeschrieben wird. Nyland, Caborn, Shapiro, Johnsen und Fang (1999) zufolge hat die ischiocrurale Muskulatur durch ihren dreifachen Ansatz am Unterschenkel stabilisierende Wirkung, sowohl in der sagittalen als auch in der transversalen Ebene. Die Hamstrings arbeiten als muskuläre Synergisten des vorderen Kreuzbandes, stabilisieren die Tibia in Relation zum Femur, also nach posterior, und

kontrollieren somit die Belastung des Bandes. Weiter sind Sie durch ihre Knie beugende Funktion in der Lage, das Gelenk besser zu positionieren, um einwirkende Kräfte zu absorbieren (Hewett et al, 2010).

Leg Dominance

Eine einschlägige Einbein-Dominanz ist ein weiteres Indiz für ein erhöhtes Verletzungsrisiko beim Fußballspieler. Die '*Leg dominance*' ist definiert als „*imbalance in strength, coordination and control between the two lower extremities*“ (Read, Oliver, De Ste Croix, Myer & Lloyd, 2016, S.1060). Zu große Seit-zu-Seit-Differenzen bezüglich Muskelkraft, -rekrutierung, Koordination aber auch Muskelflexibilität prädisponieren demnach Bandverletzungen im Kniegelenk (Hewett et al, 2005, 2010; Volpi et al, 2016). Im Fußball ist Read et al (2016) zufolge eine Beindominanz offensichtlich, wenngleich das Ungleichgewicht bei Männern bei weitem nicht so ausgeprägt ist, wie bei weiblichen Athleten (Hewett et al, 2005, 2015; Myer, Ford, Khouri, Succop & Hewett, 2010). Bei Belastungsasymmetrien ist allen voran das Schussbein verletzungsanfälliger. Hier sind, in Situationen in welchem das Schussbein zum Standbein wird, Männer (74,1%) häufiger betroffen als Frauen (32%) (Brophy, Silvers, Gonzales & Mandelbaum, 2010).

TrunkDominance (Core Disfunction)

Die Fähigkeit, fußballtypische Bewegungsmuster zu stabilisieren, wird mitunter auch über die Körpermitte, bzw. den Rumpf initiiert. ,*Trunk dominance*' meint hier das Unvermögen, innerhalb athletischer Bewegungssituationen, den Körper in allen drei Bewegungsebenen adäquat zu kontrollieren (Volpi et al, 2016). Ursächlich ist hier ein schnelles Längen- und Breitenkörperwachstum im Jugendalter und die mangelnde muskuläre und neuromuskuläre Adaption, die neuen Körperproportionen zu steuern (Hewett et al, 2010). Auch hier sind Frauen wieder häufiger betroffen, da sie einmal einen höheren Körperschwerpunkt entwickeln und außerdem im Vergleich mehr Defizite bei der muskulären Adaption aufweisen. Auch Frank, Bell, Norcoss, Blackburn, Goerger und Padua (2013) sind der Meinung, dass “*excessive trunk motion and deficits in neuromuscular control (NMC) of the lumbopelvic hip complex are risk factors for anterior cruciate ligament (ACL) injury*” (S.2676).

5 Verletzungspräventive Maßnahmen im Fußball

Das Thema Verletzungsprävention hat in den letzten Jahren großes Interesse in der Forschung hervorgerufen. In der Literatur gibt es unzählige Studien zu Screeningtests und Präventionsprogrammen (Mandelbaum et al, 2005; Steffen, Bakka, Myklebust & Bahr, 2008; Padua, Marshall, Boling, Thigpen, Garrett & Beutler, 2009; Kiani, Hellquist, Ahlqvist, Gedeborg, Michaelsson & Byberg, 2010; Smith et al, 2012; Waldén, Atroshi, Magnusson, Wagner & Hägglund, 2012; Padua et al, 2015). Bevor aktive Präventionsmaßnahmen ergriffen werden können, bedarf es allerdings einer fundierten epidemiologischen Analyse und Risikoanalyse. Freiwald et al (2006) sehen daher epidemiologische Studien und Risikoanalysen als Basis erfolgreicher Prävention. Zielführende Prävention ist daher ein Zusammenspiel mehrerer Aspekte, was in Abbildung 23 veranschaulicht werden soll.

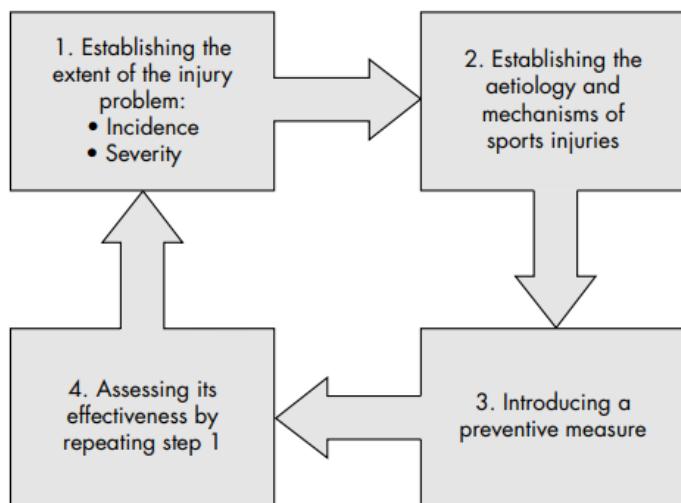


Abbildung 23: Four step sequence of injury prevention research (Bahr & Krosshaug, 2005, S.325).

5.1 Funktionelle und biomechanische Leistungsdiagnostik

Im Leistungsfußball spielt die Leistungsdiagnostik eine entscheidende Rolle. In jeder Vorbereitungsphase zur neuen Saison oder in der Winterpause wird der Status quo der Spieler abgefragt. Hier stehen allerdings Tests bzgl. der linearen Geschwindigkeit und der (fußballspezifischen) Ausdauer im Vordergrund (Haugen & Seiler, 2015). Gonzales-Balzar (2007) stellt im Rahmen seiner Dissertationsarbeit die Durchführung aller Konditionstests von 15 Fußballbundesligisten aus der Saison 2004/05 gegenüber (Abb. 24, S.71):

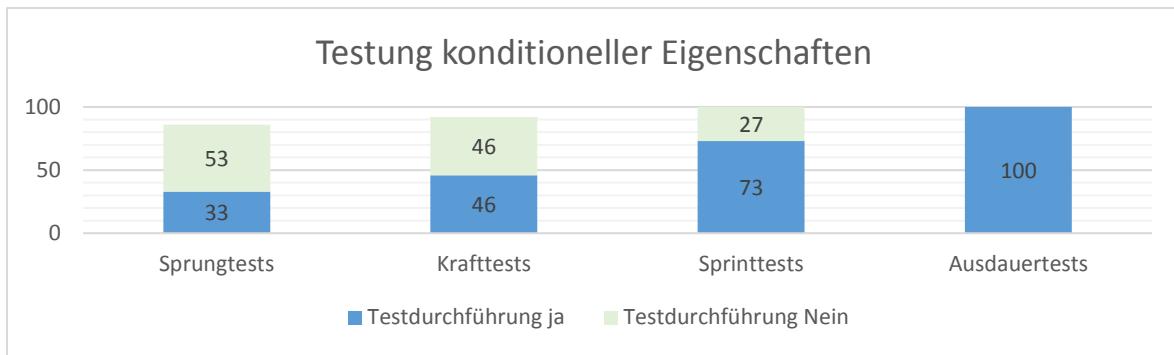


Abbildung 24: Durchführung von Testungen konditioneller Grundeigenschaften (verändert nach: Gonzales-Balzar, 2007, S.41)

Die Ausdauertests mit Laktatauswertung finden hier meist auf einer genormten Bahn in Form eines Feldstufentests statt (Faude, Schlumberger, Fritsche, Teff & Meyer, 2010). Von den 18 Bundesligisten führten lediglich 11 Vereine Sprinttests durch, wobei 73% lineare Tests ohne Ball erfolgten (Gonzales-Balzar, 2007).

Im Sinne der Dezimierung von Verletzungen als Primär-, aber auch Sekundärprävention müssen die klassischen konditionellen Tests um eine funktionelle Testbatterie erweitert werden (siehe Abb. 25). Ziel solcher *Functional Performance Tests* (FPT) ist es festzustellen, ob ein Spieler in konditioneller, aber auch in funktioneller, biomechanischer Hinsicht optimal auf die Belastungsanforderungen eines Sportspiels vorbereitet ist. FPT sind als grundlegende Testmethode definiert, um funktionelle Defizite in der unteren Extremität festzustellen. Dabei handelt es sich um bewegungsbasiertes Messwerkzeug (Yoshida, Taniguchi & Katayose, 2011). FPT-Tests beinhalten bestenfalls Tests zu Kraft, Agilität, Beweglichkeit, sowie Tests für die Propriozeption und posturale Kontrolle, wie in Abbildung 25 (S.72) dargestellt (Manske & Reinmann, 2013; Herbst, Wierer, Fischer, Gföller, Hoser & Fink, 2017). *Functional-Performance-Tests* geben Rückschluss auf quantitative und qualitative Informationen sportspezifischer Bewegungsmustern.

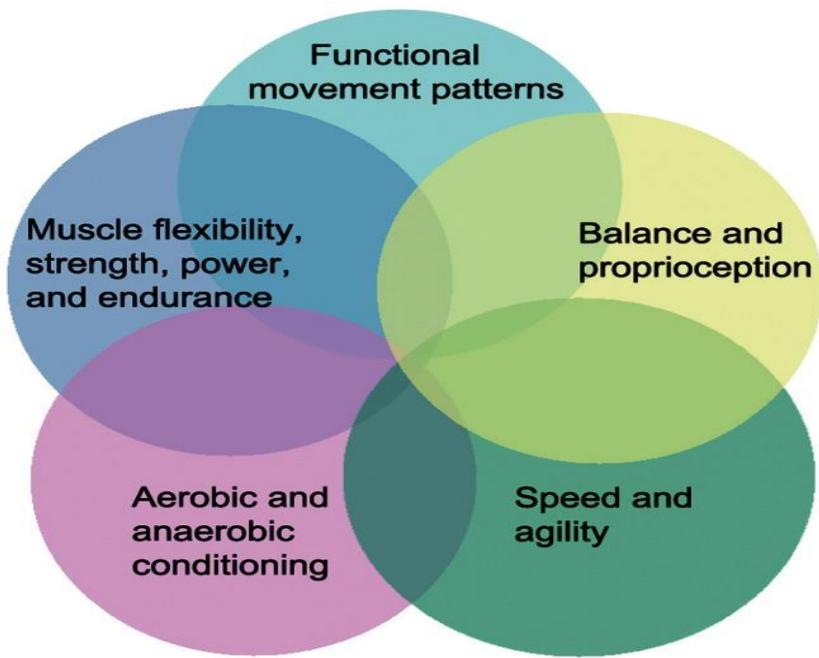


Abbildung 25: Components of functional testing (Manske & Reinman, 2013, S.244).

5.1.1 Sprungtests

Sprungtests finden hauptsächlich in der Leistungsdiagnostik von Sprungsportarten, aber sukzessiv auch im Teamsport ihre berechtigte Anwendung (Gamble, 2010). Sie sind mittlerweile aber auch im verletzungspräventiven und rehabilitativen Kontext typische FPT-Testverfahren. Man unterscheidet Tests mit vertikalen und horizontalen Sprungverhalten, um sowohl aus den quantitativen als auch aus der qualitativen Bewertung Nutzen hinsichtlich Fitness zu ziehen, aber auch das Verletzungsrisiko im Seitenvergleich bewerten zu können. Beide Testformen simulieren Bewegungen, wie sie beim Springen, Landen sowie den Bewegungsabbruch mit Richtungswechsel vorkommen. Durch ihre Praktikabilität in der Durchführung und wegen ihrer Nähe zu Verletzungsmechanismen sind FPT als Testverfahren inzwischen akzeptiert (Abrams et al, 2014). Reid, Birmingham, Stratford, Alcock & Giffin (2007) konnten in ihrer Forschungsarbeit die Reliabilität und Validität von Sprungtests bestätigen. Dabei werden neben quantitativen Sprungparametern (z.B. Sprunghöhe, Bodenreaktionszeit, Reaktivindex = RSI) die Tests auch auf ihre Bewegungsqualität hin bewertet. Allen voran die Gelenke der unteren Extremität sind bei Sprüngen einer hohen Belastung ausgesetzt,

wodurch eine erhöhte Aussagekraft bzgl. Defizite der motorischen Kontrolle im Seitenunterschied möglich ist (Hewett et al, 2005; Deneweth, Bey, McLean, Lock, Kolowich & Tashman, 2010; Paterno et al, 2010; Yoshida, Taniguchi & Katayose, 2011).

Typische Sprungtests innerhalb der FPT (Yoshida et al, 2011; Logerstedt et al, 2012; Moser & Bloch, 2015):

- Single leg-hop for distance
- Triple-hop test for distance
- Crossover-hop for distance
- Figure-8-hop Test
- Side-Hop Test
- Drop-Jump (unilateral und bilateral)
- Counter Movement-Jump

Für diese Arbeit von großer Bedeutung ist der bilateral durchgeführte Drop-Jump, der im Abschnitt 6.4. detailliert vorgestellt wird.

5.1.2 Agilitätstests

Die Agilitätsfähigkeit als leistungsentscheidender Faktor in multidirektionalen Sportarten ist unumstritten (siehe Kapitel 3.1.5). Weiter konfrontieren Agilitätstests Spieler mit Situationen, die sehr spielnah sind und typische Verletzungssituationen im Spiel sehr realistisch simulieren. Es sind vor allem Richtungswechsel, die Knieverletzungen nach sich ziehen und im verletzungspräventiven Sinn daher durch entsprechendes (Technik-) Training automatisiert werden müssen. Patla, Atkin und Ballard (1999) fordert, dass Richtungswechsel im Moment vor der tatsächlichen Aktion initiiert werden müssen. Die Literatur spricht hier von einer antizipatorischen, posturalen Anpassung (Lee, Lloyd, Lay, Bourke & Alderson, 2017). Eine genaue biomechanische Analyse mit entsprechenden Trainingsinterventionen wäre daher eine Möglichkeit, das Verletzungsrisiko zu senken (Dos'Santos, Thomas, Comfort & Jones, 2019). Fox (2018) führt das Beispiel auf, dass *"A fore-foot footfall pattern along with trunk rotation and lateral flexion in the intended cutting"*

direction were identified as biomechanical strategies that could both reduce potentially hazardous knee joint moments and enhance change-of-direction speed" (S.1799).

Eine optimale Biomechanik bei Agilitäts-, oder COD-Bewegungsabläufen wird also sehr mit einer verletzungspräventiven Wirkung in Verbindung gebracht. Für Moser & Bloch (2015) sind Agilitätstests daher unabdingbar.

Einige Beispiele für typische Agility- oder COD-Tests im Fußball zeigt folgende Abbildung 26.

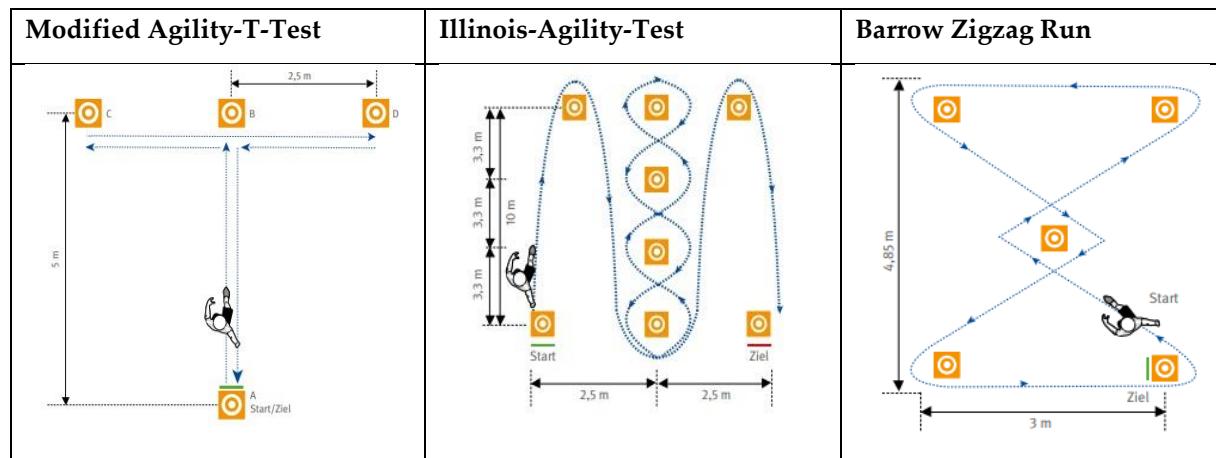


Abbildung 26: Optionale Agility Tests (verändert nach Moser & Bloch, 2015, S.20ff.)

5.1.3 Stabilitätstests

Den Körperschwerpunkt innerhalb seiner Unterstützungsfläche zu halten, definiert die *posturale Balance*. Für den Fußball von größerer Bedeutung ist allerdings die *dynamische Stabilisation*, die Stabilisierung des Körperschwerpunkts innerhalb der Unterstützungsfläche während der Bewegung (Gamble, 2010). Diese Fähigkeit umfasst Wikstrom, Tillmann, Chmielewski und Borsa (2006) zufolge, sowohl die neuromuskuläre Kontrolle als auch die integrierte Funktion verschiedener Systeme. Tests der dynamischen Stabilisierung beurteilen typischerweise die Fähigkeit des Spielers, die Dynamik aus einem spieltypischen Bewegungsablauf zu kontrollieren und stabilisieren (Gamble, 2010). Defizite in der posturalen (dynamischen) Stabilität sind mit Sprunggelenks-, aber auch Knie- und VKB-Verletzungen assoziiert (Hrysomallis, 2007; Paterno, et al, 2010; Moser &

Bloch, 2015). Ein bekannter Stabilitätstest ist der, in Abbildung 27 dargestellte, Star Excusion Balance Test (SEBT). Er zeigt, dass zu große Seitenunterschiede ein erhöhtes Verletzungsrisiko darstellen (Dallinga, Benjaminse & Lemmink, 2012).

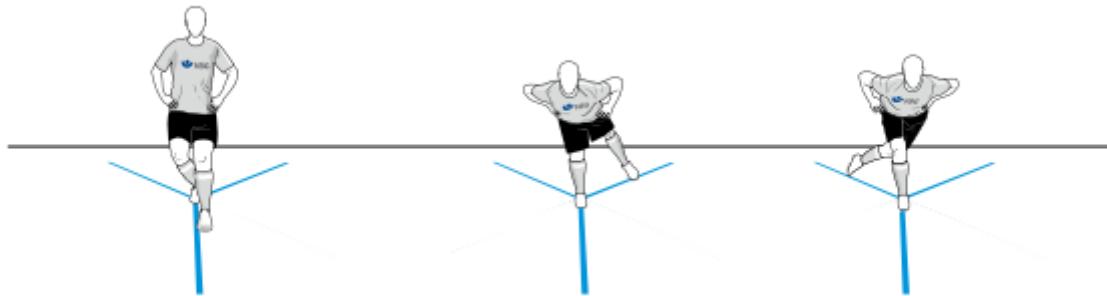


Abbildung 27: modifizierter SEBT (Moser & Bloch, 2015; S.11)

5.1.4 Mobilitätstest

Mobilitätstests finden im Assessment Tool der Screening-Tests kaum Anwendung. Ein Test, der in der Forschung von Sportverletzungen dennoch umfangreich analysiert wurde, ist der *Functional Movement Screen* (FMSTM), eine Kombination aus Mobilitäts- und Stabilitätstest (McCall et al, 2014). Eine Befragung von 44 Erstligisten aus dem weltweiten Profifußball belegte die Anwendung des FMSTM anteilig von 66% der teilnehmenden Mannschaften. Insgesamt wurde der Zusammenhang zwischen FMSTM Score und Verletzungen dennoch kontrovers diskutiert (McCunn, aus der Fünften, Fullagar, MccKeown & Meyer, 2015). Da Mobilitätstests in der zugrundeliegenden Studie nicht durchgeführt wurden, wird diese Methode? in der Dissertationsarbeit nicht weiter ausgeführt.

5.2 Sportartspezifität im präventiven Athletiktraining

„Jede Sportart erfordert, je nach Anspruchs- und Leistungsniveau, zur erfolgreichen Durchführung ein sportartspezifisches physisches oder konditionelles Leistungsniveau, eine entsprechende Beherrschung der Technik zur Durchführung der sportartspezifischen Bewegungsabläufe [...].“ (Eder & Hoffmann, 2014, S.357)

Besonders Mannschaftssportarten erfordern eine adäquate Handlungsplanung der Spieler in Bezug auf sich, sowie Mit- und/oder Gegenspieler bzw. Spielsituation, um letztere erfolgreich zu meistern. Dabei sind diese Sportarten durch spezifische Bewegungsabläufe und Bewegungsmuster charakterisiert. Die Sportartspezifität kommt dabei sowohl bei Aktionen und Reaktionen im Sinne von Bewegungsabläufen, innerhalb einer Spielsituation, als auch in Bezug auf eine adäquate Verarbeitung innerhalb dieser Bewegungsmuster seitens der biologischen Strukturen zur Geltung (Eder & Hoffmann, 2014). Man geht davon aus, dass die beste Art und Weise, präventiv zu trainieren darin besteht, die tatsächlichen Bewegungen der Sportart auszuführen. Um maximalen Lerntransfer zu gewährleisten, muss Spezifität im Training an oberster Stelle stehen. Trainingsinhalte müssen also der Zielsportart gleichen, um einen optimalen, automatisierten Effekt in den Wettkampf zu transferieren (Bosch, 2016). Spezifisches Training hat optimalerweise nicht nur das Verbessern konditioneller, technischer oder taktischer Leistungsvoraussetzungen als Aufgabe, sondern inkludiert für die verletzungspräventive Wirkung von großer Bedeutung auch biomechanische und neuromotorische Kriterien (Heiderscheit, Sherry, Slider, Chumanov & Thelen, 2010).

5.2.1 Ziele des sportartspezifischen, präventiven Athletiktrainings

Auf Basis eines funktionellen Grundlagentrainings, das einen funktionsfähigen Bewegungsapparat als Ziel verfolgt, erfordert fundiertes Athletiktraining primär sportartspezifische Bewegungsmuster zu optimieren und zu stabilisieren. Es verfolgt die Absicht „*eine überdurchschnittliche und individuell sportartspezifische maximale Leistungs- und Wettkampftauglichkeit auf Basis allgemein funktioneller Fähigkeiten aufzubauen*“ (Münch, 2011, S.16). Die technischen und koordinativen Fähigkeiten sollen unter voller Wettkampfbelastung dahingehend verbessert werden, dass sich die biomechanische Belastung auf passive Strukturen verringert (Freiwald et al, 2006). Verrall et al (2005) bestätigen, dass es unerlässlich ist, durch entsprechendes Training den Stoffwechsel hinsichtlich der sportspezifischen Belastungen zu konditionieren, um im Wettkampf widerstandsfähiger gegenüber neuromuskulärer Ermüdung zu sein, die als großer

Risikofaktor für Verletzungen gilt. Demnach geht es im Sinne der Verletzungsprävention primär nicht darum, sportartspezifische Leistungen zu verbessern, sondern um die optimale Vorbereitung des Körpers auf die Bewegungsanforderungen der Sportart.

Athletiktraining im modernen Sinne verfolgt demnach zwei große Ziele:

- Die Förderung und damit einhergehenden Entwicklung physiologischer Reserven, um die sportliche Leistungsfähigkeit zu optimieren, sowie
- die physiologischen und neuromotorischen Leistungsvoraussetzungen zu schaffen, Wettkampfleistungen zu absolvieren und dabei das Verletzungsrisiko so minimal wie möglich zu halten (Joyce & Lewindon, 2016).

Ausgangspunkt sind allgemeine sportmotorische Belastungskomponenten wie Kraft, Ausdauer, Koordination, Schnelligkeit und Mobilität, allerdings in Form sportartenentsprechender Bewegungsmuster. Athletiktraining integriert demnach die Sportartspezifität und versucht, gezielt an individuellen physischen sowie funktionellen Stärken und Schwächen zu arbeiten (Joyce & Lewindon, 2016; McGuigan, 2016).

Die relevanten Aspekte dieser Arbeit sind vorrangig die verletzungspräventiven Einflüsse eines Trainingsprogramms. Daher wird im Punkt 5.3 gezielt auf Trainingsinhalte eingegangen, die dazu beitragen, das Verletzungsrisiko zu senken (Schrey & Feil, 2012; Münch, 2011; Münch, 2013c; Cook, 2014).

5.2.2 Die Notwendigkeit von Sportartspezifität

Besonders im Vergleich zu Individualsportarten ist Fußball sehr komplex und setzt sich aus unterschiedlichsten Bausteinen zusammen. Dabei sind die allgemeinen konditionellen Fähigkeiten ausschlaggebende Parameter. Aus funktioneller Sicht spielen vorrangig auch athletische Leistungskomponenten, wie funktionelle Kraft und Mobilität, Stabilität und Balance sowie Agilität eine entscheidende Rolle. Diese Bausteine müssen sowohl sportartübergreifend als auch sportartspezifisch in eine fundierte Trainingsplanung einfließen. Trainingsprogramme sollen demnach sportartadäquat und techniknah sein, da daraus positive Effekte im Bereich neuromuskuläre Kontrolle resultieren (Jöllenbeck et al,

2013). Auch Freiwald et al (2006) fordern gezielte koordinative fußballspezifische Inhalte in Trainingsprogrammen. *Sportspecific drills*, wie Side-Steps, Vorwärts- oder Rückwärtsläufe, Richtungswechsel, Standstabilität im Zweikampf, Sprünge und Landungen mit Anschlusshandlungen, Sprints mit Abbremsbewegungen sind Schwerpunkte, die präventives Athletiktraining charakterisieren (Fagenbaum & Darling, 2003; Freiwald et al, 2006; Michaelidis & Koumantakis, 2014; Hewett, 2005; Hewett, DiStasi & Myer, 2013). Die Notwendigkeit körperlich optimal auf die funktionellen Belastungsanforderungen spezieller Sportarten vorbereitet zu sein, ist unumstritten. Belastung und Dynamik müssen sich in den Trainingsinhalten widerspiegeln. So betrachtet es Gray Cook (2014) als unabdingbar, dass spezielle Bewegungsabläufe der jeweiligen Sportart in ein funktionelles Athletiktraining integriert werden und diese in einer für die jeweilige Sportart realistischen Umgebung stattfinden. Das Training sollte also bestenfalls auf dem Spielfeld, mit entsprechender Ausrüstung (Fußballschuh) und unter Einsatz des Spielgerätes stattfindet (Schrey & Feil, 2012; Cook, 2014; Münch, 2013a, 2013b, 2013c).

5.3 Inhalte präventiver Trainingsprogramme

Wie in Abschnitt 5.2. bereits angedeutet, werden die positiven Einflüsse spezieller präventiver Trainingskonzepte auf das Verletzungsrisiko im Fußball in der Sportwissenschaft einschlägig untersucht. Die Inhalte sollten als fester Bestandteil in jeden Trainingsprozess integriert werden, um das Verletzungsrisiko nachhaltig senken zu können. Neuromuskuläre Kontrolle und Adaptionen sind das erklärte Ziel von Präventionsprogrammen. „*Durch Optimierung der Sensomotorik bzw. der sensomotorischen Kontrolle wird die Modifikation von Bewegung und Motorik zur Vermeidung von Bewegungsabläufen, die Verletzungen begünstigen, angestrebt*“ (Jöllenbeck et al, 2013, S.15f). Das Warm-Up bietet sich dafür an, leistungssteigernde und auch verletzungspräventive Elemente in das Training, aber auch in die Wettkampfvorbereitung zu implementieren. Devore und Hagerman (2006) konstatieren die Bedeutung eines hochwertige Warm-Up aus „*[...] components of both game-related skills and specific movements to prepare the athlete for*

the optimum play“ (S.14). Auch Christian Klein (2014) versteht hier die Bereiche der allgemeinen Erwärmung und Aktivierung, Koordination, Mobilisation und Beweglichkeit, Rumpfstabilisation und funktionelle Kräftigung, sowie Sensomotorik und Beinachsenstabilität für den Fußballspieler als essentiell. Jöllenbeck et al (2013) schreibt in dem Zusammenhang Übungen aus den Bereichen Mobilität, Agilität, Plyometrie, Varianten der Kniebeugen, sowie Sprung- und Landetraining eine große Bedeutung zu, während Tony Strudwick (2016) zusätzlich die Effektivität von (Ball-) Übungen „*mit Richtungs- und Tempowechseln, sowie spezifischer Bewegungsmuster, die mit denen vergleichbar sind, die im Spiel vorkommen*“ (S.132) betont.

5.3.1 Neuromuskuläres Training

Neuromuskuläres, propriozeptives oder sensomotorisches Training sind Begrifflichkeiten, die Trainingskonzepte beschreiben, welche das Zusammenspiel von Nerven- und Muskelsystem optimieren sollen (Risberg, Mork, Jenssen & Holm, 2001). Um Verständlichkeit zu gewährleisten wird in dieser Arbeit allgemein der Begriff *neuromuskulären Training* verwendet.

Innerhalb sportartspezifischer Belastungen ist ein entsprechendes neuromuskuläres Kontrollsysteem, das die Gelenke dynamisch stabilisiert, essentiell. Immer wiederkehrende Dreh- und Rotationsbewegungen um alle Körperachsen können die Gelenkstrukturen in sämtlichen Bewegungsrichtung in ihrer Stabilität gefährden. Daher ist es unerlässlich, im sportartbezogenen Athletiktraining zur Verletzungsprophylaxe großen Wert auf neuromuskuläres Stabilitätstraining zu legen. Ziel ist die Verbesserung des Zusammenspiels von Nerven- und Muskelsystem innerhalb sportartspezifischer Bewegungsmuster, damit es zu einer besseren Kontrolle der gelenkumgreifenden Muskulatur und einer damit situationsadäquaten Muskelaktivierung kommt. Daraus lassen sich zwei mögliche präventive Wirkungen ableiten. Durch Antizipation und situationsadäquate Muskelaktivierung der gelenkstabilisierenden Muskulatur werden eventuelle Verletzungsrisiken reduziert. Außerdem ermöglicht es in einer potentiellen Verletzungssituation eine schnellere aktive Gelenkstabilisation. Eine durch NMT

optimierte intra- und intermuskuläre Koordinationsfähigkeit hat hier großen Einfluss hinsichtlich der Gelenkstabilität (Gruber, 2007). Die Optimierung der neuromotorischen Kontrolle forciert die Verbesserung von Reflexantworten und Voraktivierungen, um den Körper auch vor unbewussten und unwillkürlichen Belastungen zu schützen. Grundlage hierfür ist der Mechanismus der Bewegungsautomatismen (Jöllenbeck et al, 2013).

Wie wichtig eine ausgeprägte Kontrolle der Rumpf- und Beinachsenstabilität im Fußballspiel ist, ist unumstritten. Der Nutzen eines spezifischen Stabilitätstrainings „zeigt sich allen voran in einer kombinierten Verbesserung von Koordination und Kraft in Situationen, die gerade beim Fußballspiel gehäuft vorkommen“ (Kollath & Buschmann, 2010, S. 8). Zweikämpfe und die Ausführung typischer Bewegungsmuster unter der Prämisse Verletzungen zu vermeiden erfordern hohe physische Anpassungsfähigkeit. Entsprechende Körperstabilität oder auch Körperbalance im Fußball zeichnet sich hauptsächlich in seiner dynamischen Form aus. Der Sportler muss in der Lage sein, Bewegungsmuster aneinanderzureihen, ohne dabei die Kontrolle über den Bewegungsablauf zu verlieren. In Anbetracht unerwarteter Ereignisse oder Störfaktoren (Gegnerkontakt) ist daher eine einschlägige Stabilisierungsfähigkeit entscheidend, um Verletzungen zu vermeiden.

Abhängig davon, wieviel Zeit Spieler für ein Warm-Up-Programm haben, unter welchen Bedingungen (Witterung) sie sich bewegen, oder auf welche exakten Trainings- bzw. Wettkampfinhalte sich der Athlet vorbereiten muss, kann die Verwendung der einzelnen Komponenten variiert werden (Larson, 2016). Wie zuvor angedeutet, kann neuromuskuläres Training als Überbegriff aller funktionellen Trainingsinhalte betrachtet werden. Alle folgenden Aspekte des präventiven Athletiktrainings zielen dabei auf eine Verbesserung des neuromuskulären Systems ab (Schrey & Feil, 2012; Münch, 2013b; Krutsch et al, 2013).

5.3.2 Thermogenese und allgemeine Erwärmung/Aktivierung

Allgemeine Aktivierung und Erwärmung soll den Fußballer adäquat vorbereiten. Das Herz-Kreislauf-System wird aktiviert, die Muskeldurchblutung angeregt und die

Körperkerntemperatur erhöht. Gesteigerte Muskeldurchblutung bereitet den Spieler auf die mechanischen Belastungen während des Sports vor. Aufwärmen allgemein kann die Belastungstoleranz von Geweben steigern. So erhöht das Warm-Up die Muskelelastizität und senkt die Viskosität der Muskulatur (Prentice, 2011). In Kombination mit koordinativen Übungen wird zusätzlich die Bewegungsausführung gezielt gefördert und Bewegungsabläufe bestenfalls automatisiert (Klein, 2014). Effekte wie verbesserte Konzentration und Koordination haben sich als präventive Maßnahmen im Fußball bewährt (Freiwald et al, 2006).

Inhaltlich werden hier unterschiedliche Laufübungen angewandt, die einen hohen Bezug zur Zielsportart haben:

- Vorwärts- und Rückwärtslaufen
- Kniehebelläufe und Anfersen
- Seitwärtsläufe, Side-Steps, Crossover-läufe
- Sprunggelenksläufe und Hoppings
- Dribblings (Olsen, Myklebust, Engebretsen, Holme und Bahr, 2005; Larson, 2016; Strudwick, 2016)

Für eine präventive Progression ist es wichtig, die Intensität bzw. das Lauftempo innerhalb der Erwärmungs- und Aktivierungsphase stetig langsam erhöhen (Strudwick, 2016).

5.3.3 Mobilitätstraining und *Movement Preparation*

Bewegungsbasierte Beweglichkeitsarbeit soll in allen Körperebenen der Steigerung von Beweglichkeit und Mobilität dienen. Bei der Durchführung entsprechender dynamischer Mobilitätsübungen ist es wichtig, den Bewegungen sportspezifischen Charakter zu verleihen und diese progressiv, fließend durchzuführen. Ziel ist es, Bewegungsabläufe, die hohe Mobilität erfordern, in Wettkampfsituationen unbewusst abrufen zu können, um so Verletzungen zu vermeiden (Jöllenbeck et al, 2013). Bei der Auswahl der Übungen ist daher wichtig, dass es sich um Bewegungsmuster handelt, die den gesamten Körper

beanspruchen (Strudwick, 2016). Klein (2014) bezeichnet dynamische Mobilisationsübungen als „*bewegungsvorbereitende Übungen, die die Beweglichkeit verbessern und die Muskulatur gezielt aktivieren*“ (S 16). Weiter wird innerhalb der angesteuerten Bewegung das Zusammenspiel von Bewegungsmuskulatur und Gelenk verbessert. Außerdem ermöglicht dynamisches Stretching und Beweglichkeitstraining im Warm Up einen positiven Einfluss auf die sofortige verbesserte Schnellkraft und Agilität und kann somit eine leistungssteigernde Co-Wirkung mit sich bringen (Falsone, 2016).

Beweglichkeitsanforderungen einer Sportart dürfen den Athleten nicht vor Probleme stellen. Die Qualität und Effizienz von Bewegungen, ist mitunter von ausreichender Mobilität und Flexibilität abhängig. Abbildung 28 stellt dar, wie wichtig beispielsweise die Mobilität aller beteiligten hüft- und kniegelenks-umgebenden Strukturen bei hoher Ballannahme mit dem Fuß ist, damit (muskuläre) Verletzung vermieden werden können (Foran, 2001).



Abbildung 28:
Mobilitätsanforderung im Fußball (verändert nach Burkhardt, 2012)

Viele Mobilitätsübungen und Movements Preparations entspringen spezifischen Bewegungsmustern aus dem Spiel und wurden allen voran von Mark Verstegen in das moderne Präventionstraining transferiert (Verstegen, 2008; Verstegen & Williams 2015). Beispiele zu entsprechenden Übungen entnehmen sie Abschnitt 7.7.1.

5.3.4 Training der Rumpf- und Becken-Bein-Stabilität

„Eine effektive Stabilität erfordert Widerstand gegen ungewollte Bewegungen und die Kontrolle notwendiger Bewegungen in allen drei Körperebenen“ (Barr & Lewindon, 2016, S.51). Dieser Widerstand ist ein großer Faktor in Bezug auf Leistungsverbesserung und Verletzungsprävention. Im Sinne einer Leistungsoptimierung spielt gute und funktionale Rumpfstabilität eine entscheidende Rolle, wenn es z.B. um die Kraftübertragung beim Sprint geht, oder sich der Spieler im Zweikampf mit Gegnerkontakt behaupten muss (Behm, Cappa & Power, 2009; Kirkendall, 2012; Saunders, Schache, Rath & Hodges, 2005). Der direkte Zusammenhang von isolierten Rumpfstabilisationstraining zur

Verletzungsprävention konnte wissenschaftlich noch nicht bestätigt werden. Erfolgreiche Präventionsprogramme inkludieren vielfältige Trainingsschwerpunkte, wie im späteren Abschnitt 5.6 erläutert wird. Allerdings konnte herausgefunden werden, dass muskuläre Schwächen im Rumpfbereich mit einer erhöhten Verletzungsinzidenz zusammenhängt (McGill, 2004). Auch das Forscherteam Zazulak, Hewett, Reeves, Goldberg & Cholewicki (2007) assoziiert Defizite in der neuromuskulären Rumpfkontrolle mit einer erhöhten Anfälligkeit für Knieverletzungen, allen voran bei Frauen, was den Einsatz von speziellem Core-Training innerhalb eines Präventionsprogramms rechtfertigt. Daraus resultieren folgende Überlegungen: Der Rumpf eines Fußballspielers ist in der Dynamik seines Sports vielen asymmetrischen und auch unerwarteten Bewegungen ausgesetzt, die in der Transversal-, Frontal- und Sagittalebene hohe Kräfte erzeugen. Sie müssen vom Spieler, z.B. bei Abbrems-bewegungen, Zweikämpfen oder Sprüngen dynamisch stabilisiert werden (Barr & Lewindon, 2016). Hier wird ihm die Fähigkeit abverlangt, seine Körperposition während einer explosiven Bewegung automatisiert der neuen Situation anzupassen. Core-Stabilität ist also eine grundlegende Komponente funktioneller Bewegungen, sowohl im Alltag aber allen voran auch im (Leistungs-) Sport (Cook, Burton & Hoogenboom, 2006a; 2006b). Das zeigte eine 2014 publizierte Studie von Kachanathu, Tyagi, Anand, Hameed und Algarni auf, die besagt, dass Core-Stabilisations-Training einen positiven Effekt auf die dynamische Balance von professionellen Fußballspielern hat.

Die Fähigkeit der funktionellen, sportspezifischen Stabilisation unterliegt einem komplexen Zusammenspiel unterschiedlicher, interagierender Komponenten, die in Abbildung 29 veranschaulicht werden.

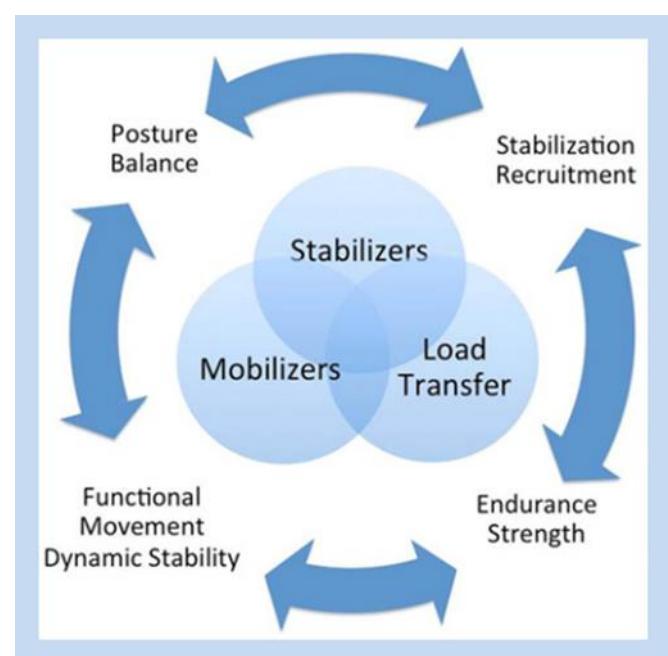


Abbildung 29: Functional Core Stability (verändert nach Huxel Bliven & Anderson, 2013, S.516)

Präventionsprogramme müssen bzgl. Core-Stabilität folgende Ziele verfolgen:

- Verbesserung der Rekrutierung lokaler und globaler Stabilisatoren
- Verbesserung der Rekrutierung globaler Mobilisatoren
- Verbesserung der Rekrutierung der Muskulatur, die für die Kraftübertragung verantwortlich ist
- Optimierung der Muskelkraft und Muskelkraftausdauer, sowie die
- Optimierung der Körperhaltung und Gleichgewichtsfähigkeit durch die Regulierung des neuromuskulären Kontrollsysteems (Barr, Griggs & Cadby, 2007; Huxel Bliven & Anderson, 2013).

Die Trainingsinhalte eines Rumpfstabilisation-Training müssen im Spielsport über kontrollierte Übungen bei zielgerichteter Ansteuerung und statischen Halteübungen als hinausgehen. Die Ausbildung dynamischer Muskelausdauer und allen voran reaktiver Stabilisationskraft ist der Sportart entsprechend spezifisch und notwendig. Für die Trainingspraxis bedeutet dies, dass im Rahmen der dynamischen Stabilisation besonders Bewegungsausführungen der Extremitäten (z.B. Schwungbein und Armschwung aus der Laufbewegung) die Dynamik der Halteübung verändern und daher die Stabilisationsfähigkeit entsprechend fordern. Die adäquat angepasste Progression (Abb. 30) ist von großer Bedeutung, um zielgerichtet die Stabilisationsfähigkeit des Rumpfes sportartspezifisch zu optimieren. Dabei wird die Muskelrekrutierung gefördert und die Übertragung auf fußballspezifische Bewegungsmuster stark verbessert.



Abbildung 30: Progression eines Rumpfstabilisationstrainings (verändert nach Huxel Bliven & Anderson, 2013, S.518)

Stabilisationstraining im Spielsport bedeutet weiterführend auch das Verbessern der Beinachsenstabilisierung. Abweichungen einer geraden Becken-Beinachse werden als ungenügende Kniegelenksstabilisation gewertet und sind ein Indikator für Verletzungen (Hewett et al, 2005; 2013; Barnett, Bell, Norcross, Blackburn, Geoger & Padua 2013; Klein & Bloch, 2014). Entsprechende Interventionen hierfür sind neben propriozeptiven Übungen, Balancierübungen und Übungen für die einbeinige Stabilisation, u.a. (plyometrische) Sprung- und Landeübungen, welche das neuromuskuläre System in seiner Sportartspezifität (Zweikampfverhalten, Kopfballsprung mit Anschlussreaktion etc.) effektiv schult (Myer, Ford, Brent & Hewett, 2006; Zazulak, Cholewicki & Reeves, 2008; Huxel Bliven & Anderson, 2013, Klein & Bloch, 2014). Diese Inhalte finden sich in Präventionsprogrammen wieder und werden in den beiden folgenden Gliederungspunkten detaillierter aufgegriffen.

5.3.5 Sprung- und Landetraining, plyometrisches Training

„*Es bringt nicht viel zu wissen, wie man ein Flugzeug steuert, wenn man es nicht landen kann*“ (Foran, 2001, S.205).

Foran (2001) zufolge ist es demnach am sinnvollsten, beim Sprung- und Landetraining die Landetechnik zu priorisieren, mit dem Hauptziel, dabei ineffiziente Gelenkbewegungen (zB. Valgusstellung der Knie auf Basis mangelnder Hüftkontrolle) zu vermeiden. Es ist entscheidend, die Körperkontrolle sowie Bewegungsabläufe und Kraftentfaltungen dahingehend zu optimieren, dass sich „*die korrekte strukturelle Kraft, Stabilität, der Umfang und die Bewegung [effizient und gelenkschonend] entwickeln kann*“ (Foran, 2001, S.205). Eine Überprüfung der Studienlage ergab eine erhöhte Verletzungsgefahr bei steifen Landungen. Dies wird durch weniger aktiver Bewegung in den Gelenken der U.E. und durch eine erhöhte Valgusposition des Knies während des Sprunglandemanövers begründet (Aerts, Cumps, Verhagen, Verschueren & Meeusen, 2013). Jöllenbeck et al (2013) fasst effektive Sprung- und Landetechniken folgendermaßen zusammen:

- Abrollen vom Zeh zur Ferse (keine Vorfußlandung)
- vorwärts ausgerichtete Knie in der Frontalebene bei Bodenkontakt

- Knieflexion in der Sagittalebene bei Bodenkontakt
- Position der Brust über den Kniegelenken

Eine Studie aus dem Basketball warnt allerdings davor, sich zu sehr auf absorbierende Landetechniken zu versteifen, da „*focusing on an ideal absorptive landing may prohibit the development of the motor control required for a stiff landing*“ (McCormick, 2012, S.90). Weiter ist das Verletzungsrisiko bei seitlichen Landungen höher als bei geraden Landungen, was ein Sprung- und Landetraining in multidirektionale Richtungen fordert. Multidirektionale Übungsanforderungen an das Landeverhalten begünstigen antizipatorische Muskelaktivität, die das Knie auf dynamische Belastungen vorbereiten können (Sinsurin, Vachalathiti, Jalayondeja & Limroongreunrat, 2016). Präventionsprogramme sollten sich demnach vermehrt auf Sprung- und Landetechnik konzentrieren, da Defizite der neuromuskulären Kontrolle beim Landeverhalten schlechte Landetechniken und damit auch erhöhte Verletzungsgefahr zur Folge hat (Wikstrom, Tillman, Schenker & Borsa, 2008; Aerts et al, 2013).

Beim plyometrischen Training handelt es sich um Schnellkrafttraining auf Basis des Dehnungsverkürzungszyklus (DVZ). Grundlage ist die schnellstmögliche Kontraktion eines vorgedehnten Muskels durch monosynaptische Dehnungsreflexe (Gamble, 2010; Jöllenbeck et al, 2013). Bei Stop-Manöver gelangen bestimmte Muskelgruppen in eine exzentrische Vordehnung (*load*). Dieser Vorgang speichert elastische Energie, die in explosive konzentrische Muskelkontraktion für die Anschlussaktion umgewandelt werden kann. Grundlegend dafür ist ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Stärke und Dauer des Dehnungsreizes und dem zeitlichen Zusammenhang zwischen Stop-Bewegung (Bodenkontakt des abbremsenden Beines) und der Anschlusshandlung. Wird der Dehnungsreiz beispielsweise langsam gesetzt, senden die Rezeptoren keine Signale, möglichst schnell in die Gegenbewegung zu kontrahieren. Auch wenn die Zeit zwischen der *load*-Phase und der konzentrischen Kontraktion zu lang ist, verpufft die Energie. Ist die Zeit bis zur Gegenbewegung dagegen kurz genug, kann die elastische Energie explosiv umgewandelt werden. Ziel des plyometrischen Trainings ist es also, den Zeitraum zwischen exzentrischer Phase der für die Abbremsbewegung benötigten

Muskulatur und deren konzentrische Antwort zu minimieren (Foran, 2001; Prentice, 2011).

So verbessert Plyometrisches Training entscheidend den Übergang von exzentrischer Kontrolle in dynamische Bewegungen. Es gilt, die Trainingsinhalte progressiv zu steigern. Daher ist es unabdingbar, vor den eigentlichen plyometrischen Übungsformen sowohl an der Beinachsenstabilität als auch an Sprung- und Landetechniken zu arbeiten. Die Belastung für die Gelenke ist allerdings enorm, weswegen korrekte technische Ausführungen dieser explosiven Bewegungen Grundvoraussetzung sind, um Verletzungen zu vermeiden (Boyle, 2011; Münch, 2013b).

Boyle (2010) gliedert daher die Trainingsinhalte in vier Phasen. In der ersten Phase lernen die Sportler Absprung- und Landetechniken und entwickeln Kraft und Stabilität. Er empfiehlt einfache Sprünge auf oder von einem Hindernis, aber auch isolierte Sprünge auf dem Platz (vertikale Komponente). Dies kann auch als neuromuskuläres Grundlagentraining sportartspezifischer Belastungsanforderungen verstanden werden. In der zweiten Phase gewinnt die horizontale Komponente mehr an Bedeutung. Es geht darum, Sprünge ein- oder beidbeinig nach vorne oder zur Seite, ohne und mit Hindernis zu absolvieren. Erst in der dritten und vierten Phase geht es um den aneinandergereihten Wechsel exzentrischer und konzentrischer Muskelkontraktion. Phase drei baut einen zusätzlichen Sprung vor dem nächsten Sprung in die Bewegungsfolge ein. Phase vier konzentriert sich schließlich auf aneinandergereihte Sprungfolgen mit kurzen Bodenkontaktzeiten.

Die Tatsache, dass alle Phasen den Sportler sukzessiv auf die tatsächlichen plyometrischen Belastungen gründlich vorbereiten, sorgt für eine effiziente, präventive Wirkung dieses Trainings. Es schult die Beinachsenstabilität bei Absprung und Landung, die Kraftfähigkeit der Muskulatur, die Fähigkeit des Spielers sich selbst dynamisch zu stabilisieren und verbessert entscheidend die Agilitätsfähigkeit als wichtige Komponente der Verletzungsprophylaxe (Foran, 2001; Boyle, 2010; Prentice, 2011).

Kniehebeläufe, Niedersprünge, Wechselsprünge, Mehrfachsprünge, Hürdensprünge, ein-/beidbeinige Hops seitwärts und vorwärts, Sprungbahnen, beid-/einbeinige Sprünge mit Drehungen, beid-/einbeinige Sprünge mit Anschlusshandlungen sind typische Trainingsübungen zur Verbesserung von Sprung- und Landeverhalten im Spielsport (Verstegen & Williams, 2006; Verstegen, 2008; Steinhöfer, 2008; Radcliffe & Thies, 2014; Sheppard, 2016).

5.3.6 Agilitätstraining

Die Agilitätsfähigkeit im Teamsport ist multifaktoriell und beinhaltet eine Vielzahl an Komponenten. Als Basis dient hier eine ausgeprägte Stabilität in der Lumbopelvic-Region. Das Bewusstsein und die Fähigkeit des Spielers, die Position des Körperschwerpunkts zu kontrollieren, ist entscheidend, um Agilitätsbewegungen effizient ausführen zu können (Yaggie & Campbell, 2006). Charakteristisch für Ballsportarten ist, dass Agilität meist eine Reaktion auf spielbezogene Situationen, die Kopplung von Wahrnehmung und Aktion, sowie Aktionen auf Basis von Entscheidungselementen umfasst (Sheppard & Young, 2006; Nimphius, 2016). Wie bereits zuvor thematisiert, müssen präventive Trainingsprogramme daher variantenreiche Übungen aus dem Bereich des Agilitätstraining beinhalten, da dadurch das Ziel verfolgt wird, risikoreiche Bewegungsmuster wie Richtungswechsel, Stop-and-Go-Läufe oder COD-Bewegungen im neuromuskulären System zu verinnerlichen, sodass diese Bewegungsabfolgen unter unvorhersehbaren Bedingungen im Wettkampf abgerufen werden können (Besier, Lloyd, Ackland & Cochrane, 2001; Jöllenbeck et al, 2013). Übungsformen zur Agilität entspringen typischen Lauf- und Zweikampfsituationen direkt aus dem Spielgeschehen heraus. Shuttle-Läufe, Stop-and-Go-Läufe, Finten, Sprünge mit Anschlusshandlung, sowie Agility-Drills mit vielfältigen Richtungswechseln sind hier an erster Stelle zu nennen (Jöllenbeck et al, 2013). Das Einbeziehen eines Balles spezifiziert die Übungen zusätzlich. Weiteres grundlegendes Element zielführenden Agilitätstrainings ist die Koppelung mit kognitiven Aufgabenstellungen. Entscheidende Parameter, die in die Trainingsinhalte einbezogen werden müssen, sind:

- Reaktionsaufgaben
- Aufgaben zur Beschleunigung und Verzögerung
- Startgeschwindigkeit (schnelle erste Bewegung)
- Cuttings (*speed cuts & power cuts*) (Abb. 31)
- Crossovers

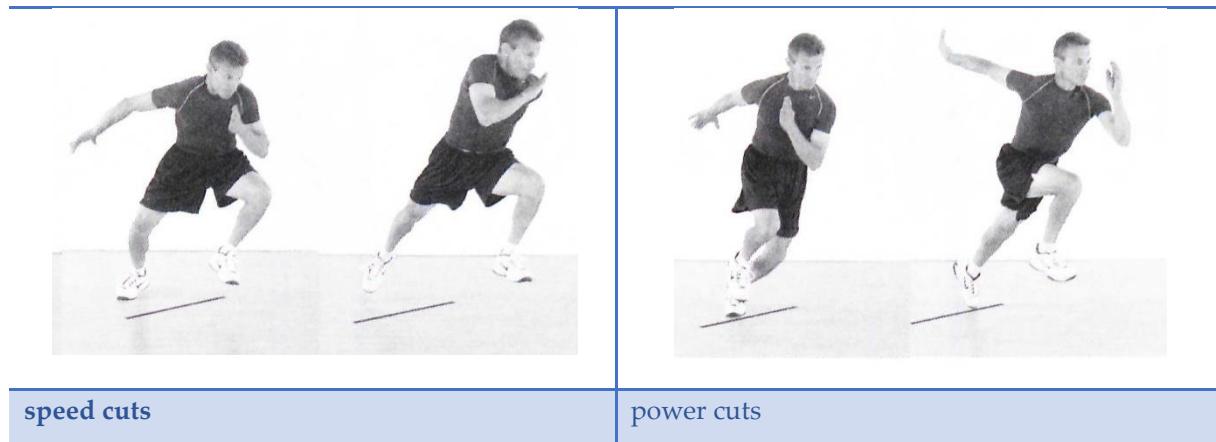


Abbildung 31: Speed cuts & Power cuts (verändert nach Radcliffe & Thiese, 2014, S.22)

Agilität ist keine genetisch veranlagte Fähigkeit, sondern durchaus trainierbar. Agilitätstraining gilt somit als eine der effektivsten Möglichkeiten, das neuromuskuläre System in seiner Sportartspezifität anzusprechen. Für eine optimale Übertragung in den Wettkampf ist es unabdingbar, entsprechende Bewegungsaufgaben regelmäßig in das Training einzubauen – zumal es beim Agilitätstraining darum geht, den Körper auf alle Eventualitäten vorzubereiten, also die Reaktionsfähigkeit zu optimieren. Sowohl im Spiel mit Ball (z.B. Dribbling mit Richtungswechsel) als auch gegen den Ball (Reagieren des Verteidigers auf Finten des Angreifers) haben Spieler, die sich ihrer Handlungsmöglichkeiten bewusst sind und diese auch unter Stress (Zeitdruck, Gegner) abrufen können, entscheidende Leistungsvorteile (Cook, 2011; Münch, 2013b; Graham, 2014).

Beispiele für Richtungswechsel- und Agilitätsübungen für unterschiedliche Leistungsstufen sind der folgenden Tabelle 10 (S.90) zu entnehmen:

Tabelle 10: Richtungswechsel- und Agilitätsübungen für unterschiedliche Leistungsstufen (Nimphius, 2016, S.221)

Anfänger	Geübter Spieler	Fortgeschritten Spieler
<p>Richtungswechselübungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bewegungsmuster, bei denen man sich nur vorwärts, rückwärts und im Seitgalopp bewegt ➤ Richtungswechsel bei niedrigerer Eingangsgeschwindigkeit (< 5m Eingangsdistanz) ➤ Wendigkeits- oder andere Übungen, bei denen man mehr Kurven als scharfe Richtungswechsel einschlägt <p>Agilitätsübungen</p>	<p>Richtungswechselübungen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bewegungsmuster von Grundübungen, Richtungswechseln in verschiedenen Winkeln ➤ Richtungswechsel bei moderater Eingangsgeschwindigkeit (etwa 10 m Eingangsdistanz) <p>Agilitätsübungen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Moderate Eingangsgeschwindigkeit und Reaktion auf einen einzelnen Reiz, der eingeschränkte Bewegungsmöglichkeiten hat 	<p>Richtungswechselübungen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kombination aus schnellen Sprints und Richtungswechsel > 90° <p>Agilitätsübungen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ großes Maß an räumlicher und zeitlicher Ungewissheit mit einem Reiz, der uneingeschränkte Bewegungsmöglichkeiten bietet (oft auf bewusst klein gehaltenen Spielflächen mit weniger Spielern als üblich)

5.4 Anwendung in Prävention, Rehabilitation & Sekundärprävention

Der präventive Hintergrund der Anwendung von Diagnostik und Intervention steht in dieser Arbeit im Fokus. In diesem Abschnitt soll jedoch auch kurz der Nutzen entsprechender Maßnahmen für die Rehabilitation aufgearbeitet werden. So werden funktionelle Screeningtests oder *Functional Performance Tests* im Rahmen der Post-Injury-Diagnostik als Entscheidungskriterium für die Rückkehr von Spielsportler nach Knieverletzungen bzw. VKB-Verletzungen eingesetzt (Keller & Kurz, 2016; Wilke, Grimm, Hoffmann & Froböse, 2018). Im Sinne der Post-Injury-Pyramide (siehe Abb. 32, S.91) ist für die Rückkehr in eine sportliche Aktivität - das sportartspezifische Training - in das Mannschaftstraining oder gar in den Wettkampf, „[...] das an den Sportler gestellte sportartspezifische Anforderungsprofil bzw. das angestrebte Pre-Injury-Level [entscheidend]“ (Keller, Kurz, Schmidlein, Welsch & Anders, 2016, S.140).



Abbildung 32: Post Injury Pyramide (verändert nach Keller, Kurz & Schmidlein et al, 2015, S.141)

Die Level der Pyramide sind stufenweise mit aufsteigend motorisch-funktioneller Anforderung aufgebaut.

5.4.1 Return to Activity

Die Phase *Return to Activity* befasst sich mit den Mindestvoraussetzungen an Körperfunktionen und Bewegungsmuster, um einen Sportler/Patienten an seine Sport- und Alltagsaktivitäten heranzuführen. Der Phase entsprechend zugeordnete Tests beurteilen die Funktionsfähigkeit und damit einhergehend den Entwicklungsstand im Rehabilitationsprozess. In der Return to Activity Phase steht die sagittale Stabilität ohne Impacts im Vordergrund der Rehabilitation (Keller, Kurz, & Schmidlein et al, 2015; Keller, Kotowski, Hochleitner & Kurz, 2016). Stabilitätstests wie der *Balance Squat Test* oder *Y-Balance Test* oder der Einbeinstand, aber auch Sprungtests, wie der SideHop oder DropJump-Test gelten als Bewertungskriterium (Keller & Kurz, 2016). Allerdings müssen aus dem Test hervorgehende Dysbalancen und/oder Asymmetrien behoben sein, bevor der Sportler/Patient das nächste Rehabilitations-Level erreichen kann (Keller, Kotkowski & Hochleitner et al, 2016).

5.4.2 Return to Sport

Die *Return to Sport*-Phase inkludiert die Aufnahme des sportartspezifischen Rehabilitations- bzw. Athletiktraining bis hin zu individualisierten Teamtraining-Prozessen. Die Trainingsinhalte finden zunehmend auf dem Spielfeld statt, um Belastungsanforderungen unter reellen Bedingungen zu prüfen. Subjektive und objektive Belastungsanforderungen (Isokenetik, Beinachsenkontrolle bei Sprüngen, Richtungswechsel, Tempovariationen) müssen von der geschädigten Struktur toleriert werden und qualitativ hochwertig und koordiniert ausgeführt werden können (Moser & Bloch, 2015; Bloch, Luig, Klein & Riepenhof, 2017). Im Fokus des Trainings stehen u.a. Inhalte aus dem Sprung- und Landetraining, sowie Übungen aus dem Bereich der Agilität, um Situationen aus dem Spiel zu simulieren. Vor allem Richtungswechsel und Stop-and-Go-Läufe werden progressiv steigernd ins Training aufgenommen, im Teamtraining wirkt der Spieler in dieser Phase teilaktiv mit. Dabei sollen Technikinhalte, taktikorientierte Spielformen ohne Körperkontakt und Zweikampfverhalten nach und nach integriert werden und den Sportler auf die nächsten Belastungsstufen vorbereiten (Keller & Kurz, 2016; Moser & Bloch, 2015). Zusätzlich zu den Tests aus dem vorausgehenden Level, kommen u.a. Tapping-Tests oder auch multidirektionale beidbeinige und einbeinige Sprungtests (z.B. Hexagon-Test, Figure-of-8-Test) zum Einsatz (Keller & Kurz, 2016).

5.4.3 Return to Play

Die Phase des *Return to Play* bezeichnet den Übergang in das uneingeschränkte Mannschafts-, bzw. Wettkampftraining. Der Sportler hat in dieser Phase seine komplette Sportfähigkeit bereits wieder erreicht und weist in seinen sportartspezifischen Funktionen und Bewegungsmuster keine Defizite mehr auf (Bloch et al, 2017). Der Fußballspieler ist in dieser Phase im Training wieder voll aktiv und agiert mit Körperkontakt und im Zweikampfverhalten ohne Probleme. Tacklings und z.B. Presseschläge sollten kein erhöhtes Risiko mehr darstellen (Bizzini, Hancock & Impellizzeri, 2012). Dennoch entscheidet in dieser Phase die sportartspezifische Fitness über die absolute Wettkampftauglichkeit – auch wenn der Sportler scheinbar uneingeschränkt

belastungsfähig erscheint (Nyland, Brand & Fisher, 2010). Aus diesem Grund wird in der *Return to Play*-Phase auf Basis der vorangehenden Balance- und Sprungtests vermehrt Agility-Tests eingesetzt, um funktionelle und auch konditionelle Leistungsfähigkeit zuverlässig bewerten zu können (Keller & Kurz, 2016).

5.4.4 Return to Competition

Als Return to Competition wird der „gesamte Reintegrationsprozess vom Zeitpunkt der Verletzung bis zum ersten Wettkampfeinsatz in der jeweiligen Zielsportart [beschrieben]“ (Bloch et al, 2017). Der Trainer traut dem Athleten in dieser Phase zu, sowohl auf psychischer als auch auf physischer Ebene maximal wettkampftauglich zu sein (Bizzini, Hancock & Impellizzeri, 2012).

5.5 Aktueller Stand in der Anwendung im leistungsorientierten Amateurfußball

Diese Arbeit hat in den vorhergehenden Kapiteln typische traumatische Verletzungen des Fußballsports dargestellt. Nun ist zu klären, inwieweit ein zielgerichtetes funktionelles Training typische Mechanismen verhindern kann. Athletiktraining ist zu einem kaum ersetzbaren Aspekt der Verletzungsprävention geworden. In diesem Zusammenhang hat Pedro Gonzales-Balzar (2007) im Rahmen seiner Dissertationsarbeit die Cheftrainer 15 Bundesligamannschaften bezüglich der Relevanz des Athletiktrainings zur Verletzungsprävention befragt. 73% der Befragten schätzten dabei die Verletzungsprävention durch die Arbeit des Athletiktrainers als sehr wichtig ein (Tab. 11, S.94).

Tabelle 11: Einschätzung der Verletzungsprävention durch den Athletiktrainer (verändert nach Gonzalez-Balzar, 2007, S. 91)

Einschätzung der Verletzungsprävention durch den Athletik-Trainer	Anzahl der Vereine	
	Absolut [N]	Relativ [%]
sehr wichtig	11	73 [sic]
wichtig	3	20 [sic]
unwichtig	0	0 [sic]
k.A.	1	1 [sic]

Eine ähnliche Abfrage von Klein (2014) ermittelt den Stellenwert der Verletzungsproblematik, und damit einhergehend der Prävention als mittelmäßig. Die befragten Trainer bewerteten die Gesamtproblematik auf einer Skala von eins (nicht wichtig, kein Problem) bis fünf (sehr wichtig, großes Problem) mit 3,4 Bewertungspunkten.

Loose et al (2018b) befragten Spieler und Trainer aus dem Leistungsfußball zur Meinung und Anwendung von Screeningtests und spezieller Präventionsübungen im Trainingsalltag. Insgesamt war ein hohes Interesse am Thema Verletzungsprävention zu verzeichnen, wenngleich die praktische Durchführung nicht ausreichend Anwendung findet:

„The currently used training topics and prevention strategies reveal warm-up exercises, regeneration training, and core stability as theoretically well-known prevention steps in both groups. In contrast, only stretching, running exercises and ball exercises are frequently used in daily routine, while jumping and core stability exercises were underrepresented“ (Loose et al, 2018b, S.987).

Insbesondere Trainer (100%) sind davon überzeugt, dass schwerwiegende Verletzungen durch spezielle Präventionsprogramme verhindert werden können und das Risikoathleten durch Screening-Methoden identifiziert werden können (94,1%) (Loose et al, 2018b). Andere Studien machen mehr Skepsis auf Seiten der Trainer und Spieler bzgl. der präventiven Wirkung entsprechender Präventionsstrategien deutlich. Denn lediglich

40-50% der Fußballtrainer und Spieler glauben daran, dass speziell Muskel- und Knieverletzungen im Fußball durch entsprechende Präventionsstrategien vermieden werden können (McKay, Steffen, Romiti, Finch & Emery, 2014).

Eine Übersicht über die theoretische Sicht auf Präventionsstrategien und die tatsächliche Anwendung im bayerischen Leistungsfußball gibt folgende Tabelle 12:

Tabelle 12: Stellung von Präventionsstrategien im bayerischen Leistungsfußball (Loose et al, 2018b, S.989).

	Theoretical view on prevention training	Current practiced methods in training routine
Coaches (n = 88)		
Warm up	66 (74.7%)	87 (98.9%)
Ball exercises	14 (16.1%)	85 (96.3%)
Regeneration/cool down	50 (56.3%)	78 (89.0%)
Stretching	39 (44.8%)	77 (87.7%)
Sprint	10 (11.5%)	74 (84.0%)
Jumps and landings	37 (42.5%)	45 (50.6%)
Core stability	62 (70.1%)	28 (32.1%)
Balance exercises	24 (27.6%)	17 (19.8%)
Players (n = 486)		
Warm up	371 (76.4%)	480 (98.8%)
Stretching	240 (49.3%)	467 (96.0%)
Ball exercises	53 (11.0%)	438 (90.2%)
Sprint	56 (11.5%)	429 (88.2%)
Jumps and landings	166 (34.2%)	292 (60.1%)
Regeneration/cool down	263 (54.1%)	215 (44.2%)
Core stability	261 (53.8%)	134 (27.5%)
Balance exercises	149 (30.6%)	107 (22.0%)

Vergleicht man nun die Zahlen der hiesigen Studie um das Forscherteam von Loose et al (2018b), fällt auf, dass v.a. Übungsformen (siehe Abschnitt 5.3), die nachweislich einen positiven Einfluss auf die Verletzungsinzidenz haben, kaum durchgeführt werden. Darunter fallen Inhalte wie Balancierübungen, Sprung- und Landetraining, aber auch Stabilisationstraining des Rumpfes (Hewett et al, 2005; 2013; Boyle, 2010; Barnett et al, 2013; Klein & Bloch, 2014; Sinsurin, Vachalathiti, Jalayondeja & Limroongreungrat, 2016).

5.6 Etablierte Präventionsprogramme

Bezogen auf den Fußball wurden in den letzten Jahren verschiedene Präventionsprogramme entwickelt, die die Inzidenz, allen voran schwerwiegender Knieverletzungen, senken sollen. Zum größten Teil wird dabei untersucht, wie sich neuromuskuläres und propriozeptives Training, Krafttraining und Plyometrie, Mobilitätstraining, Agilitätstraining sowie spezielles Training von Sprung- und Landetechniken positiv auf das Verletzungsrisiko der unteren Extremitäten auswirkt (Prentice, 2011).

In folgender Tabelle 13 werden einige bekannte Präventionsprogramme vorgestellt. All diese Programme untersuchten hauptsächlich den Einfluss auf Verletzungen im Junioren-, Frauen- und Amateurfußball. Trotz vielversprechender Erfahrungen sind Präventionsprogramme für den Leistungsfußball oder im Profibereich bis dato nicht breitflächig eingeführt oder wissenschaftlich untersucht worden.

Tabelle 13: Übersichtstabelle Präventionsprogramme (eigene Darstellung)

Programm	Trainingsinhalte ²	Teilnehmer		Inzidenz (ACL-Injuries)		Statistische Analyse
		KG	IG	KG	IG	
<i>PEPⁱ</i>	K, M/S, P, A	3818	1885	67 (0.24)	6 (.04)	bgs ³ p < .001
<i>FIFA11+ⁱⁱ</i>	C, B, P, N					
<i>HarmonKneeⁱⁱⁱ</i>	K, M/S, P, A, C, B	729	777	5 (.08)	0	bgs p = .025
<i>KLIP^{iv}</i>	P, A					No statistical significance (n.s.) p = .43
<i>SPORTSMETRICS^v</i>	K, M, P, Te, F					n.s. p = .32
<i>WALDÉN^{vi}</i>	K, M/S, P, A, C, B	2085	2479	NC 8 (.06) Total 14 (.11)	NC 5 (.003) Total 7 (.05)	bgs p = .049 NC bgs p = .02 Total
<i>SÖDERMANN^{vii}</i>	B					n.s. p > .05

(ⁱMandelbaum et al, 2005; ⁱⁱSteffen et al, 2008; ⁱⁱⁱKiani et al, 2010; ^{iv}Pfeiffer, Shea, roberts, Grandstrand & Bond 2006; ^vHewett et al, 1999; ^{vi}Waldén et al, 2012; ^{vii}Södermann, Werner, pietilä, Engström & Alfredson, 2000)

² K=Krafttraining, M/S=Mobilisation/Stretching, P=plyometrisches Training, A=Agility-Training, C=Core-Training, B=Balance-Training, Te=Techniktraining, F=Feedback

³ between-group-significance = bgs

III) Empirische Untersuchung

Der dritte große Abschnitt der vorliegenden Arbeit setzt sich mit den empirischen Grundlagen und Untersuchungen der Forschungsfragen auseinander.

Zu Beginn werden die studienrelevanten Aspekte und Grundlagen (Vorgehen, Stichprobe, Trainer- & Spielerprofil der Studienpopulation) der Analyse aufgeführt. Im Anschluss wird die verwendete Testbatterie und die exakte Durchführung der on-Field-Tests beschrieben und das konzipierte Trainingsprogramm detailliert vorgestellt. Die exakten Formulierungen der studienrelevanten Fragestellungen und Hypothesen leiten schlussendlich den Abschnitt der empirischen Untersuchungen ein. Hierfür wurden alle, für das Forschungsthema interessanten Daten der Gesamt-Datenbank entnommen und verwertet.

6 Fragestellungen und Hypothesen

Die folgenden Fragestellungen sollten als zentrale Arbeitshypothesen bearbeitet werden. Bevor die Entwicklung und Evaluation eines präventiven Trainingsprogramms stattfinden kann, gilt es, den Status Quo hinsichtlich Bewegungsqualität und Verletzungsrisiko der Spieler aus der Studienpopulation zu überprüfen. So befassen sich die ersten Untersuchungen mit der qualitativen Bewegungsanalyse des Sprungtest DropJump und der generellen Niveaueinschätzung der Spieler im entsprechenden Test. Bei der Evaluation werden hinsichtlich der Fragestellungen sowohl Altersunterschiede, positionsspezifische Unterschiede und auch Unterschiede des Spielniveaus (Ligazugehörigkeit) untersucht. Weiter soll auch der Einfluss der Teamzugehörigkeit auf die Sprungqualität, gemessen am LESS-Score, sowie auf die Verletzungsinzidenz überprüft werden.

Weiter wird geprüft ob die erhobenen Testergebnisse einen Einfluss auf die Verletzungsinzidenz haben. Hier ist von zentraler Bedeutung, inwieweit Spieler mit positiven Scorewerten verletzungsfrei bleiben, oder ob sie sich trotz günstiger Prognose trotzdem verletzen. Im umgekehrten Fall geht es um die Analyse, ob sich Spieler mit

ungünstiger Verletzungsprognose tatsächlich verletzen. Dieser Untersuchung liegt die Fragestellung zugrunde, ob qualitative Bewegungsanalysen (am Beispiel des LESS-Scores) tatsächlich ein probates Mittel darstellen, die Verletzungswahrscheinlichkeit zu eruieren.

Ein weiterer Analyseschwerpunkt untersucht die Bedeutung von Vorverletzungen im Zusammenhang mit Defiziten in funktionellen, neuromotorischen Bewegungsmustern. Es soll geklärt werden, ob Vorverletzungen einen negativen Einfluss auf die Sprungqualitäten und damit auf das Verletzungsrisiko haben. Detailliert soll auch untersucht werden, ob defizitäre neuromotorische Bewegungsmuster, die als Risikofaktor von Knie- und Kreuzbandverletzungen (siehe Abschnitt 4.1.2.4 & 4.1.2.5) sich in der Analyse der einzelnen Sprungitems des LESS widerfinden.

Weiter steht im Zentrum des Forschungsinteresses, inwieweit die Intervention eines pTP einen Einfluss auf die Verletzungsinzidenz und auf die funktionelle, neuromotorische Bewegungsqualität von DropJump (und SideHop) hat.

Fragestellung 1: Sind Spieler aus dem leistungsorientierten, bezahlten Amateurfußball einem erhöhten Verletzungsrisiko auf Basis neuromotorischer Defizite ausgesetzt?

H0.1.: Spieler aus dem leistungsorientierten, bezahlten Amateurfußball sind keinem erhöhten Verletzungsrisiko auf Basis neuromotorischer Defizite ausgesetzt.

H1.1.: Spieler aus dem leistungsorientierten, bezahlten Amateurfußball sind keinem erhöhten Verletzungsrisiko auf Basis neuromotorischer Defizite ausgesetzt.

Fragestellung 2: Unterscheidet sich die qualitative Sprunganalyse des DropJump hinsichtlich Alter, Spielposition, Spielniveau (Liga) oder Teamzugehörigkeit?

H0.2.: Es gibt keine qualitativen Unterschiede der Sprungtests DropJump und SideHop hinsichtlich Alter, Spielposition, Spielniveau (Ligazugehörigkeit) oder Teamzugehörigkeit.

H1.2: Es gibt qualitative Unterschiede der Sprungtests DropJump und SideHop hinsichtlich Alter, Spielposition, Spielniveau (Ligazugehörigkeit) oder Teamzugehörigkeit.

Fragestellung 3: Gibt es im Hinblick auf den LESS-Score qualitative Sprung-Parameter (Items), die einen Rückschluss auf das Verletzungsrisiko zulassen?

H0.3.: Es gibt keine einzelnen Sprungparameter (Items), die einen Rückschluss auf ein erhöhtes Verletzungsrisiko zulassen.

H1.3.: Es gibt einzelne Sprungparameter (Items), die einen Rückschluss auf ein erhöhtes Verletzungsrisiko zulassen.

Fragestellung 4: Hat die nacheinander geschaltete Sprungwiederholung einen Einfluss auf die Sprungqualität im Sinne eines Lern-, oder Ermüdungseffekts?

H0.4.: Sprungwiederholungen haben einen Einfluss auf die Sprungqualität im Sinne eines Lern-, oder Ermüdungseffekt.

H1.4.: Sprungwiederholungen haben keinen Einfluss auf die Sprungqualität im Sinne eines Lern-, oder Ermüdungseffekt.

Fragestellung 5: Haben Vorverletzungen einen Einfluss auf Landestrategien in Bezug auf den LESS-Score und können damit das Verletzungsrisiko prognostizieren?

H0.5.: Vorverletzungen haben keinen Einfluss auf Landestrategien in Bezug auf den LESS-Score und können damit das Verletzungsrisiko nicht prognostizieren.

H1.5.: Vorverletzungen haben einen Einfluss auf Landestrategien in Bezug auf den LESS-Score und können damit das Verletzungsrisiko prognostizieren.

Fragestellung 6: Besteht ein Zusammenhang zwischen Vorverletzung und folglich auftretenden Knieverletzungen?

H0.6.: Vorverletzungen verstärken das Auftreten von folgenden Knieverletzungen

H1.6.: Vorverletzungen verstärken nicht das Auftreten von folgenden Knieverletzungen.

Fragestellung 7: Kann der LESS-Score eine Vorhersage über das Auftreten von (Knie-) Verletzungen treffen?

H0.7.: Der LESS-Score kann keine Vorhersagen über das Auftreten von (Knie-) Verletzungen treffen.

H1.7.: Der LESS-Score kann keine Vorhersagen über das Auftreten von (Knie-) Verletzungen treffen.

Fragestellung 8: Hat die regelmäßige Durchführung des konzipierten, präventiven Trainingsprogramms (pTP) einen Einfluss auf die neuromotorische, qualitative Ausführung der Sprungtests DropJump (und SideHop)?

H0.8.: Die regelmäßige Durchführung des pTP hat einen Einfluss auf die neuromotorische, qualitative Ausführung des Sprungtests DropJump und des Verletzungsrisikos.

H1.8.: Die regelmäßige Durchführung des pTP hat keinen Einfluss auf die neuromotorische, qualitative Ausführung des Sprungtests DropJump und des Verletzungsrisikos.

Fragestellung 9: Hat eine regelmäßige Durchführung des konzipierten pTP einen Einfluss auf die Verletzungsinzidenz?

H0.9.: Eine regelmäßige Durchführung des pTP hat keinen Einfluss auf die Verletzungsinzidenz.

H1.9.: Eine regelmäßige Durchführung des pTP hat einen Einfluss auf die Verletzungsinzidenz.

Fragestellung 10: Unterscheidet sich die Entwicklung der Sprungqualität durch präventive Trainingsmaßnahmen zwischen den teilnehmenden Teams?

H0.10.: Die Entwicklung der Sprungqualität durch präventive Trainingsmaßen unterscheidet sich nicht zwischen den teilnehmenden Teams.

H1.10.: Die Entwicklung der Sprungqualität durch präventive Trainingsmaßen unterscheidet sich zwischen den teilnehmenden Teams.

Fragestellung 11: Verbessern sich Spieler mit einem ursprünglich schlechteren Score in der Baseline-Testung nach der Trainingsintervention relevant mehr, als Spieler mit ursprünglich besseren Score-Werten?

H0.11.: Spieler mit ursprünglich schlechteren Werten in der Baseline-Testung verbessern sich nach der Trainingsintervention relevant mehr, als Spieler mit ursprünglich besseren Werten.

H1.11.: Spieler mit ursprünglich schlechteren Werten in der Baseline-Testung verbessern sich nach der Trainingsintervention relevant mehr, als Spieler mit ursprünglich besseren Werten.

7 Studienrelevante Aspekte und Grundlagen

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick über die groß angelegte Studie zum Thema *Verletzungsprävention im leistungsorientierten Amateurfußball* gegeben. Im Fokus stehen dabei die, für diese Arbeit relevanten Teilespekte.

In Kooperation des Instituts für Sportwissenschaft, der Abteilung für Unfallchirurgie des Uniklinikum Regensburg, des bayerischen Fußballverbandes (BFV), der VBG sowie des

FIFA Medical Centers Regensburg wurde die für diese Arbeit zugrunde liegende Studie *Verletzungsprävention im leistungsorientierten Amateurfußball* durchgeführt. Allgemeine Zielsetzungen waren hierbei folgende Aspekte:

- Analyse des aktuellen Standes von Prävention aus Sicht der Trainer und Spieler im bezahlten Amateurfußball
- Darstellung der Hotspots des Verletzungsaufkommens in der Studienpopulation durch eine Verletzungsstatistik über eine Saison hinweg
- Analyse psychologischer Parameter im leistungsorientierten Amateurfußball
- Analyse des Verletzungsrisikos schwerwiegender Knieverletzungen
- Zusammenhangsanalyse schwerwiegender Knieverletzungen mit Vorverletzungen
- Implementierung von Pre-Season Screening-Tests (Pre-Injury-Screening) zur Analyse von funktionellen Defiziten und Risikofaktoren für Verletzungen
- Implementierung und Analyse eines neuromotorischen präventiven Trainingsprogramms (pTP) im Hinblick auf die Reduktion von Knieverletzungen im bezahlten Amateurfußball
- Begleitende Return-to-Play-Maßnahmen der Spieler, die sich in der Studiensaison eine schwerwiegende Knieverletzung zugezogen haben

Folgende Abbildung 33 soll einen Überblick über die einzelnen Teilbereiche der Gesamtstudie geben.



Abbildung 33: Konzept der Gesamtstudie (eigene Darstellung)

7.1 Methodisches Vorgehen, Supervision und Compliance

In der vorbereitenden Phase ging es neben organisatorische Inhalte (Entwurf der Testbatterie, Fragebögen erstellen, Forschergruppe einarbeiten, Ethikantrag) in einem sehr intensiven Ausmaß darum, die teilnehmenden Mannschaften zu rekrutieren. Nach telefonischer Kontaktaufnahme wurde mittels offiziellen Studienschreiben (Anhang A) eine Kooperationsvereinbarung getroffen, um die Teilnahme ausreichender Probanden zu sichern.

Die Arbeitsphase der in dieser Thesis bearbeiteten Studien begann mit dem Einholen der Fragebögen und den Pre-Season-Screening-Tests, um neuromotorische Baseline-daten zu gewinnen. Im Studienjahr absolvierte die Kontrollgruppe (KG) ihr herkömmliches Training, während die Interventionsgruppe (IG) in ihren herkömmlichen Trainingsalltag das Präventionsprogramm integrierte. Währenddessen erfolgte ein kontinuierlicher Injury-Report aller teilnehmenden Mannschaften. Dieser Report wurde zur Mitte der Saison und nach der Studiensaison durch explizite Abfrage bei Bedarf ergänzt. Am Ende des Studienzeitraums erfolgte eine Post-Season-Testung, die für die Interventionsanalyse von großer Bedeutung war.

Folgend werden die relevanten Arbeitsschritte für diese Forschungsarbeit schematisch dargestellt (Abb. 34).

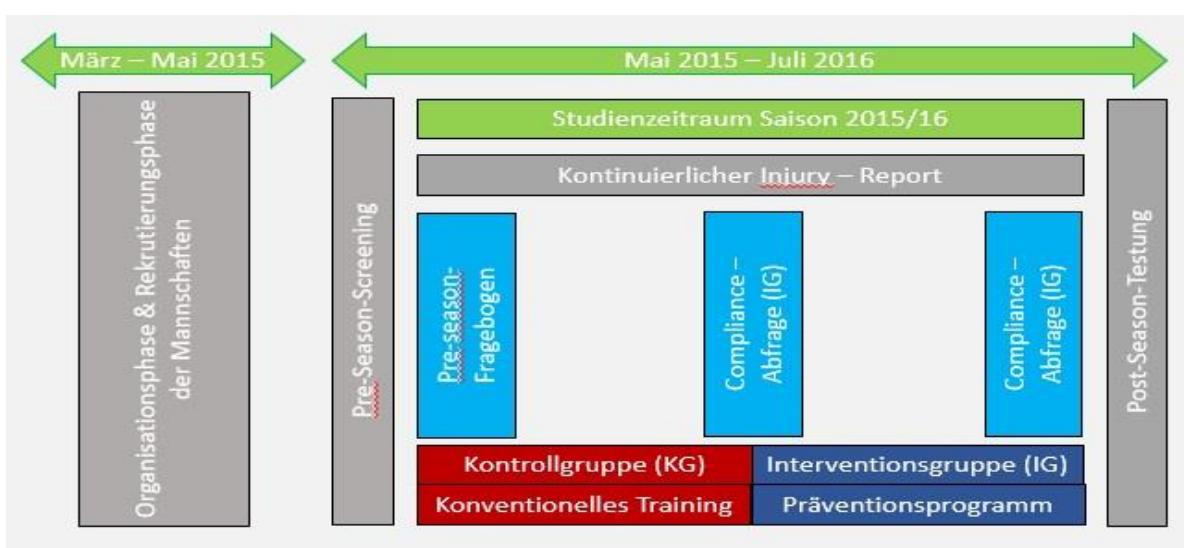


Abbildung 34: Schematische Darstellung des Projektverlaufs "Verletzungsprävention im leistungsorientierten Amatuerfußball" (eigene Darstellung)

7.2 Probanden

An der Gesamtstudie nahmen im Zeitraum 2015/16 insgesamt 1510 Fußballspieler teil, wobei dies nicht gleichbedeutend damit ist, dass die Gesamtteilnehmerzahl immer komplett an allen Tests und Abfragen teilgenommen haben. Daher ergeben sich für die unterschiedlichen Fragestellungen auch unterschiedliche Probandenzahlen.

Das Untersuchungsgut umfasste Spieler aus der bayerischen Regionalliga (N=402), der Bayernliga (N=399), den 5 Landesligen (N=441), aus der Bezirksliga Oberpfalz (N=103), sowie Spieler aus U17 und U19 Jugendmannschaften unterschiedlicher Nachwuchsleistungszentren (NLZ) (N=164). Die Anzahl der Spieler pro Position, sowie pro Liga ist der nachfolgenden Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: Die Anzahl der Spieler je Liga und Spielposition (eigene Daten).

	Regionalliga	Bayernliga	Landesliga	Bezirksliga	NLZ/Jugend	Gesamt	
Position	Torwart	27	23	34	5	12	101
Innenverteidiger	30	28	53	6	17	134	
Außenverteidiger	31	22	54	5	20	132	
Abwehr allg.	25	34	26	19	5	109	
Mittelfeld zentral	17	19	27	5	10	75	
Mittelfeld außen	13	10	15	2	3	43	
Mittelfeld allg.	49	49	65	2	20	207	
Stürmer	41	31	32	9	20	133	
keine Angabe	169	183	135	28	58	573	
Gesamt	402	399	441	103	164	1510	

7.3 Allgemeine Trainer- und Spielerabfrage

Ein Aspekt der Gesamtstudie war es, einen Überblick zur Einstellung hinsichtlich Präventionsprogrammen aus Sicht der Fußballtrainer zu erlangen. Trainer haben Kaß (2013) zu Folge einen wichtigen Einfluss für die Prävention von Verletzungen. Um den aktuellen Stand des vorhandenen Wissens und der gegenwärtigen Meinung zum Thema Verletzungsprävention zu analysieren, wurden zu Beginn der Studiensaison 2015/16 die bisherigen Meinungen, Erfahrungen und Einschätzungen der Trainer (Anhang B) und auch der Spieler (Anhang C) mittels Fragebogen abgefragt. Gleichzeitig wurden die

allgemeine Strategien zur Verbesserung der Verletzungsprävention abgefragt. Die Ergebnisse aus dieser Abfrage können der Abbildung 35 entnommen werden.

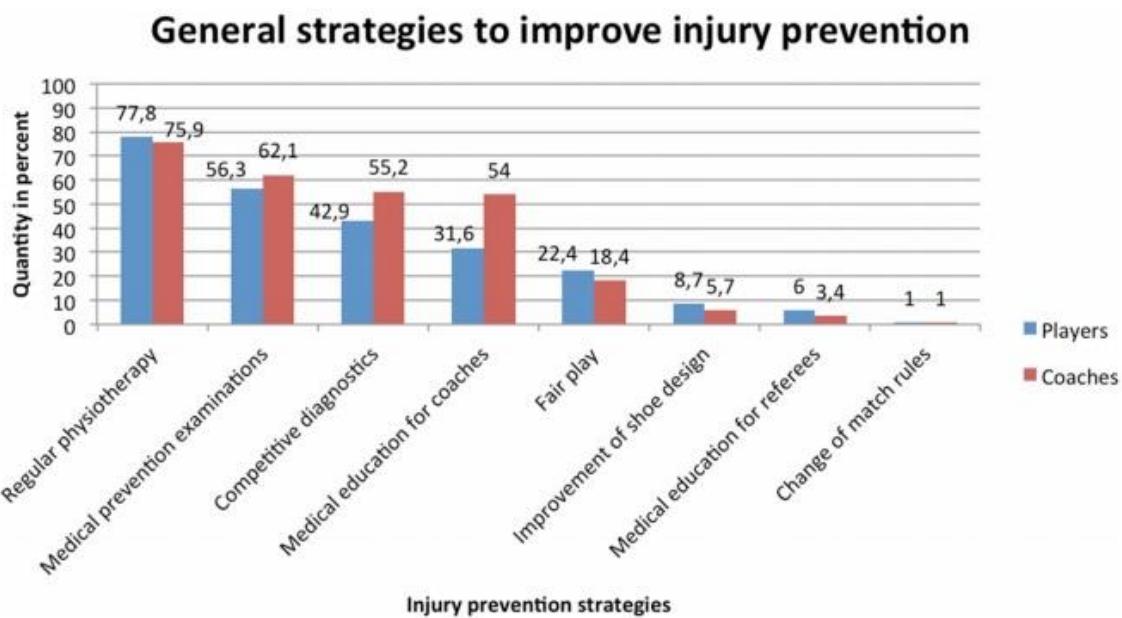


Abbildung 35: Allgemeine Strategien zur Verbesserung der Verletzungsprävention (Loose et al, 2018b)

Der Abfrage zu Folge wissen Spieler und Trainer um unterschiedliche Inhalte eines sportartspezifischen Trainings mit verletzungspräventiven Effekten, wenn auch nur sehr oberflächlich angeschnitten. Vergleicht man das theoretische Wissen allerdings mit der tatsächlich praktischen Anwendung innerhalb durchgeföhrter Trainingseinheiten der Teams von der Regionalliga bis zum Jugendbereich, finden präventive Inhalte kaum Anwendung (Abb. 36, S.106). Allen voran finden die als wichtig befundene Trainingsaspekte, welche die neuromotorischen Komponenten in fußballspezifischen Belastungssituationen trainieren, wie spezielles Sprungtraining oder Wechsellaufe und Läufe mit Richtungswechsel inklusive Technik-Feedback kaum Bedeutung, obwohl genau diese Belastungen und Bewegungsmuster eine hohe Gefahr für Verletzungen darstellen (VBG, 2016; 2017; 2018).

	Theoretical view on prevention training	Current practiced methods in training routine
Coaches (n=88)		
Warm up	66 (74.7%)	87 (98.9%)
Ball exercises	14 (16.1%)	85 (96.3%)
Regeneration/cool down	50 (56.3%)	78 (89.0%)
Stretching	39 (44.8%)	77 (87.7%)
Sprint	10 (11.5%)	74 (84.0%)
Jumps and landings	37 (42.5%)	45 (50.6%)
Core stability	62 (70.1%)	28 (32.1%)
Balance exercises	24 (27.6%)	17 (19.8%)
Players (n=486)		
Warm up	371 (76.4%)	480 (98.8%)
Stretching	240 (49.3%)	467 (96.0%)
Ball exercises	53 (11.0%)	438 (90.2%)
Sprint	56 (11.5%)	429 (88.2%)
Jumps and landings	166 (34.2%)	292 (60.1%)
Regeneration/cool down	263 (54.1%)	215 (44.2%)
Core stability	261 (53.8%)	134 (27.5%)
Balance exercises	149 (30.6%)	107 (22.0%)

Abbildung 36: Gegenüberstellung der theoretischen Ansicht bzgl. Präventionstraining und der tatsächlichen praktischen Anwendung von präventiven Übungen im Trainingsalltag der befragten Trainer und Spieler (Loose et al, 2018b).

7.4 Spielerprofil Pre-Season-Screening

Spieler, die an den sportmotorischen Screeningtests teilgenommen haben, haben vor der Pre-Season-Testung einen Spielerfragebogen zur sportmedizinischen und verletzungsspezifischen Anamnese beantwortet, welcher im Detail Anhang D zu entnehmen ist. In diesem Rahmen wurde den Teilnehmern noch eine Einverständniserklärung (Anhang E) vorgelegt, deren Unterzeichnung als Teilnahmevoraussetzung galt.

Der Fragebogen beinhaltet Angaben zur Anthropometrie, Spielposition sowie detaillierte Angaben zu Vorverletzungen, aus welchen sich Zusammenhänge mit den sportmotorischen Tests aber auch mit Verletzungen innerhalb der Studiensaison ermitteln lassen.

7.5 Sportmotorische Testbatterie

In dieser Arbeit stehen die sportmotorischen Leistungstests, allen voran der die Sprungtests Side-Hop und Drop Jump, im Vordergrund der Forschungsfragen. Valide Basisdaten für die Testung neuromotorische Leistungsfähigkeit von Fußballern im leistungsorientierten Amateursport liegen bis dato noch nicht vor. Die Leistungsdiagnostik wurde bei jeder teilnehmenden Mannschaft zu zwei Zeitpunkten vor (Mai – August 2015) und nach (März – Juni 2016) der Saison je einmal, in Form von *on-field-Tests* durchgeführt. Ein Testteam, bestehend aus mindestens 3 Mitarbeitern des Arbeitskreises, fuhren hierfür zu den jeweiligen Mannschaften auf das Trainingsgelände und nahmen die Testungen im zeitlichen Rahmen eines angesetzten Mannschaftstrainings vor. Hierbei absolvierten die Spieler in 4er Teams die vier sportmotorischen Tests, wobei ein Testblock pro 4er Team in etwa 20 Minuten dauerte. Abbildung 37 bildet einen exemplarischen Testaufbau ab.



Abbildung 37: Exemplarischer Testaufbau der Testbatterie (eigenes Bildmaterial)

Die VBG initiiert im Rahmen ihrer Präventionskampagnen im Leistungssport die Einführung von sportmotorischen Testbatterien. Bis dato besteht aber für keine der im praktischen Alltag verwendeten Testbatterien wissenschaftliche Evidenz (Moser & Bloch, 2015; Hoffmann & Krutsch, 2016).

7.5.1 Messinstrumente

Für die Durchführung der sportmotorischen Testbatterie waren drei unterschiedliche Messinstrumente mit jeweiliger Software in Anwendung:

Microgate OptoJump / Optogait

Die Sprungtests wurden mit dem *Microgate OptoJump / Optogait* -System durchgeführt (Abb. 38).



Abbildung 38: Exemplarische Darstellung eines *Microgate OptoJump*-Systems (Optojump, 2014)

Hierbei handelt es sich um ein optisches Messinstrument, dass aus einem sendenden und einen empfangenden Messstab besteht. Jeder Messstab besteht aus 96 LED's, die kontinuierlich miteinander kommunizieren. Diese Verbindung ist Grundlage für die Messung unterschiedlicher Sprungparameter, da Unterbrechungen des Systems erkannt werden und daraus mit hoher Genauigkeit Kontakt- Reaktions- und Flugzeiten (ms) berechnet werden können. Von diesen Werten lassen sich Leistungsfaktoren wie Sprunghöhe (cm), Bodenkontaktzeit (ms) oder Reaktivindex ableiten. Weiter können die

Reaktionszeit, die spezifische Leistung (W/kg), die Frequenz, sowie der Energieverbrauch (J) gemessen werden (Optojump, 2014).

Glatthorn, Gouge, Nussbaumer, Stauffacher, Impellizzeri und Maffiuletti (2011) fanden heraus, dass das OptoJump Messinstrument im Vergleich zu einer Kraftmessplatte eine starke Validität und eine ausgezeichnete Test-retest-Reliabilität für die Abschätzung von vertikalen Sprunghöhen aufzeigt.

Dank einer synchronen 2D Videoaufzeichnung ermöglicht die *OptoJump*-Software zusätzlich eine zweidimensionale, qualitative Bewegungsanalyse. Bewegungsausführungen der Sprungtests Drop Jump und Side-Hop wurden mittels der *Kinovea 0.8.15* Software ausgewertet. Untersuchungen der Kinovea-Software schreiben auch dieser Software eine hohe Validität und Reliabilität zu (Balsalobre-Fernández, Tejero-González, del Campo-Vecino & Baveresco, 2014).

Fusionsport Smart Speed

Das Fusionsport Smart-Speed-System ist ein Lichtschrankensystem mit welchem allen voran lineare Sprintleistungen und Agility-Läufe erfasst werden. Das Hardware-System besteht aus Timing-Gates, Reflektoren, sowie Stativen (Abb. 39). Das System kann über eine App über ein Handy oder Tablet benutzt werden und die gewonnenen Daten über eine entsprechende Synchronisations-Software ausgewertet werden (Fusion Sport, 2014).



Abbildung 39: Hardware Smartspeed (www.fusionsport.com)

Challenge Disc

Die MFT Challenge-Disc (MFT-CD) ist ein Balanceboard, das Rückschluss über die ein-, und beidbeinige Standstabilität über eine Monitorvisualisierung gibt (Abb. 40). Die MFT-CD enthält Bewegungssensoren, die Bewegungen auf dem Board über eine USB-Schnittstelle direkt auf einen Laptop überträgt, womit mittels Coordi-Software ein direktes Feedback zum Bewegungsverhalten visualisiert werden kann.



Abbildung 40: Monitorvisualisierung und Challenge-Disc Hardware (MFT Bodyteamwork, 2017)

7.5.2 DropJump

Der DropJump ist ein vertikaler Sprung, der ein- und beidbeinig ausgeführt wird und Rückschlüsse über Sprungquantität und -qualität gibt. Wie unter Kapitel 5.1.1. bereits erwähnt, sind vertikale Sprünge eine einfache Methode, Schnellkraftfähigkeiten der UE zu testen (Siegler, Gaskill & Ruby, 2003; Schlumberger, 2006). Neben der maximalen Sprunghöhe wird eine kurze Bodenkontaktzeit angesteuert, woraus sich der Reaktivindex (Sprunghöhe/Kontaktzeit) als Leistungsparameter errechnen lässt.

Darüber kann mittels Videoanalyse die Bewegungsqualität des Sprungverhalten analysiert werden. Der DropJump zählt zu den *Functional Performance Tests*, die eine gute Methode darstellen, Risikofaktoren für Knieverletzungen zu analysieren (Hewett et al, 2005; Padua et al, 2009). Die Analyse bedient sich dabei an einer 2D-Videodokumentation in Frontal- und Sagittalebene und wird mittels *Landing Error Scoring System* ausgewertet.

Testaufbau- und Durchführung:

Die Testungen wurden bei den teilnehmenden Mannschaften zu unterschiedlichen Testzeiten im Zeitraum zwischen Mai und August 2015 durchgeführt. Der *on field Test* fand unter möglichst realen, fußballspezifischen Bedingungen statt und wird daher mit

Stollenschuhen und auf Rasen durchgeführt. Um Störungen der Messstäbe zu minimieren, wurde auf den Rasen ein Kunstrasen ausgelegt. Zwei übereinander gestapelte Reebok® Step-Bretter dienten hier als 30cm-Erhöhung für den Absprung. Weiter wurden für die Datenerhebung seitlich zwei Optojump / Optogait Messstäbe angelegt. Eine Bodenmarkierung wurde 80cm von der Absprungentfernung angebracht, die den Landepunkt markierte. Die Kameras wurden vor und links neben dem Messgerät positioniert. Eine schematische Darstellung entnehmen Sie der Abbildung 41.

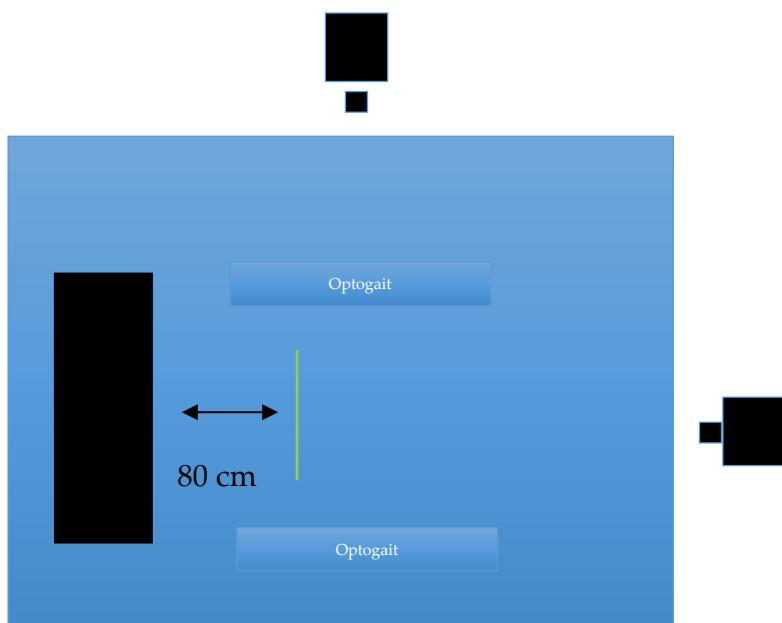


Abbildung 41: Schematischer Testaufbau DropJump mit Videoanalyse in zwei Ebenen (eigene Darstellung)

Im Rahmen der dieser Arbeit zugrunde liegenden Präventionsstudie wurden pro Proband 5 Sprünge durchgeführt. Hierfür wurde die Sprungdurchführung vorab erklärt und demonstriert. Die einzelnen Sprünge sind ohne große Pausen aneinandergereiht und alle fünf werden in der Auswertung berücksichtigt.

Der Spieler steht beidbeinig auf einer vordefinierten Erhöhung (30 cm). Die Hände sind, bei schulterbreiter Fußstellung, und nach vorne ausgerichteten Zehen, in die Hüfte gestützt. Aus dieser Position löst sich der zu testende Spieler durch Vorschwingen eines Beines von der 30cm Erhöhung. Das Landeziel entspricht der Bodenmarkierung, mit

einem Abstand zur Box von 80 cm. Nach beidbeinigem Bodenkontakt springt der Spieler sofort und so hoch wie möglich wieder ab, dabei soll die Bodenkontaktzeit möglichst kurzgehalten werden (Abb. 42). Die Landung soll dann beidbeinig mit einer stabilen Beinachse und neutraler Fußposition erfolgen (Frick, 1993).



Abbildung 42: Testsituation DropJump "on field" (eigene Darstellung)

Testauswertung:

Padua et al (2009) zu Folge gilt das Landing *Error Scoring System* als valide und reliable Bewertungsmethode für Sprunganalysen. Der DropJump wird dabei, wie bereits erwähnt, in Frontal- und Sagittalebene videodokumentiert. Aufgrund der Komplexität und der Geschwindigkeit kann der Sprung nur mit Hilfe von Videoaufnahmen ausgewertet werden (Moser & Bloch, 2015). Mittels LESS können Fehler und Kompensationsmechanismen im Landeverhalten identifiziert werden, die als Prädiktoren für zukünftige VKB-Verletzungen gelten (Padua et al, 2009; Moser & Bloch, 2015; Gokeler et al, 2014; Bell, Smith, Pennuto, Stiffler & Olson, 2014).

Die Auswertung anhand des LESS wird im Abschnitt 8 detailliert erläutert.

7.5.3 SideHop

Der SideHop-Test als ein Schwerpunkt der Testbatterie, imitiert einbeinige Sprünge und Landungen, sowie Cuttingmanöver, die als typische Verletzungsmechanismen in Spielsportarten gelten (VBG, 2016; 2017; 2018).

Die Forschergruppe Yoshida, Taniguchi und Katayose (2011) unterteilen den Side-Hop in vier unterschiedliche Phasen, die in Abbildung 43 dargestellt sind. Laut einer Studie von Itoh, Takiguchi, Shibata, Okubo, Yoshiya und Kuroda (2016), welche sich mit den mit den einwirkenden Kräften auf das Kniegelenk und der Knieposition beschäftigen, befindet sich das Kniegelenk während der lateralen Kontaktphase in einer signifikanten Abduktionsstellung und ist weitaus höheren Kräfteverhältnissen als in der medialen Kontaktphase ausgesetzt, was ein erhöhtes Verletzungsrisiko darstellt.

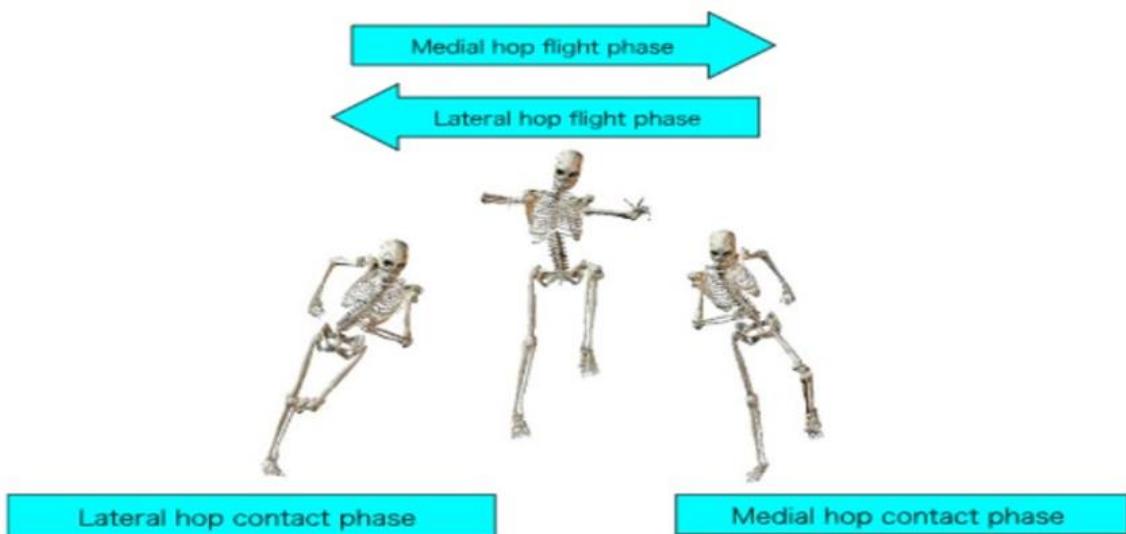


Abbildung 43: Aufteilung des Side-Hop in vier Bewegungsphasen (nach Yoshida, Taniguchi & Katayose, 2011, S.2258)

Testaufbau- und durchführung

Wie auch beim DropJump wird für die Testaufzeichnung des SideHop-Tests das Microgate OptoJump/Optogait-System verwendet. Aufgabe der Testperson ist es, so schnell wie möglich 20 einbeinige Sprünge über zwei Markierungen im Abstand von 30cm

zu absolvieren. Ein schematischer Testaufbau des Sprungtests SideHop kann Abbildung 44 entnommen werden.

Der Test soll in maximaler Geschwindigkeit durchgeführt werden. Tritt die Versuchsperson während eines Durchgangs auf die Markierung, so wird dieser nicht gewertet. Innerhalb der Testbatterie, der für diese Arbeit zugrunde liegenden Studie, absolvieren die Probanden insgesamt 4 Durchgänge, wobei die Sprungfolge zuerst zweimal mit dem rechten, dann zweimal mit dem linken Bein durchgeführt wird. Hintergrund hierfür ist ein möglicher Einfluss potentieller Vorermüdung auf die Sprungqualität (Moser & Bloch, 2015). Bei der Durchführung hat der Proband die Hände in den Hüften gestützt, um unterstützende Ausgleichsbewegungen der Arme zu verhindern, womit Ausweich-bewegungen und Kompensationsmuster im Sprungbein provoziert werden. Abbildung 45 Seite zeigt die Testsituation SideHop *on field*.

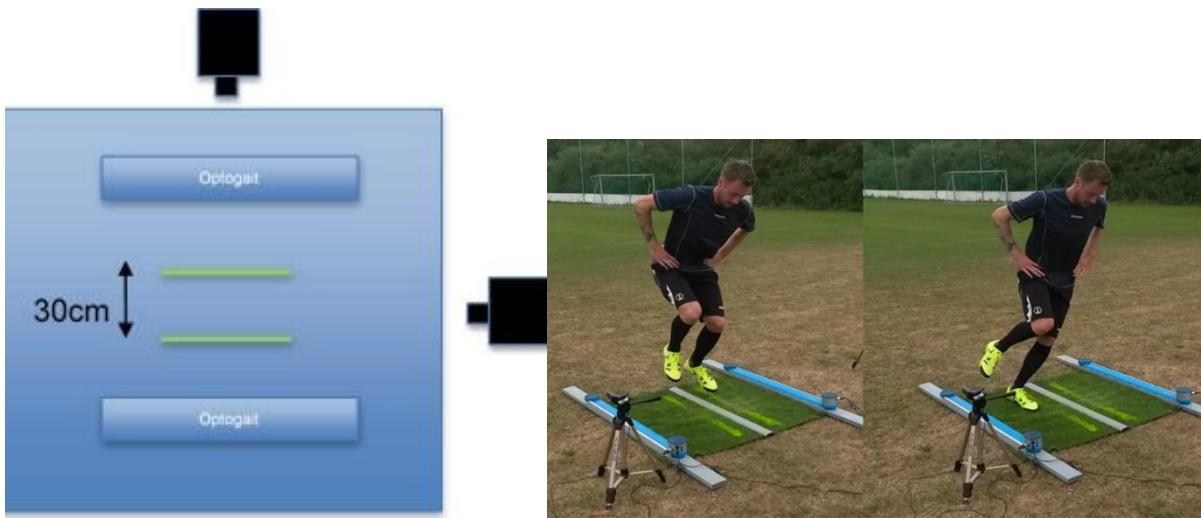


Abbildung 44: Schematischer Testaufbau SideHop
(eigene Darstellung)

Abbildung 45: Testsituation SideHop '*on field*'

Testauswertung:

Auch beim SideHop wird eine 2D-Videodokumentation in Sagittal- und Frontalebene durchgeführt. Hierbei werden nach Keller & Kurz et al (2016) unterschiedliche qualitative Bewegungsmerkmale analysiert (Tab. 15, S.115).

Tabelle 15: Qualitative Bewegungsmerkmale des SideHop-Tests (verändert nach Keller & Kurz et al, 2016, S.141).

Frontalebene	Sagittalebene
Das Knie befindet sich beim Initial Contact in der sagittalen Beinachse	Bei der Kniebeuge/Landung können Knie- und Hüftgelenk flektiert werden
Das Knie befindet sich bei seiner maximal gebeugten Position in der sagittalen Beinachse	Der Rumpf befindet sich in einer neutralen Ausrichtung parallel zum Unterschenkel.
Es kann vermieden werden, dass bei der Landung der Rumpf von der Körpermittelachse abweicht	

Weiter erfolgt eine Auswertung von Sprunghöhe (cm), Bodenkontaktzeit (ms), Flugzeit (s), Leistung (W/kg) sowie der Sprungfrequenz (Schritte/sec.). Allen voran die Sprungfrequenz wird im Seitenvergleich als Bewertungskriterium herangezogen. Hier bietet der quantitative *Limb Symmetry Index (LSI)* eine entsprechende Bewertungsgrundlage. Dabei handelt es sich um eine prozentuale Angabe, welche die Differenz (z.B. Zeit in ms, oder Höhe in cm) zwischen beiden Beinen beschreibt:

Normal LSI values have been reported as greater than or equal to 80% and greater than or equal to 85%. It should be clarified that these values were empirically established by nothing that 90% of subjects without a history of ACL injury had LSIs of greater than or equal to 80% and greater than or equal to 85% (Fitzgerald et al, 2001, S.589).

Thomee et al (2011) fordern aufgrund der hohen Anforderungen an die untere Extremität beim Fußball, sogar einen Limb Symmetry Index von mehr als 90%.

7.5.4 Multidirectional Speed Case – Pro Agility Shuttle

Wie bereits in Kapitel 5.1.2 erwähnt, konfrontieren Agilitäts-Tests Spieler mit spieltnahen Situationen, die typisch für Verletzungen sind. Im Rahmen der hiesigen Studie wurde der *Pro Agility Shuttle* durchgeführt. Der Test kommt aus dem American Football und daher wurden auch die Laufentferungen entsprechend den original vorgegebenen Yard-Entferungen angepasst (5-10-5 Yard = 4,57m-9,14m-4,57m).

Testaufbau- und durchführung

Für den Agilitätstest werden drei *Fusionsport Smart-Speed Timing Gates* sowie drei Signalreflektoren (Abb. 46). Die Höhe der Gates wurde dabei standardisiert bei 80cm eingestellt, da Cronin, Green, Levin, Brughelli und Frost (2007) zufolge, unterschiedliche Höhen der Lichtschranksysteme die Sprintergebnisse beeinflussen. Die Abstandslinien, die beim Test anzulaufen sind, wurden mittels Rasenfarbspray direkt auf den Rasen angebracht. Die äußeren Lichtschränke stehen dabei jeweils 1,5m innerhalb der Markierungslinien. Dies ermöglicht die Zeitnahme der Wendezzeiten pro Seite.

Der Test wurde zweimal durchgeführt. Vom Standpunkt des Probanden aus erfolgte beim ersten Durchgang ein Initialstart zur rechten Seite, beim zweiten Durchgang der Initialstart zur linken Seite.

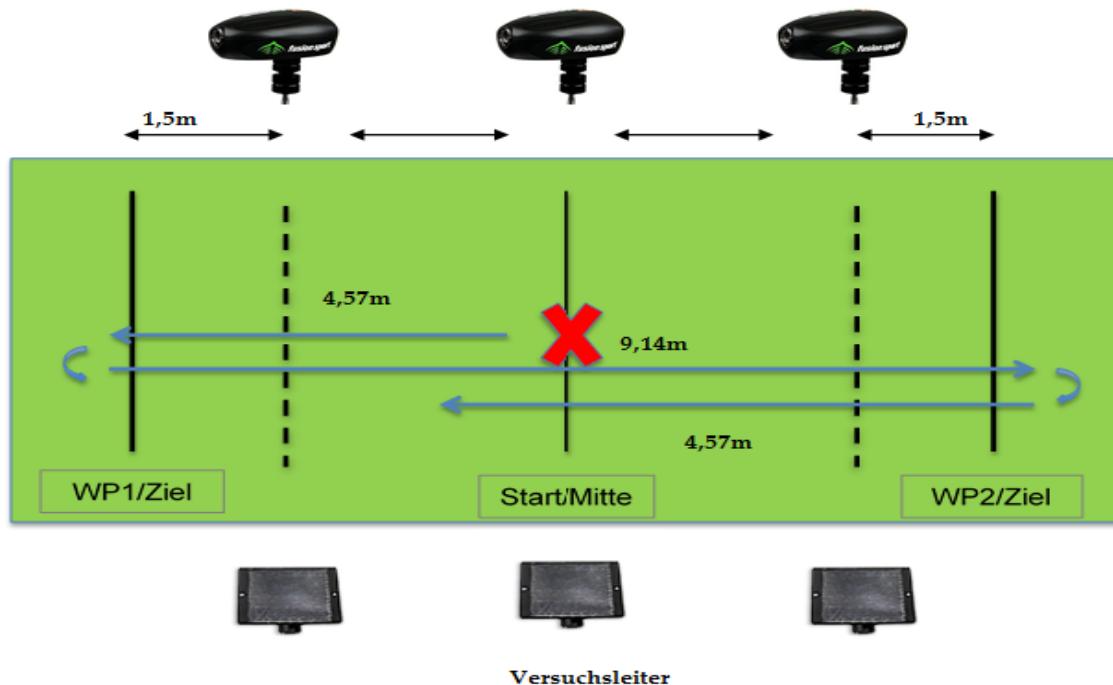


Abbildung 46: Schematische Darstellung des Pro-Agility-Shuttle Testaufbau (eigene Darstellung)

Die Spieler starten dabei mittig zwischen zwei *Fusionsport Smart-Speed Timing Gates*, mit Blick zum Versuchsleiter. Der Test beginnt mit einem In-Beam-Start, wobei der Proband die Übertragung des Lichtschranksystems durchbricht. Sobald der Proband in eine Richtung losläuft und die Lichtstrahlen der beiden Gates aufeinandertreffen, wird die Zeit

gemessen. Jede Durchbrechung der Timig-Gate-Paare stoppt die Zwischenzeiten. Die Software wird so programmiert, dass die Zeit nach vier Zwischenzeiten die Gesamtlaufzeit ermittelt. Abbildung 46 (S.116) stellt den Versuchsaufbau des Agility-Prototyps schematisch dar. Diese Darstellung zeigt den Ablauf mit Initialstart nach rechts.

Am Beispiel des ersten Laufdurchgangs (Initialstart nach rechts) wird die Durchführung folgend erklärt:

Der Spieler startet selbstbestimmt und läuft den ersten 4,57m entfernten Wendepunkt 1 (WP1) an, dreht dann um 180° und läuft zum Wendepunkt 2 (WP2), woraufhin er erneut eine COD von 180° durchführt und mit maximaler Geschwindigkeit die Mittelposition überläuft. Bei den Wenden ist darauf zu achten, dass der Spieler dem Versuchsleiter nicht den Rücken zudreht, sodass beim Lauf nach rechts über das rechte Bein und beim Lauf nach links über das linke Bein abgestoppt, die Richtung gewechselt und wieder beschleunigt wird (Abb. 47). Die Versuche sind nicht gültig, wenn der Spieler die Markierungslinien der Wendepunkte nicht berührt (Lockie, Jeffriess, Schultz & Callaghan, 2012).



Abbildung 47: Testsituation Pro-Agility-Shuttle beim Richtungswechsel über das linke Bein (eigenes Bildmaterial)

Testauswertung

Testparameter beim Pro-Agility-Shuttle ist die die absolute Zeit bis zum Wendepunkt pro Seite bei beiden Durchläufen mit dem LSI – Vergleich. Außerdem wurde die tatsächliche Wendezzeit im Seitenvergleich bei beiden Durchläufen ermittelt und die Gesamlaufzeit gemessen.

7.5.5 One-Leg-Stability

Intakte propriozeptive Fähigkeiten und eine ausgeprägte posturale Kontrolle sind wichtige Bestandteile der Verletzungsprävention für den Sportler. Defizite in der neuromuskulären Kontrolle von Knie, Hüfte und Rumpf gehen mit einem erhöhten Verletzungsrisiko einher (Hewett, Ford & Myer, 2006; Zazulak et al, 2007; Herbst et al, 2015). Balance-Tests sind einfach durchzuführen, zeiteffizient und geben einen guten Rückschluss über die neuromuskuläre Kontrolle (Zouita B., Zouita, S., Dziri & Salah, 2009).

Testaufbau und -durchführung

Um die posturale Kontrolle zu beurteilen, wurden Balance-Tests mit einer MFT-Challenge-Disc (TST Trendsport, Grosshöflein, Österreich) durchgeführt. In einer Studie von Herbst et al (2015) waren LSI-Defizite in Tests der posturalen Kontrolle auf der MFT-Challenge Disc (CD) limitierende Faktoren in der Return-to-play Entscheidung nach VKB-Rekonstruktion. Die MFT-CD ist in alle Richtungen frei beweglich. Um eine standardisierte Testausführung zu gewährleisten und auch bei diesem Test möglichst spezifisch die Bedingungen eines Fußballspielers nachzustellen, wurde der Test mit Fußballschuhen durchgeführt. Zusätzlich war auf der CD ein Kunstrasen aufgeklebt (siehe Abb. 48, S.119).



Abbildung 48: Testsituation MFT-CD on field (eigenes Bildmaterial)

Das Testgerät ist an einem PC angeschlossen, über welchen mittels Coordi-Software das Testergebnis live auf dem Bildschirm visualisiert und im Anschluss an den Test sofort ausgewertet werden kann. Über den Laptop wird eine Zielscheibe eingeblendet, die sofortiges Feedback über die Standstabilität gibt (Abb. 40. S.113). Ziel ist es, einen über die CD steuerbaren Ball mittig der Zielscheibe zu kontrollieren. Die Spieler absolvieren den Test, als one-leg-Test, insgesamt viermal (linkes Bein – rechtes Bein – linkes Bein – rechtes Bein). Der Test wird pro Durchgang 30 Sekunden durchgeführt und die Coordi-Software ermittelt einen Durschnittswert (1-5: 5 = schlechtester Wert; 1 = bester Wert), der intraindividuell via *Limb Symmetry Index* (LSI) und auch innerhalb der Studienpopulation analysiert werden kann. Bei der Ausführung waren die Spieler angehalten, die Hände in den Hüften zu stützen und das freie Bein nicht an der Disc, oder dem Standbein zu stabilisieren. Der Test wurde abgebrochen und wiederholt, wenn diese Kriterien nicht eingehalten wurden.

7.6 Verletzungs-Report

Für die Verletzungsanalyse sind die Teamverantwortlichen und die jeweiligen teilnehmenden Probanden angehalten worden, sämtliche Verletzungen, die während des Saisonverlaufs entstehen, auf einen Verletzungsdokumentationsbogen (Anhang F) zu erfassen. Hierzu zählen alle Verletzungen, die den Spieler dazu zwingen, an mindestens

einer Trainingseinheit oder einem Spiel aufgrund dieser Verletzung pausieren zu müssen. Die gesamte Datenlage fließt in die Großstudie mit ein. Das Verletzungsdokument wurde retrospektiv in der Winterpause und zu Saisonende angefordert. Nachfragen wurden mittels telefonischer Kontaktaufnahme geklärt. Zusätzlich waren die Teamleiter und Spieler dazu aufgefordert, schwerwiegende Knieverletzungen sofort telefonisch oder per Mail an die Studienkoordination zu melden.

7.7 Implementierung eines präventiven Trainingsprogramms

Den Kern dieser Arbeit stellt die Implementierung eines präventiven Trainingsprogramms dar. Dabei war es wichtig, dass die Inhalte des Programms einen großen Bezug zu den Ursachen und Mechanismen von fußballtypischen Verletzungen haben und einen hohen Grad von Sportartspezifität vorweisen können (Fagenbaum & Darling, 2003; Freiwald et al, 2006; Jöllenbeck et al, 2013; Michaelidis & Koumantakis, 2014; Hewett et al, 2005; 2013). Sportunfälle lassen sich nicht gänzlich vermeiden. Dennoch kann eine Optimierung der Senso- und Neuromotorik sowie die Verbesserung der technisch-koordinativen Fähigkeiten sowie der Kraftfähigkeiten die Verletzungsinzidenz im Fußball senken (Kianmarz, 2016). Ein hohes präventives Wirken spezifischer Trainingsprogrammen können Forschungsarbeiten von u.a. Mandelbaum et al (2005) oder Waldén et al (2012) entnommen werden. Für die erfolgreiche Implementierung von Präventionsübungen ist es unabdingbar, dass die Übungsinhalte vom verantwortlichen Trainer akzeptiert werden und eine einfache Durchführbarkeit gewährleistet ist. Allen voran Sportartspezifität hat einen großen Einfluss auf eine regelmäßige Anwendung von präventiven Trainingsprogrammen (Soligard et al, 2010; Padua, DiStefano, LJ, Beutler, de la Motte, DiStefano, MJ & Marshall, 2015). Ebenso ist es wichtig, dass Umfang und Dauer der Übungen überschaubar sind, und die Inhalte eine hohe Variabilität vorweisen, sodass das Programm im Training regelmäßig angewandt wird (O'Brien, Young & Finch, 2017). Die Befragung der Trainer der Gesamtstudie ergab ein zeitliches Limit von 10min./Trainingseinheit für präventive Übungen (Loose et al, 2018b).

Eine regelmäßige Durchführung des Programms ist unabdingbar, um einen entscheidenden präventiven Einfluss zu erreichen (Soligard et al, 2010; Waldén et al, 2012; Hägglund et al, 2013). Soligard et al (2010) dokumentierte ein um 35% geringeres Verletzungsrisiko bei Sportlern mit hoher Compliance im Vergleich zu Sportlern mit niedriger oder mittlerer Teilhabe. Auch eine Übersichtsarbeit von van Reijen, Vriend, von Mechelen, Finch & Verhagen (2016) kam zu dieser Schlussfolgerung, wonach die Compliance von Präventionsmaßnahmen maßgeblich die Ergebnisse beeinflusst. Der VBG-Sportreport aus dem Jahr 2018 nennt unterschiedliche Voraussetzungen für eine möglichst effektive Implementierung eines präventiven Trainingsprogramms. So muss das Trainerteam entsprechend geschult sein. Die Vermittlung des Trainers spielt hinsichtlich der Compliance und der Effektivität eine entscheidende Rolle. Eine regelmäßige Durchführung von mindestens 2-3x/Woche im Rahmen von ca. 15 Minuten ist als sinnvoll anzusehen. Weiter ist zu beachten, dass das Programm fortlaufend, sowohl in der Vorbereitung als auch im Saisonverlauf absolviert wird. Ebenfalls profitiert die Effektivität davon, wenn bereits in der Jugendarbeit Präventionstraining Inhalt der Trainingsplanung ist (Myer, Sugimoto, Thomas & Hewett, 2013; Sugimoto, Myer, Foss & Hewett, 2014).

Das dieser Studienarbeit zugehörige, konzipierte Programm besteht aus fünf Modulen (Abb. 49, S.126) deren Inhalte durch Übungsschwerpunkte bestimmt sind, denen große verletzungspräventive Wirkung nachgewiesen wurden (Mandelbaum et al, 2005; Kiani et al, 2010; Waldén et al, 2012; Hewett et al, 2005; 2013):

- 1) Mobilisation und Beweglichkeitstraining
- 2) Rumpfstabilisationstraining
- 3) Training der Becken-, Beinachsenstabilität
- 4) Sprung- und Landetraining

5) Agilitätstraining



Abbildung 49: Cover des Handout-Booklets mit Gliederung (eigenes Bildmaterial)

Das Übungsprogramm wurde via Poster (Anhang G), Handout-Booklet (Anhang H) sowie per Video (Anhang I) dem jeweiligen Trainerteam der teilnehmenden Mannschaften vorgestellt und erläutert. Jedes der Module hat eine Hauptübungen und verschiedene Alternativübungen, um zum einen das Programm variabel zu halten und dadurch interessanter für die Spieler zu machen und andererseits möglich viele Bewegungsabläufe zu trainieren. Die einzelnen Übungen wurden im Detail erläutert und mit Bild- und Videomaterial erklärt. Mittels telefonischer Abfrage bei den Trainern wurde zu Saisonbeginn, in der Winterpause und am Ende der Studiensaison die Compliance direkt bei den Trainern abgefragt. Eine erfolgreiche Teilnahme war dann gewährleistet, wenn an mindestens 2-3 Trainingstagen pro Woche aus jedem Modul 1-2 Übungen in das Warm-Up integriert wurden.

In den folgenden Abschnitten 7.7.1 bis einschließlich 7.7.5 werden Ausschnitte aus dem Poster abgebildet. Die detaillierten Übungsbeschreibungen sind entsprechend den Anhängen H und I zu entnehmen.

7.7.1 Modul I – Mobilisationstraining

Schwerpunkte dieses Moduls sind dem Anforderungsprofil im Fußball entsprechend die Beweglichkeitsförderung der Gelenke, die Mobilisation der Gewebegleitfähigkeit der Strukturen des aktiven Bewegungsapparats sowie die Verbesserung der allgemeinen Beweglichkeit in komplexen fußballspezifischen Bewegungsmustern der unteren Extremität unter Einbezug der Wirbelsäule (Krutsch, Weishaupt, Zeman, Loibl, Neumann, Nerlich & Angele, 2015; Falsone, 2016). Dabei ist es entscheidend, eingelenkige statische Dehnübungen zu vermeiden, und anstelle dessen Übungskomplexe, die das neuromuskuläre Zusammenspiel beanspruchen, zu integrieren. Die Inhalte beziehen sich auf lineare und laterale Ausfallschritte, dynamische Mobilisationstechniken für die vordere und hintere Muskelkette, Übungen zur Hüft- und Sprunggelenksmobilisation, sowie das Beweglichkeitstraining der Wirbelsäule. In der Anwendung der Übungen muss auf eine dynamische Ausführung geachtet werden. Grundlage ist die Streckung/Dehnung der Muskulatur mit anschließender Aktivierung. Dadurch werden entsprechende Muskeln sport- oder wettkampftauglich gemacht (Verstegen & Williams, 2006; Verstegen, 2008). Einen Einblick über die Übungsauswahl mit der Hauptübung (hell hinterlegt) und den Alternativübungen sind in der nächsten Abbildung 50 dargestellt.



Abbildung 50: Übungsauswahl Modul I - Mobilisation (eigene Bildmaterial)

7.7.2 Modul II – Rumpfstabilisationstraining

Modul II fokussiert sich darauf, dass der Rumpf in allen drei Bewegungsebenen stabilisierend trainiert wird. Es ist essentiell, die Rumpfstabilisation bezüglich der Belastungsanforderung im Fußball auf die Krafteinwirkungen aus unterschiedlichen Bewegungsrichtungen vorzubereiten (Krutsch et al, 2015; Barr & Lewindon, 2016).

Mangelnde Rumpfstabilität führt bei plötzlichen Krafteinwirkungen, die das angedachte Bewegungsprogramm des Athleten stören, zu einer erhöhten Verletzungsanfälligkeit und insbesondere zum Auftreten von VKB-Rupturen (Zazulak et al, 2007). Um die nötige Stabilität im Rumpf der Spieler zu realisieren, werden Übungen in unterschiedlichen Positionen mit variierenden Arm-Bein-Dynamiken ausgeführt und somit sportartspezifische Bewegungsmuster (z.B. kreuzkoordinative Laufbewegung) simuliert und die Dreidimensionalität in diesem Aspekt gewährleistet (Huxel Bliven & Anderson, 2013). Die Übungsauswahl ist folgend dargestellt (Abb. 51).



Abbildung 51: Übungsauswahl Modul II - Rumpfstabilisation (eigene Bildmaterial)

7.7.3 Modul III – Stabilisationstraining der Becken-, Beinachse

Der dynamische Knievalgus ist ein großer Risikofaktor hinsichtlich des Auftretens von VKB-Verletzungen (Boden et al, 2000; Hewett et al, 2005; 2010; Krutsch et al, 2013). Im Zusammenspiel mit der rumpfstabilisierenden Muskulatur ist allen voran eine optimal ausgeprägte funktionelle Kraft der Hüftstabilisatoren (Hüftabduktoren und -außenrotatoren) für die Stabilität der Becken-Beinachse und somit zur Verletzungsprävention von Knie- und VKB-Verletzungen von großer Bedeutung (Frank, Bell, Norcross, Blackburn, Georger & Padua, 2013). Die Übungen dieses Moduls, wie in Abbildung 52 (S.125) dargestellt, entsprechen Bewegungsmuster aus dem Spiel, die eine einbeinige, dynamische Stabilität erfordern (z.B. schießen, passen, stoppen).

3) Standstabilisation –Beinachsenstabilisation



Abbildung 52: Modul III - Becken-Beinachsenstabilisation (eigene Bildmaterial)

7.7.4 Modul IV – Sprung- und Landetraining

Gezieltes Sprung- und Landetraining hat der Forschung zufolge (Hewett et al, 2005; 2010; 2013) einen nachweisbar hohen Einfluss auf modifizierbare Risikofaktoren von VKB-Verletzungen und ist daher ein wichtiger Bestandteil des Trainingsprogramms. Ziel des Modulinhaltes ist die sensomotorische Kontrolle im Sprung- und Lande-Manöver durch die Optimierung einer Reflexantwort. Hierfür werden variable Bewegungsabläufe im Training initiiert und imitiert, um Bewegungsmechanismen in automatisierter Form unter Wettkampfbedingungen unbewusst und regelmäßig abrufen zu können. Am effektivsten hierbei sind Übungsformen (Abb. 53) aus Niedersprüngen oder ein- und beidbeinige Sprungabfolgen (Jöllenbeck et al, 2013).

4) Sprung- und Landetraining



Abbildung 53: Modul IV - Sprung- und Landetraining (eigene Bildmaterial)

Der Übergang vom Sprung- und Landetraining zum Agilitätstraining ist fließend. Sprung- und Landeübungen müssen dem sportartspezifischen Anspruch gerecht, und daher in

ihrer Progression auch mit Anschlussaktionen gekoppelt werden (Verheijen, 2000; Verstegen & Williams, 2006; Verstegen, 2008).

In Bezug auf eine kraft- und schnelligkeitsbetonte Stabilisation wurden Übungen ausgewählt, die mit unterschiedlichen Formen von Skippings und Sprüngen arbeiten. Dabei handelt es sich bereits um Basisformen von plyometrischen Training. Darunter zählen u.a. ein und/oder beidbeinige *Linien- und Hindernissprünge*, *Split-Squat- und Forward-Jumps* sowie *Dreh- und Diagonalsprünge* (Verstegen & Williams, 2006; Verstegen, 2008; Boyle, 2010; Radcliffe & Thies, 2014).

7.7.5 Modul V - Agilitätstraining

Das Agilitätsmodul war ein weiterer zentraler Inhalt des Trainingsprogramm, der die spielspezifischsten Aufgabenstellungen an den Spieler stellt. Ähnlich wie das Sprung- und Landetraining verfolgt das Agilitätstraining das Ziel, Bewegungssituationen bewusst mit einem optimalen Bewegungsablauf zu versehen, sodass diese in Wettkampfsituationen automatisiert abgerufen werden können (Jöllenbeck et al, 2013). Es gilt die Gewährleistung einer optimalen Bewegungsabfolge und die Vermeidung ungünstiger Positionen und Bewegungen, die zu Kniegelenksverletzungen führen können. Daher beinhaltet das Agilitätstraining, wie in Abbildung 54 zu sehen, typische Laufsituationen aus dem Spielgeschehen des Fußballs wie Stop-and-Go-Läufe, Sprints mit Richtungswechsel, Side-Steps oder auch Sprünge mit Anschlusshandlung, variabel auch unter Einbezug eines Balles (Foran, 2001; Mandelbaum et al, 2005; Verstegen, 2008; Nimphius, 2016).



Abbildung 54: Modul V - Agilitätstraining (eigenes Bildmaterial)

8 Studie 1

Analyse der Bewegungsqualität fußballspezifischer Bewegungsabläufe zur Einschätzung verletzungsrelevanter Risikofaktoren im leistungsorientierten, bezahlten Amateurfußball

Wie der bisherige Forschungsstand aufzeigt und unter Kapitel 4 bereits aufgearbeitet wurde, sind neuromotorische Defizite oftmals Ursache für schwerwiegende Verletzungen am Kniegelenk (Zazulak et al, 2005; Hewett, Myer & Ford, 2006; Alentorn-Geli, Myer & Silvers et al, 2009). Die Analysen der Entstehungsmechanismen von u.a. Kreuzbandverletzungen beschränken sich zum größten Teil auf den Profibereich oder kommen aus dem amerikanischen oder nordeuropäischen Collage-Fußball. Die Identifikation von neuromotorischen Risikofaktoren anhand Screeningtests findet im bezahlten, leistungsorientierten Amateurfußball des deutschen Fußballbundes (DFB) kaum Bedeutung und ist daher Gegenstand der im Folgenden beschriebenen Studie. Ziel der Studie war es, durch Screening-Untersuchungen Sportler zu ermitteln, die anhand ihrer gezeigten Bewegungsqualität ein erhöhtes Verletzungsrisiko in fußballspezifischen Bewegungsmustern vermuten lassen. Bei der Analyse wurde zusätzlich die Abhängigkeit von Alter, Body Mass Index (BMI), Spielniveau, Standbeinabhängigkeit und die Teamzugehörigkeit mit untersucht, Trainerabfragen zufolge starke Einflussfaktor für die Prävention von Verletzungen darzustellen (Kaß, 2013).

8.1 Studiendesign

Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 441 Fußballspieler teil, die zu Beginn der Saisonvorbereitung 2015/16 die motorische Testbatterie der Studie (vgl. Kapitel 7.4) absolvierten. Alter und anthropometrischen Daten der Testpersonen ($M \pm SD$) entnehmen Sie folgender Tabelle 16 (S.128):

Tabelle 16: Alter und anthropometrische Daten der Testpersonen

	Regionalliga	Bayernliga	Landesliga	Bezirksliga	NLZ/Jugend	Gesamt
Alter (in Jahren)	22,8 (± 3,6)	22,8 (± 3,5)	23,0 (± 4,1)	22,2 (± 3,5)	18,0 (± 0)	22,8 (±3,8)
Größe (in cm)	181 (± 6)	181 (± 6)	188 (± 9)	182 (± 5)	184 (± 7)	184 (± 5)
Gewicht (in kg)	76,8 (± 6,5)	76,8 (± 6,5)	76,1 (± 6,6)	78,9 (± 7,4)	78,3 (± 6,8)	76,7 (± 6,6)
BMI	23,3 (± 1,3)	23,5 (± 1,4)	23,2 (± 2,9)	23,8 (± 1,6)	23,0 (± 2,2)	23,3 (± 2)

Versuchsaufbau & -durchführung

Der genaue Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung des, für diese Studie im Mittelpunkt stehenden Sprungtest *DropJump*, deckt sich mit der Beschreibung innerhalb des Kapitels 6.4.2 als Bestandteil der sportmotorischen Leistungsdiagnostik.

Sprungauswertung – *Landing Error Scoring System*

Zur Auswertung wird das *Landing Error Scoring System* herangezogen (Padua, 2012; Padua et al, 2015). Das Screening-System wurde entwickelt, um Sprung- und Landeeigenschaften von Sportlern zu bewerten und Voraussagen bzgl. des Verletzungsrisikos zu treffen (Padua, Marshall, Beutler, DeMaio, Onate, Guskiewicz, 2004; Boling, Thigpen, Padua & Marshall, 2005). Diesem Testverfahren wird zur Risikoidentifizierung von Verletzungen eine hohe Reliabilität und Validität zugeschrieben (Padua et al, 2009; Dar, Yehiel & Cale' Benzor, 2019). Die Ergebnisse einer Experten-Novizen-Studie von Onate, Cortes, Welch und Van Lunen (2010) sprechen für eine mittlere bis exzellente Validität und eine exzellente Zuverlässigkeit des LESS mit kinematischen 3D Bewegungsanalysen. Der LESS gilt demnach als gutes on-field-assesment, um Sportler mit einer schlechten Biomechanik oder hoch verletzungsrisikanten Bewegungsmuster beim Sprung- und Landeverhalten zu identifizieren (Gokeler et al, 2014). Zur Ermittlung des LESS-Scores als Indikator für ein erhöhtes Verletzungsrisiko schwerwiegender Knieverletzungen wurde der *DropJump* mittels retrospektiver Videoanalyse analysiert. Hierbei wurde jeder der 5 dargebotenen Sprünge anhand des *Landing Error Scoring System* bewertet. Dabei wurden das linke und das rechte Bein isoliert in Betracht gezogen und analysiert.

Der LESS zieht zur Beurteilung der Sprungqualität insgesamt 17 Items heran. Jedes Item wird isoliert betrachtet und als vorhandenes Indiz, =1; oder nicht vorhandenes Indiz, =0, eingestuft. Die einzelnen Itempunkte werden zusammengerechnet und ergeben eine Gesamtpunktzahl von insgesamt 17, wonach das Verletzungsrisiko als erhöht oder nicht erhöht eingestuft wird. Dabei beurteilen jeweils 8 Items die Sagittal-, sowie die Frontalebene und ein Item den insgesamten Eindruck. Es werden aus den Gesamtscore der 5 einzelnen Sprünge der Mittelwert des LESS pro Bein berechnet, welcher dann als Richtwert für die Einstufung des Verletzungsrisikos gilt. Somit ergeben sich für das linke und rechte Bein unabhängige Einstufungen. Sprünge mit hohen Gesamtscores (mehr als 5 Itempunkte) spiegeln hierbei ein erhöhtes Verletzungsrisiko anhand neuromotorischer funktioneller Defizite wider, Sprünge, die unter der 5-Punkte Marke bleiben, gelten als stabiler und weniger riskant (Padua et al, 2009; Moser & Bloch, 2015; Padua et al, 2015).

Das *Landing Error Scoring System* bewertet die Sprungqualität in vier unterschiedlichen Kategorien: *exzellent*, *gut*, *moderat* und *schlecht*. Als *exzellent* werden Sprünge bewertet, deren Gesamtscore kleiner, gleich 4 beträgt. Als *gut* werden Sprünge kategorisiert, deren Score bei 5 liegt. *Moderate* Sprünge weisen einen Gesamtscore von 6 auf, während die Sprungqualität als *schlecht* bewertet wird, wenn der Gesamtscore mehr als 6 Scorepunkte zählt (Padua et al, 2009; Beese, Joy, Switzler & Hicks-Little, 2015).

In Tabelle 17, die folgend dargestellt wird (S.130), werden alle 17 Items des *Landing Error Scoring Systems* aufgeführt.

Tabelle 17: LESS-Score Auswertungstabelle (verändert nach Moser & Bloch, 2015, S. 132)

Nr.	Parameter	Beurteilungskriterium	Wertung
1	Kniestreckung	< 30°	Ja (1) Nein (0)
2	Hüftstreckung	Hüfte in Linie mit Rumpf	Ja (1) Nein (0)
3	Rumpfstreckung	Rumpf gestreckt	Ja (1) Nein (0)
4	Plantarflexion im Sprunggelenk	Landungsablauf über Ferse->Zehe oder auf Mittelfuß	Ja (1) Nein (0)
5	Knievalgus	Patellamitte medial des Mittelfußes	Ja (1) Nein (0)
6	Laterale Rumpfflexion	Rumpf ist lateralisiert	Ja (1) Nein (0)
7	Standbreite breit	> Schulterbreite	Ja (1) Nein (0)
8	Standbreite eng	< Schulterbreite	Ja (1) Nein (0)
9	Fußposition	Zehen > 30° innenrotiert	Ja (1) Nein (0)
10	Fußposition	Zehen > 30° außenrotiert	Ja (1) Nein (0)
11	Initialer Fußkontakt	Asymmetrisch	Ja (1) Nein (0)
12	Kniestreckungswinkel	<45° zw. initialem Kontakt und maximaler Flexion	Ja (1) Nein (0)
13	Hüftstreckungswinkel	Fehlende Zunahme der Hüftstreckung	Ja (1) Nein (0)
14	Rumpfflexion	Fehlende Zunahme der Rumpfflexion	Ja (1) Nein (0)
15	Knievalguswinkel	Patellamitte medial des Mittelfußes bei max. Flexion	Ja (1) Nein (0)
16	Knie- & Hüftstreckungswinkel	Summe der Flexionswinkel Knie und Hüfte/Art der Landung	Groß/weich (0) Mittel/ Durchschn. (1) Klein/steif (2)
17	Allgemeiner Eindruck	Exzellent: weiche Landung, keine Bewegung des Knie in der Frontalebene Schlecht: steife Landung, Bewegung des Knie in der Frontalebene	Exzellent (0) Durchschnitt (1) Schlecht (2)

Zum besseren Verständnis wird folgend die Beurteilung eines Test-Items aus der Frontalebene exemplarisch erklärt.

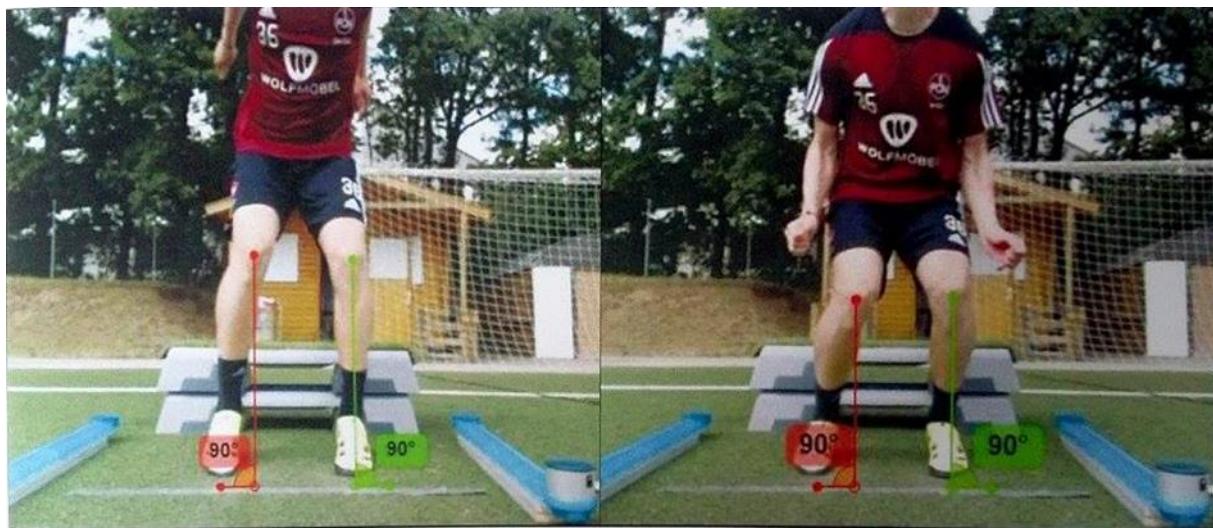


Abbildung 55: Darstellung der Analyse der Bewegungsqualität beim DropJump zum Item 5 & 15 aus der Frontalebene (eigene Bildmaterial)

Der in Abbildung 55 dargestellte Sprung beurteilt, bei beiden Beinen, auf dem linken Bild Item 5 (Knievlagus beim IC), sowie auf dem rechten Bild Item 15 (dynamischer Knievalgus). Die der Tabelle 17 (S.130) zu entnehmenden Beurteilungskriterien lassen beim rechten Bein sowohl beim IC als auch in der Dynamik eine negative Wertung (=1 Itempunkt) zu, beim linken Bein eine positive Wertung (=0 Itempunkt). In beiden Phasen der Sprungdurchführung zeigt das rechte Bein eine risikoreiche Valgusposition, die sich in der Dynamik sogar verstärkt, das linke Bein hingegen zeigt während der gesamten Sprungdynamik eine stabile Beinachse. Ein Beispiel für eine Gesamtbewertung eines Sprunges kann dem Anhang J entnommen werden. Die gezeigte Sprungleistung des LESS ist von den Komponenten Geschlecht, Ermüdungszustand und Zustand nach VKB-Rekonstruktion mit abhängig (Lam & Valovich McLeod, 2014; Beutler, de la Motte, Padua & Boden, 2009; Gokeler et al, 2014). Eine mit über 200 Probanden angelegte Studie ermittelte, dass Männer hauptsächlich in der Bewertung der sagittalen Bewegungsebene schlecht abschneiden, wohingegen Frauen in der frontalen Ebene vermehrt motorische Defizite aufweisen (Lam & Valovich McLeod, 2014).

Statistische Analyse

In einer ersten Auswertung wird die der LESS-MW für beide Beine mittels T-Test einer Stichprobe gegen den kritischen Scorewert 5 gerechnet (Padua et al, 2009; Moser & Bloch, 2015; Padua et al, 2015). Die Normalverteilung der LESS-Mittelwerte wird vorab mittels explorativer Datenanalyse geprüft. Hinsichtlich der gesteigerten Professionalität in höheren Ligen werden die LESS-Ergebnisse unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Spielklassenniveaus mit einer einfaktoriellen ANOVA Varianzanalyse verglichen. Da bei diesem Verfahren allerdings lediglich festgestellt wird, ob sich mindestens zwei Ligen-Mittelwerte (signifikant) unterscheiden, wird zur paarweisen Prüfung ein T-Test mit unabhängigen Stichproben durchgeführt. Im Falle einer mangelnden Varianzhomogenität findet der Welch-Test seine Anwendung (Kubinger, Rasch & Moder, 2009; Sedlmeier & Renkewitz, 2013).

Zur Prüfung einer Korrelation zwischen Alter bzw. BMI der Spieler und LESS-Score wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet (Brosius, 2007), da es sich bei den Testwerten des LESS-Scores um eine intervallskalierte Werte handelt. Zur Analyse eines Zusammenhangs zwischen Spielposition und LESS-Score wird der Korrelationskoeffizient nach dem Spearman-Test berechnet (Leonhart, 2013).

Ob sich der LESS-Score in Zusammenhang mit der Teamzugehörigkeit und dadurch mit einer bisherigen Trainingsintervention herstellen lässt, wird durch eine ANOVA-Rechnung überprüft.

Der Zusammenhang von einzelnen Sprungmerkmalen des DropJumps und dem tatsächlichen Verletzungsaufkommen wurde mittels ANOVA untersucht.

In dieser Studie 1 dient die statistische Analyse der Daten zur Beantwortung der Fragestellung 1 – 5.

8.2 Ergebnisse

Bei 441 Probanden, die beim Pre-Screening-Test DropJump teilgenommen haben, ergaben sich für das rechte Bein LESS-Werte von 1,4 (Minimum), 11,20 (Maximum), sowie

ein Mittel von 6,04 Itempunkte (SD 1,87). Für das linke Bein ergaben sich Werte von 1,2 (Minimum), 11,2 (Maximum), sowie ein Mittel von 5,98 (SD 1,72). Damit weichen beide Ergebnisse gemäß dem Einstichproben T-Test statistisch signifikant vom Testwert 5 LESS-Punkte ab (Padua et al, 2009; Moser & Bloch, 2015; Padua et al, 2015):

- Rechtes Bein: $t(440) = 11,701, p < .001$
- Linkes Bein: $t(440) = 11,931, p < .001$

Von den 441 Probanden trafen 405 Spieler eine genaue Aussage bzgl. ihrer Schussbeinseite. Hier identifizierten 84,9% ihr rechtes Bein als Schussbein, und das linke als Standbein, was Rückschluss darüber geben könnte, dass das linke Bein im Schnitt einen besseren Score-Wert erreicht, da es im Spiel häufiger die Funktion des stabilisierenden Standbeines übernehmen muss.

Die Bewertung des linken Beines sieht 13,6% als exzellente Sprünge an, während 20,4% als gut, 17,5% als moderat und 48,5% als schlecht eingestuft werden. Die Analyse des rechten Beines weist ähnliche Zahlen auf. Hier werden 14,7% der Sprünge mit exzellent, 19,5% mit gut, 19% mit moderat und 46,7% mit schlecht bewertet (Tab. 18).

Tabelle 18: Kategorieneinteilung der Sprungqualität des rechten und linken Beines; N=441

	LESS right leg - Category			LESS left leg - Category	
	Frequency	Percent		Frequency	Percent
<i>Excellent</i>	65	14,7	<i>Excellent</i>	60	13,6
<i>Good</i>	86	19,5	<i>Good</i>	90	20,4
<i>Moderate</i>	84	19	<i>Moderate</i>	77	17,5
<i>bad</i>	206	46,7	<i>bad</i>	214	48,5

Analysiert man die Sprungqualitäten hinsichtlich einer Kategorisierung in den unterschiedlichen Spielklassen separat, der Tabelle 19 (S. 134) zu entnehmenden Bewertungen:

Tabelle 19: LESS-Kategorienaufteilung in den unterschiedlichen Spielklassen für das rechte und linke Bein

		exzellent		Gut		moderat		schlecht		Gesamt	
		re	li	re	li	re	li	re	li	re	li
Ligazugehörigkeit	Regionalliga	32	28	28	31	20	21	73	73	153	
	Bayernliga	5	7	27	24	19	17	44	47	95	
	Landesliga	26	22	27	31	40	34	71	77	164	
	Bezirksliga	2	3	4	4	4	4	12	11	22	
	NLZ/Jugend	0	0	0	0	1	1	6	6	7	
Gesamt		65	60	86	90	84	77	206	210	441	

Die Ergebnisse zusammengetragen kann bei 66,9% des linken Beines, sowie bei 66,7% des rechten Beines ein erhöhtes Verletzungsrisiko vermutet werden, da ihre Sprungauswertung eine Sprungqualität von > 5 LESS-Fehlerpunkte vorweist (Abb. 56).



Abbildung 56: Verletzungsrisiko (LESS > 5) für das rechte und linke Bein

Inwieweit sich die LESS-Werte in den unterschiedlichen Spielklassen unterscheiden, wurde mittels einfaktorieller Varianzanalyse und T-Testung bzw. Welch-Test bei unabhängigen Stichproben ermittelt (Brosius, 2007; Leonhart, 2013; Sedlmeier & Renkewitz, 2013). Vorab wurden die Daten mittels explorativer Datenanalyse auf Normalverteilung geprüft. Die LESS-Werte waren hier für die Regionalliga, Bezirksliga und dem NLZ normalverteilt. Ausnahmen waren in der Bayernliga und Landesliga zu finden (Abb. 57), wie eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test für beide Testbeine (BL) und dem rechten Testbein (LL) ergab ($\alpha = .05$) (Razali & Wah, 2011; Steinskog, Tjøstheim & Kvamstø, 2007). Entsprechend zahlreicher Forscherteams hat sich jedoch gezeigt, dass die einfaktorielle ANOVA gegenüber Verletzungen der Normalverteilung

relativ robust ist, was Basis dafür ist, die geringen Ausreißer in den nachfolgenden statistischen Berechnungen nicht weiter zu beachten (Schmider, Ziegler, Danay, Beyer & Bühner, 2010; Salkind, 2010; Blanca, Alarcón, Arnau, Bono & Bendayan, 2017).

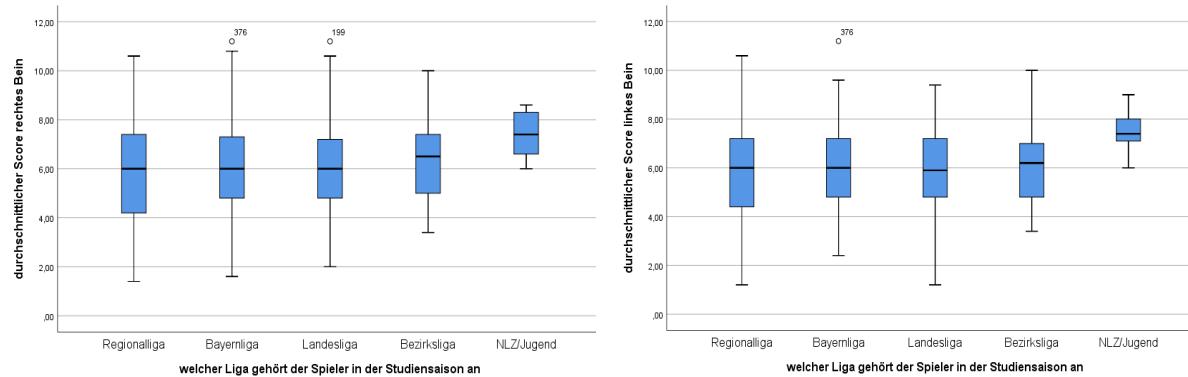


Abbildung 57: Boxplot zur Überprüfung der Normalverteilung der LESS-Scorewerte für beide Testbeine

Allgemein sind unterschiedliche Sprungqualitäten zu beobachten. So erreichten sowohl für das rechte als auch für das linke Testbein Spieler der Regionalliga die besten Scorewerte ($M_{(re)} = 5,90 / SD \pm 2,04$; $M_{(li)} = 5,86 / SD \pm 1,89$). Dem gegenüber haben für das rechte Bein Spieler der Bezirksliga ($M_{(re)} = 6,27 / SD \pm 1,65$) und für das linke Bein, Spieler der Bayernliga ($M_{(li)} = 6,14 / SD \pm 1,65$) die schlechtesten Werte im Seniorbereich. Eine Sonderstellung erfahren in diesem Vergleich die Jugendspieler, die für beide Beinseiten deutlich die schlechtesten Ergebnisse vorweisen ($M_{(re)} = 7,40 / SD \pm 1,08$; $M_{(li)} = 7,51 / SD \pm 0,97$). Einen Überblick über die MW der LESS-Sprungbewertung gibt folgende Tabelle 20.

Tabelle 20: LESS MW - Vergleich der Ligen (MW \pm SD) für beide Beine und p-Wert von Varianzanalyse & T-Test

Team	Anzahl (= N)	LESS M rechts Bein	LESS M linkes Bein
RL	153	5,8993 ($\pm 2,04$)	5,8588 ($\pm 1,89$)
BL	95	6,2232 ($\pm 1,81$)	6,1411 ($\pm 1,59$)
LL	164	5,9878 ($\pm 1,79$)	5,9049 ($\pm 1,63$)
BzL	22	6,2727 ($\pm 1,65$)	6,1091 ($\pm 1,65$)
NLZ	7	7,4000 ($\pm 1,08$)	7,5143 ($\pm 0,97$)
Gesamt	441	6,0444 ($\pm 1,87$)	5,9755 ($\pm 1,72$)

Nach Prüfung der Varianzhomogenität mit dem Levenne-Test (Leonhart, 2013), ergeben sich nachfolgende Ergebnisse.

Der Haupteffekt im Mehrfachvergleich zwischen den Ligen Regionalliga, Bayernliga, Landesliga, Bezirksliga und Nachwuchsleistungszentrum/Jugend liefert keine signifikanten Ergebnisse (rechts: $F[4,436] = 1,486$; $p = .205$; links: $F[4,436] = 1,922$; $p = .106$). Von weiterem Interesse sind die paarweisen Vergleiche der einzelnen Ligen, die mittels T-Test bzw. Welch-Test für unabhängige Stichproben ermittelt wurden. Hier konnten einige statistisch signifikante Differenzen nachgewiesen werden.

So ergeben sich für den paarweisen Vergleich von Spieler aus der Regionalliga ($M_{(re)} = 5,8993$, $SD = \pm 2,04$; $M_{(li)} = 5,8588$, $SD = \pm 1,89$) und Spielern aus der Jugend/NLZ ($M_{(re)} = 7,4000$, $SD = \pm 1,08$; $M_{(li)} = 7,5143$, $SD = \pm 0,97$) statistisch signifikant bessere Test-Scores, sowohl für das rechte Bein ($t[8,093] = -3,400$, $p = .009$), als auch für das linke Bein ($t[158] = -2,302$, $p = .003$).

Auch die zweithöchste Spielklasse (Bayernliga) hat im Vergleich zu den Spielern aus den NLZ-Mannschaften bessere Score-Werte für beide Beine ($M_{(re)} = 6,2332$, $SD = \pm 1,81$; $M_{(li)} = 6,1411$, $SD = \pm 1,59$). Hier konnte allerdings lediglich dem Score-Unterschied für das linke Bein statistische Signifikanz nachgewiesen werden ($t(8,595) = -3,415$, $p = .027$). Das gleiche Bild zeigt sich auch im Vergleich der Bezirksliga-Mannschaften ($M_{(re)} = 6,2727$, $SD = \pm 1,65$; $M_{(li)} = 6,1091$, $SD = \pm 1,65$) gegenüber der Jugend bei signifikanten Unterschieden wiederum für das linke Testbein ($t[27] = -2,121$, $p = .043$). Beim rechten Testbein wurde nach T-Test Analyse eine statistische Signifikanz nicht nachgewiesen ($t[15,660] = -2,090$, $p = .053$).

Die Spieler der dritthöchsten Amateurliga (LL) erreichten für beide Beine beim DropJump bessere Score-Werte ($M_{(re)} = 5,9878$, $SD = \pm 1,79$; $M_{(li)} = 5,9049$, $SD = \pm 1,63$) gegenüber der Jugendteams, bei einer statistisch hohen Signifikanz von $t(169) = -2,070$, $p = .013$ für das rechte Testbein, und $t(169) = -2,593$, $p = .004$ für das linke Testbein.

Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Spielposition und LESS-Score konnte nicht nachgewiesen werden (rechts Bein: $r = -.017$; $p > .05$ / linkes Bein: $r = -.010$; p

> .05). Ebenso kann ein statistisch signifikanter Zusammenhang von BMI und LESS-Score ausgeschlossen werden (rechtes Bein: $r = .003$, $p > .05$; linkes Bein: $r = -.024$, $p > .05$). Auch das Alter der getesteten Fußballspieler hat keinen statistisch nachweisbaren Einfluss LESS-Score: rechtes Bein: $r = -.89$; $p > .05$ / linkes Bein: $r = -.084$; $p > .05$ (Abb. 58).

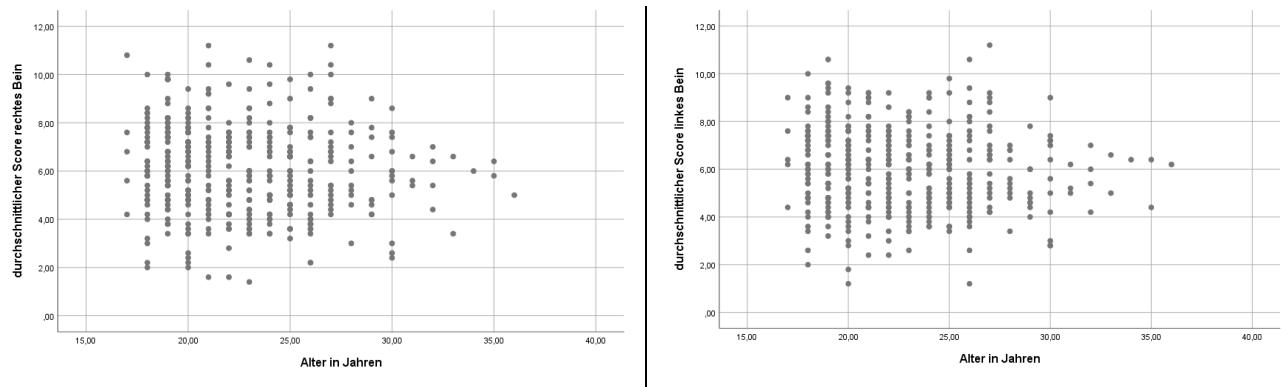


Abbildung 58: Streudiagramm Korrelation nach Pearson für Alter und LESS-Score (rechtes & linkes Bein)

Eine weitere Forschungsfrage stellt den Einfluss der Teamzugehörigkeit, unabhängig von der Ligazugehörigkeit, auf die neuromotorische Bewegungsqualität des DropJumps und des damit einhergehenden Verletzungsrisikos in den Mittelpunkt. Anhang K gibt einen Überblick über die Mittelwerte des LESS-Scores der einzelnen Teams (Variable 1 – 32). Die Spieler wurden in der Folge gemäß Ihrer LESS Beurteilung in zwei unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Probanden mit einem Score > 5 wurden als verletzungsgefährdet eingestuft, Probanden mit einem Score < 5 wurden als nicht verletzungsgefährdet eingestuft. Ein entsprechender ANOVA-Gruppenvergleich ergab sowohl für das linke als auch für das rechte Testbein einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Teamzugehörigkeit und Verletzungsgefahr (Rechts: $F[31,409] = 2,063$, $p = .001$; Links: $F[31,409] = 1,982$, $p = .001$).

Angelehnt an Lam und Valovich McLeod (2014) ist auch in dieser Forschungsarbeit von Interesse, inwieweit einzelne Sprungitems in Zusammenhang mit einem erhöhten Verletzungsrisiko stehen. Zur Analyse wurden die einzelnen Items aller Sprungversuche gemittelt und den Risiko-Kategorien *exzellent*, *gut*, *moderat* und *schlecht* der LESS-Auswertung zugeordnet. Interessanterweise besteht beim vermeintlich rechten Schussbein ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Kategorien mit einem

vermuteten hohen Verletzungsrisiko (LESS-Score > 5) und mehreren Sprungitems aus der Sagittalebene (Item 1; 12; 13; 14; 16). Ebenfalls weisen Defizite in der lateralen Rumpfinstabilität (Item 6) und auch ein als insgesamt negativ bewerteter Sprung (Item 17) eine statistische Signifikanz mit einem erhöhten Verletzungsrisiko auf, was Tabelle 21 zu entnehmen ist.

Tabelle 21: ANOVA: Zusammenhang von Risikoathleten (LESS-Score > 5) des rechten Beines und schlechter Bewegungsqualität in der Sagittalebene (Item 1,12,13,14,16), in der lateralen Rumpfinstabilität (Item 6) sowie im Gesamteindruck (Item 17)

Item 1 – Knee flexion at initial contact < 30°	F (1,281) = 6,149, p = .014
Item 6 – less Lateral Trunk Flexion at initial contact	F (1,281) = 5,810, p = .017
Item 12 – Knee Flexion displacement	F (1,281) = 53,008, p < .001
Item 13 – Hip Flexion displacement	F (1,281) = 38.205, p < .001
Item 14 – Trunk Flexion displacement	F (1,281) = 100,781, p < .001
Item 16 – Joint displacement in the sagittal plane	F (1,281) = 66,677, p < .001
Item 17 – Overall impression	F (1,181) = 11,882, p = .001

Die gleichen Berechnungen wurden auch für das vermeintlich linke Standbein durchgeführt. Auch hier wurden statistisch signifikante Zusammenhänge analysiert, wenngleich die Muster der Bewegungsdefizite im Vergleich zum rechten Bein leicht abweichen (Tabelle 22).

Tabelle 22: ANOVA: Zusammenhang von Risikoathleten (LESS-Score > 5) des linken Beines und schlechter Bewegungsqualität des initialen Knievalgus (Item 5), in der Sagittalebene (Item 12,13,14,16), in der lateralen Rumpfinstabilität (Item 6) sowie im Gesamteindruck (Item 17)

Item 5 – Medial knee position: initial contact	F (1,282) = 5.479, p = .020
Item 6 – less Lateral Trunk Flexion at initial contact	F (1,282) = 8.249, p = .004
Item 10 – Foot position: internal rotation	F (1,282) = 5-100, p = .025
Item 12 – Knee Flexion displacement	F (1,282) = 40.170, p < .001
Item 13 – Hip Flexion displacement	F (1,282) = 40.527, p < .001
Item 14 – Trunk Flexion displacement	F (1,282) = 57.770, p < .001
Item 16 – Joint displacement in the sagittal plane	F (1,282) = 70.174, p < .001
Item 17 – Overall impression	F (1,182) = 11.684, p = .001

Zur Prüfung, ob die Sprungqualität von der Anzahl der Sprünge abhängt, wurden der Gesamtscore des LESS, als auch isoliert die Items der sagittalen Ebene sowie der frontalen Ebene via ANOVA mit Messwiederholung gesondert verglichen. Nach Prüfung auf Normalverteilung (Abb. 59) mittels explorativer Datenanalyse, wurden alle Fälle unverändert in die Berechnung mit einbezogen (Salkind, 2010; Schmider et al, 2010; Blanca et al, 2017). Dieses Vorgehen wird auch durch die Tatsache $N > 30$ gestützt (Bortz & Schuster, 2010).

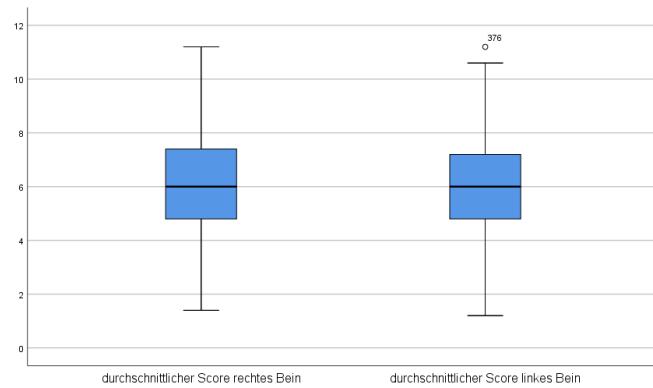


Abbildung 59: Boxplot: Prüfung auf Normalverteilung des LESS

In allen Vergleichen zeigte sich der Effekt, dass sich die LESS-Sprungwerte mit der Sprungwiederholung, teils statistisch signifikant, verbesserten (Abbildungen 60-62, S.144ff).

Sprungentwicklung LESS-Gesamtscore

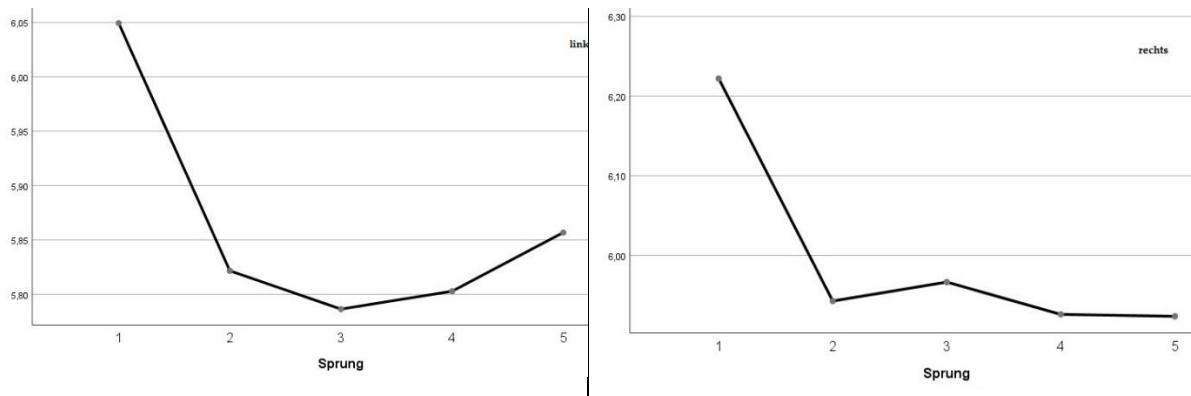


Abbildung 60: LESS-Gesamtscore – Sprungentwicklung bei 5 Versuchen (li / re)

Im paarweisen Vergleich zeigt ein Bonferroni-korrigierter post-hoc Test signifikante Unterschiede zwischen Sprung 1 (S1 [Score: 6.05, $SD = 2.07$]) und den Folgesprüngen 2-4 (S2-4 [Score S2: 5.82, $SD = 1.93$; S3: 5.79, $SD = 2.13$; S4: 5.80, $SD = 2.08$; S5: 5.86, $SD = 2.08$]) des linken Beines, was auf einen Lerneffekt hinweisen kann. Im Vergleich von S1 und S2 ergibt sich ein statistischer Unterschied von 0.23, 95% - CI (0.02, 0.43); $p = .017$. Der

Unterschied zwischen S1 und S3 ist ebenso statistisch signifikant (0.26, 95% - CI (0.05, 0.47); $p = .004$), wie zwischen S1 und S4 (0.25, 95% - CI (0.03, 0.47); $p = .025$).

Der Unterschied des ersten Sprunges mit dem letzten Sprung, der wieder schlechtere MW aufzeigt, ist hingegen nicht signifikant (0.19, 95% - CI [-0.03, 0.42]; $p = .158$).

Den rechten Sprung in Betracht gezogen, ergeben sich aus allen paarweisen Vergleichen, gemessen an S1, für die Folgesprünge S2 (0.28, 95% - CI [0.08, 0.48]; $p = .001$), S3 (0.26, 95% - CI [0.03, 0.48]; $p = .015$), S4 (0.30, 95% - CI [0.07, 0.52]; $p = .002$) wie auch S5 (0.30; 95% - CI [0.07, 0.53]; $p = .001$) statistisch signifikante Unterschiede.

Sprungentwicklung LESS Sagittalebene

Auch die Qualitätsmerkmale in der sagittalen Sprungebene zeigen statistisch signifikante Unterschiede der LESS-Scores des vermeintlich schwächeren rechten Schussbeins bei S2-S4 (S2: 2.59, $SD = 1.56$; S3: 2.56, $SD = 1.60$; S4: 2.54, $SD = 1.56$) im Vergleich zu S1 (2.74, $SD = 1.61$). Der Vergleich S1 und S2 ergibt einen statistisch signifikanten Unterschied (0.15, 95% - CI [0.001, 0.31], $p = .046$), ebenso wie bei S3 (0.18, 95% - CI [0.007, 0.35], $p = .035$) sowie bei S4 (0.20, 95% - CI [0.02, 0.37], $p = .017$). Die Abweichung des letzten Sprunges S5 (2.59, $SD = 1.64$) zeigt kein signifikantes Ergebnis (0.15, 95% - CI [-0.03, 0.33], $p = .184$).

Für das linke Testbein ergeben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

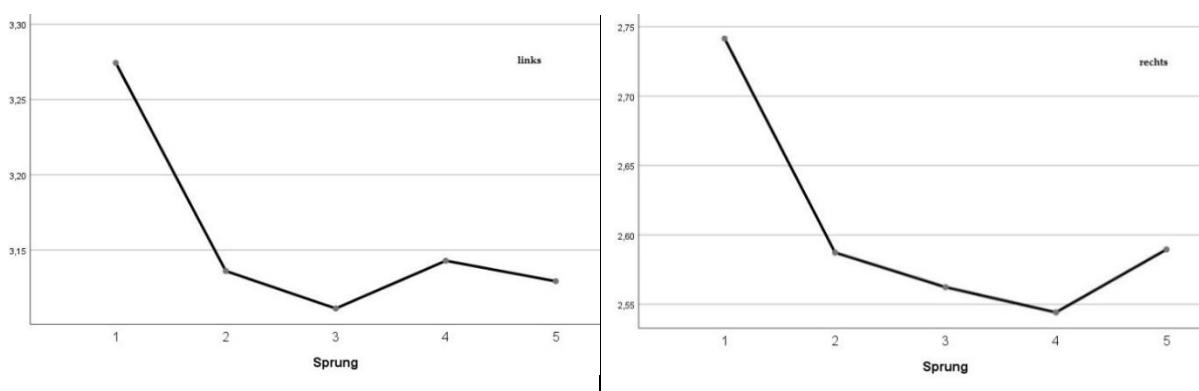


Abbildung 61: LESS-Score der sagittalen Sprungebene – Sprungentwicklung bei 5 Versuchen (links / rechts)

Sprungentwicklung LESS Frontalebene

Bei der Analyse der Qualitätsmerkmale der Sprünge S1-S5 in der Frontalebene, ergaben sich weder für das linke noch für das rechte Testbein statistisch signifikante Unterschiede.

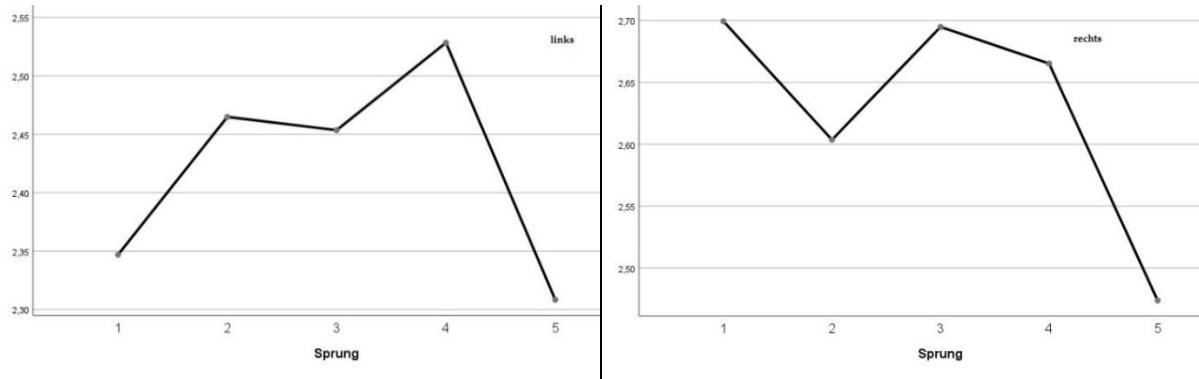


Abbildung 62: LESS-Score der frontalen Sprungebene – Sprungentwicklung bei 5 Versuchen (links / rechts)

8.3 Diskussion

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Bewegungsqualität von Niedersprüngen in Form des DropJump-Tests analysiert, um einen Rückschluss auf neuromotorische Defizite im leistungsorientierten Amateurfußball der vier höchsten Amateurligen inklusive Nachwuchselite des bayerischen Fußballs zu bekommen.

Die erste Fragestellung setzt sich mit der Bewegungsqualität im Allgemeinen auseinander und versucht, den Status Quo der Probanden einzuordnen. Basierend auf Padua et al (2015) zielt eine DropJump Analyse anhand des *Landing Error Scoring System* darauf ab, Spieler zu identifizieren, die aufgrund zu großer neuromotorischer Defizite in der Bewegungsqualität des Screeningtest einem erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt sind. Im Vergleich zu den Forschungsergebnissen mit US-Militärrekruten, sowie jugendliche Fußballspieler waren allen voran die als schlecht bewertenden Sprünge, mit 46,7%re bzw. 48%li vs. 23% (Padua et al, 2009) oder 32,6% (Padua et al, 2015) deutlich präsenter.

Mit durchschnittlichen LESS Sprungwerten von 6,04_{re} ($SD \pm 1,87$) sowie 5,98_{li} ($SD \pm 1,72$) sind die Ergebnisse als schlechter einzustufen, als der Durchschnitt ($4,92 \pm 1,67$) einer Kohorten-Studie von Padua et al (2009). Eine andere Forschergruppe dagegen rekrutierte ähnliche Werte bei erwachsenen Frauenteams ($M = 6,07 \pm 1,93$). Gemessen an dem Cut-off-

Wert von 5 (Padua et al, 2015) sind die Spieler der hiesigen Studienpopulation auf Basis einschlägiger neuromotorischer Defizite einem insgesamt erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt. Grundlegen hierfür könnte die mangelnde Umsetzung athletischer, präventiver Trainingsinhalte in den Studienmannschaften im Allgemein sein (Abschnitt 6.3, Abb. 36) für das vergleichsweise schlechte Abschneiden sein. Auch fehlendes Fachpersonal kann ein Indiz dafür sein. Technikfehler in verletzungsriskanten Bewegungsmuster müssen von Fachpersonal erkannt und dementsprechend korrigierend interveniert und verbessert werden (Grooms, Palmer, Onate, Myer & Grindstaff, 2013). Inwieweit sich die Werte in Abhängigkeit von Alter, BMI, Spielposition, Spielniveau, oder Teamzugehörigkeit unterscheiden wird in Fragestellung 2 diskutiert.

Bei den Vergleichen muss jedoch angemerkt werden, dass die Teilnehmer der hiesigen Studien andere Durchführungsmodalitäten hatten. Während alle Vergleichs-Testungen unter Laborbedingungen stattfanden, wurde die Testbatterie der vorliegenden Studie unter möglichst realen fußballspezifischen Voraussetzungen auf dem Platz auf Kunstrasen mit Fußballschuhen und bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen durchgeführt.

Fragestellung 2 setzt sich mit der Auswertung der qualitativen Sprunganalyse auseinander und stellt die Frage, ob sich die Sprungversuche des DropJump-Test qualitativ hinsichtlich Alter, BMI, Spielposition, Spielniveau (Ligazugehörigkeit) und Teamzugehörigkeit unterscheiden. Den Ergebnissen der Analyse zufolge, ergeben sich bei der teilnehmenden Studienpopulation hinsichtlich anthropometrischer Daten keine Unterschiede im Mehrfachzusammenhang des LESS-Scores und den damit einhergehenden Verletzungsrisiko. Paarweise Vergleiche weichen von diesem Ergebnis ab, werden aber hinsichtlich Ligazugehörigkeit diskutiert. Bei einem durchschnittlichen Alter von 22,8 Jahren ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang mit den Scorewerten, ebenso wenig bei der Analyse von Größe, Gewicht und dem daraus resultierende BMI.

Im weiteren Ligenvergleich weisen die höherklassigen Teams tendenziell bessere Score-Werte auf als Teams aus den niedrigeren Klassen, was einen Rückschluss auf die

Professionalität und die Trainerstrukturen in den höheren Spielklassen zulässt. Bei fehlender Fachexpertise leidet die Qualität von athletischen präventiven Trainingsinhalten (Grooms et al, 2013). Entsprechend der LESS-Interpretation mit dem Cut-off-Wert von 5 (Padua et al, 2015) sind Spieler mit geringerem Spielniveau einem erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt. Dies entspricht auch der Annahme von Studien der Forschungsgruppen um Peterson, Junge und Chomiak et al (2000), sowie Chomiak, Junge, Peterson und Dvorak (2000). In den exakten paarweisen Vergleichen unterscheiden sich die Sprunganalysewerte der Jugendteams statistisch signifikant von den Mannschaften aus dem Seniorenbereich. Die auffallend schwachen Sprungwerte der Jugend-Mannschaften lassen jedoch neuromotorische Defizite bereits im Nachwuchsalter vermuten. Dies deckt sich mit einer Studie von Schneider, Wiegand, Braumann und Wollesen (2019). Das Forscherteam untersuchte Jugendspieler bis 13 Jahre auf neuromotorische Auffälligkeiten mittels Functional Movement Screen® (FMS) und identifizierte eine Vielzahl motorischer Defizite bereits im Jugendalter. Auf die Gefahr hin, dass diese sich manifestieren, sehen die Autoren die Notwendigkeit bei Auffälligkeiten rechtzeitig via Präventionsprogramm zu intervenieren. Zu einem ähnlichen Schluss kommen auch Myer, Sugimoto, Thomas und Hewett (2013), die einen rechtzeitigen Einfluss auf neuromotorische Defizite zur Beeinflussung des Verletzungsrisikos bei jüngeren Sportlern hinweisen. Dies deckt sich mit dem Ziel der Prävention von Sportverletzungen, mittels früher Intervention den Risikofaktor vor dem Eintreten einer Verletzung zu minimieren (Bahr, 2016). Olsen, Myklebust und Engebretsen et al (2005) schlussfolgern, dass präventive Trainingsinhalte bereits bei jugendlichen Sportlern fester Trainingsbestandteil sein sollen. Auch Root, Trojian, Martinez, Kraemer und DiStefano (2015) bewerten die frühe Implementierung präventiver Trainingsinhalte als essentiell, da v.a. Jugendliche ein gutes motorisches Lernen haben und demnach Bewegungsprogramme in ihrer Entwicklung optimiert werden können. Als weiteren positiven Effekt sensibilisiert eine frühe Intervention die Spieler-Compliance (Root et al, 2015). Um ihre Wirkung zu steigern, müssen präventive Trainingsprogramme jedoch auf den spezifischen Umsetzungskontext des professionellen Jugendfußballs zugeschnitten

sein. Dies beinhaltet auch die Änderung der Inhalte, um eine angemessene Förderung, Variationen und dementsprechende Fortschritte zu gewährleisten (O'Brien & Finch, 2016).

Im Vergleich der LESS-Werte und der damit verbunden Klassifizierung von Risikoathleten und der Spielposition decken sich die Ergebnisse mit Recherchen des FIFA Medical Assessment and Research Centre, die keinen statistisch relevanten Zusammenhang herstellen konnten (Fuller et al, 2011).

Den Einfluss von Trainern auf eine erfolgreiche Präventionsarbeit haben Kaß (2013) und Klein (2014) deutlich gemacht. Inwieweit sich die Annahme, dass die Professionalität, das Know-How und die Trainermethodik vor einer konkreten Präventionsintervention das Verletzungsrisiko, basierend auf neuromotorischen Sprunganalysen, auswirkt, wurde im Rahmen dieser Studie analysiert. Unabhängig von der Ligazugehörigkeit, der man vermutlich ein differenziertes professionelles Niveau in der Trainermethodik nachsagen kann, ergab die statistische Analyse einen signifikanten Zusammenhang zwischen Teamzugehörigkeit und Verletzungsrisiko anhand des LESS-Scores (Rechts: $F[31,409] = 2,063, p = .001$; Links: $F[31,409] = 1,982, p = .001$). Sucht man grundlegende Faktoren für diese Effekte, kann hier eine unterschiedliche Qualität und Fachexpertise des Trainerstabs vermutet werden (Grooms et al, 2013; Steffen et al, 2013; Hahne & Schmitt, 2017).

Padua et al (2009) kategorisierte nach seiner LESS-Analyse 45% der männlichen Teilnehmer und 65% der weiblichen Teilnehmer als Risikoathleten bzgl. einer erhöhten Verletzungsgefahr von Knieverletzungen bzw. Kreuzbandrissen. In seiner Untersuchung waren wie erwartet schlechte LESS-Werte mit einem verringerten Knie- und Hüftbeugewinkel (Parameter der sagittalen Kinematik) verbunden. Zusätzlich waren die Knievalgus-Position und der Innenrotationsmoment von Knie und Hüfte erhöht. Die Ergebnisse von Padua et al (2009) stimmen allen voran mit den Risikoitems der sagittalen Kinematik der aktuellen Studienpopulation überein (Tab. 22 & 23). Spieler der Risikokategorien drei und vier weisen allen voran statistisch signifikante, neuromotorische Defizite in den Items 1 *Knieflexion beim initialen Kontakt*, 12 *Knieflexionswinkel in der Dynamik*, 13 *Hüftflexionswinkel in der Dynamik*, 14 *Rumpfflexionswinkel in der Dynamik* und 16 *Knie- und Hüftflexionswinkel im Gesamteindruck*

auf. Zusätzlich sind die *Defizite in Bezug auf eine Knievalgusposition beim Initialkontakt (Item 5)*, eine *Lateralverschiebung des Rumpfes beim Initialkontakt (Item 6)* sowie im *gesamt betrachteten Bewegungsablauf (Item 17)* statistisch nachweislich mit einem hohen Verletzungsrisiko verbunden. Eine weitere Forschergruppe um Padua et al (2015) analysierte bei 829 Elite-Jugend-Fußballspieler den DropJump anhand des *Landing Error Scoring System*. Hier wiesen neben einer erhöhten außenrotierten Fußposition (Item 9) vor allem wiederum Bewegungsmerkmale der Sagittalebene (Item 3, 12, 13, 14, 16) schlechte Werte in Bezug auf die Bewegungsqualität auf, was sich mit der Analyse aus der vorliegenden Forschungsarbeit deckt. Zu diesem Schluss kam auch eine Studie von Benjaminse, Postma, Janssen und Otten (2017). Ein zu steifer Oberkörper in der Sprungdynamik (Item 14: $p = .007$) und ein, in der Sagittalebene betrachtet, insgesamt steif wirkender Sprung (Item 16: $p = .04$) konnte bei der Untersuchung von Padua et al (2015) sogar ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit VKB-Verletzungen nachgewiesen werden. Auch 2011 assoziierten Padua, Boling, DiStefano, Onate, Beutler und Marshall zu geringe Knie-, Hüft- und Rumpfflexionswinkel mit defizitären kinematischen Sprungmerkmalen. Inwieweit die LESS-Daten der aktuellen Stichprobe eine nachweisbare Vorhersage über Folgeverletzungen treffen kann, wird in Abschnitt 10 genauer diskutiert.

9 Studie 2

Der Einfluss von Vorverletzungen auf die Bewegungsqualität (LESS) beim DropJump.

Eine weitere Fragestellung der Studie ist, ob Spieler mit Vorverletzungen schlechtere Bewegungsqualitäten beim Sprungtest DropJump aufzeigen als Spieler ohne Vorverletzung, und ob demnach Vorverletzungen ein Risikofaktor für weitere schwerwiegenden Knieverletzungen sind. Auch hier wurde der *Landing Error Scoring System* als qualitative Bewertungsgrundlage herangezogen. Zusätzlich wird untersucht, welche Art der Vorverletzung Einfluss auf die Bewegungsqualität hat. Grundlage für den Untersuchungsansatz ist der Zusammenhang von Verletzungen und daraus resultierenden koordinativen und neuromotorischen Defiziten in Bewegungsabläufen als Verletzungsindikator (Timmermann & Steubl, 2009). Die Verwaltungsberufs-

genossenschaft sieht Vorverletzungen mitunter als ein starkes Indiz für nachfolgende schwere Kniegelenkstraumen. Allen voran erhöhen vorangegangene Kreuzbandrupturen die Gefahr einer Re-Ruptur (Krutsch et al 2013; VBG, 2017).

Speziell Spieler, die in der Vergangenheit eine Knieverletzung erlitten hatten, wurden bzgl. der einzelnen Items untersucht. Hier soll ein T-Test bzw. Welch-Test- analysieren, ob Vorverletzungen am Knie einen Einfluss auf Items aus der LESS-Sprunganalyse haben, die ihrerseits eine Aussage auf die Bewegungsqualität und das Verletzungsrisiko für Knieverletzungen treffen.

9.1 Studiendesign

An der Untersuchung wurden die Daten von 405 Studienteilnehmer ausgewertet, da von 36 Spielern, die die sportmotorische Testbatterie durchliefen, keine Angaben zu Vorverletzungen vorliegen.

Datenerhebung

Zur Evaluierung der Vorverletzungen wurden allen teilnehmenden Spielern vor der ersten sportmotorischen Testung eine Verletzungs-Checkliste vorgelegt, in welcher explizit akute Vorverletzungen der letzten drei Monate (VV₃) und schwerwiegende Knieverletzungen der vorangegangen 5 Jahre (VV₅) abgefragt wurden (siehe Anhang D).

Um Vergleiche zwischen den Pre-Season-Testing und Verletzungen im Saisonverlauf der Studiensaison 2015/16 zu ziehen, wurde über einen Vereinsverantwortlichen als Ansprechpartner sowohl in der Winterpause, als auch nach der Studiensaison die Verletzungsstatistik zum jeweiligen vorausgegangenen Zeitraum (Vorrunde & Rückrunde) abgefragt (Anhang F). Zur Ergänzung dieser Abfrage wurde die Fußball-Datenbank *FuPa - das Fußballportal* nach Verletzungen der relevanten Spieler untersucht.

Die dabei gewonnenen Daten, sowie die Zuteilung in die unterschiedlichen Spielklassen wurden in das Datenanalyseprogramm SPSS eingetragen.

Statistische Analyse

Entsprechend der unterschiedlichen Gruppierungen (Vorverletzung: ja/nein; Vorverletzung Knie: ja/nein; Vorverletzung Kreuzband: ja/nein) wurden die Vorverletzungen ermittelt und die jeweiligen Mittelwerte des LESS-Scores berechnet. Um den statistischen Zusammenhang der unterschiedlichen Gruppierungen mit den LESS-Werten zu prüfen, wurden die entsprechenden Daten paarweise via T-Test bzw. Welch-Test verglichen.

Der Zusammenhang von akuten Vorverletzungen und Folgeverletzungen wird in der Analyse durch einen Chi-Quadrat-Test der Unabhängigkeit geprüft (Sedlmeier & Renkewitz, 2013; Leonhart, 2013).

9.2 Ergebnisse

Bezüglich Vorverletzungen waren zwei Fragestellungen von entscheidender Bedeutung. Zum einen wurde abgefragt, ob der, an den Sprungtests teilnehmende Spieler, innerhalb der letzten 5 Jahre vor der Screening-Testung eine Knieverletzung erlitten hatte, und zum anderen war von Interesse, ob der Proband innerhalb der letzten 3 Monate vor der Testung eine Akutverletzung erlitten hat, die ihm zu einer Pause von mindestens einem Training oder Spiel zwang. Von den 405 Teilnehmern gaben 235 an, entsprechend der Fragestellung, verletzt gewesen zu sein. Die Ergebnisanzahl beinhaltet entweder eine Knieverletzung binnen der vorausgegangenen 5 Jahre, eine Akutverletzung in den letzten 3 Monaten oder gar beides.

Einen Überblick über die Häufigkeiten der angegebenen Vorverletzungen soll die auf Seite 153 abgebildete Tabelle 23 (S. 148) geben.

Tabelle 23: Angegebene Vorverletzungen der teilnehmenden Stichprobe

Vorverletzung unabhängig von der Art (VV ₁)		Knieverletzung in den letzten 5 Jahren (VV ₅)		Akutverletzung der letzten 3 Monate (VV ₃)	
ja	235 58%	ja	221 55%	ja	144 36%
			davon VKB		
			124 28,1%		
nein	170	nein	184	nein	261

Demnach nahmen 58% der abgefragten Spieler mit Vorverletzung an den Screening-Testungen teil. Dabei gaben mit 221 Spieler 55% an, bereits eine Verletzung am Knie gehabt zu haben. Wiederum 124 Spieler davon, waren von Verletzungen des Kreuzbandes (VV_{VKB}) betroffen, was gemessen der Stichprobe 28,1% ausmacht.

Der LESS-Score war bei den Spielern ohne jegliche Vorverletzung, entsprechend der Fragestellung, mit $6,05_{re}$ ($SD = 1,91$) und $5,98_{li}$ ($SD = 1,78$) Scorepunkten besser als bei Spielern, die sich innerhalb der letzten 5 Jahre, unabhängig der Art, eine Verletzung zugezogen haben ($Score_{re} = 6,08$ [1,82]; $Score_{li} = 6,03$ [1,69]), wenngleich ohne statistische Signifikanz (rechts: 95% CI[0.40, 0.34], $t[353,056] = -0.149$, $p = .882$; links: 95% CI[0.40, 0.30], $t[352,620] = -0.284$, $p = .777$).

Werden die Knieverletzungen in Betracht gezogen, ergeben sich ähnliche Ergebnisse ($Score_{re} = 6,11$ [1,83]; 95% CI [-0.45, 0.28], $t[385,511] = -0.476$, $p = .634$; $Score_{li} = 6,06$ [1,70]; 95% CI [-0,46, 0,22], $t[384,172] = -0.670$, $p = .503$).

Die Spieler, die sich tatsächlich auch eine VKB-Verletzung zugezogen haben, hatten in beiden Testbeinen einen nahezu identischen Scorewert als gänzlich unverletzte Spieler ($Score_{re} = 6,09$ [1,69]; $Score_{li} = 6,00$ [1,51]). Weiter erreichten auch Spieler mit akuten Vorverletzungen ähnliche Testergebnisse ($Score_{re} = 6,09$ [1,65]; $Score_{li} = 6,00$ [1,49]). Die Scores der Vorverletzungen wurden zur statistischen Berechnung mittels T-Test paarweise mit den Scores der unverletzten Spieler verglichen, wobei sich in keinem Fall eine statistische Signifikanz ergab. Für die akuten Vorverletzungen wurden folgende

Ergebnisse berechnet: VV3_{rechts}: 95% CI (-0.41, 0,35), $t(403) = -0.164$, $p = .870$; VV3_{links}: 95% CI (-0.33, 0,35), $t(403) = 0.125$, $p = .901$. Bei der Analyse von VKB-Verletzungen als Vorverletzungen, können folgende Ergebnisse festgehalten werden: VV_{VKBrechts}: CI (-0.43, 0,36), $t[403] = -0.166$, $p = .089$; VV_{VKBlinks}: 95% CI (-0.35, 0,38), $t(403) = 0.81$, $p = .935$.

In Folge dieser Ergebnisse konnten auch DropJump-Sprünge, die gemäß der Kategorieeinteilung von Padua et al (2009) als verletzungsriskant eingestuft werden, keine statistisch signifikanten Zusammenhänge mit Folgeverletzungen nachgewiesen werden. Die gleichen statistisch unrelevanten Ergebnisse ergeben sich auch aus dem Vergleich von Beinassymmetrien und Folgeverletzungen. Munro und Herrington (2011), sowie Thomee et al (2011) zufolge erhöhen Beinassymmetrien von mehr als 10% die Verletzungsgefahr.

Statistisch signifikant ist allerdings der Populationsvergleich der vorverletzten Spieler mit dem Cut-off-Testwert 5 (Tab. 24), demnach sich laut Literatur eine erhöhte Verletzungsgefahr ergibt (Padua et al, 2009; Moser & Bloch, 2015; Padua et al, 2015):

Tabelle 24: LESS-Vergleich von Spielern mit Vorverletzungen mit dem LESS-Testwert 5

VV1	rechts	$t(234) = 9,085, p < .001$
	links	$t(234) = 9,344, p < .001$
VV3	rechts	$t(143) = 7,888, p < .001$
	links	$t(143) = 8,011, p < .001$
VV5	rechts	$t(220) = 8,968, p < .001$
	links	$t(220) = 9,295, p < .001$
VV _{VKB}	rechts	$t(123) = 7,264, p < .001$
	links	$t(123) = 7,339, p < .001$

Inwieweit Vorverletzungen, allen voran des Kniegelenks, eine Auswirkung auf einzelne Items des DropJump-Sprunges haben, wurde mittels T-Test bzw. Welch-Test geprüft.

Ohne die Verletzungsart der Vorverletzung genau zu kategorisieren, ergab die Analyse bei zwei Items statistisch relevante Ergebnisse. Bei einer mittleren Differenz von 0.57 LESS-Punkten (95% CI [-1.12, 0,02]), $t[396] = -2.024, p = .044$) zeigen vorverletzte Spieler im

Gesamteindruck der Sagittalebene (Item 16) ein signifikant schlechteres Sprungverhalten. Item 10 (außenrotierte Fußposition $> 30^\circ$) weist ebenfalls eine statistische Signifikanz auf (95% CI [0.04, 0.49], $t[275.915] = 2.328$, $p = .021$).

Weiter gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen Spielern mit einer Knievorverletzung und Spielern ohne Vorverletzung in Bezug auf den Gesamtscore der Sagittalebene (Item 16). Demnach war der Score bei den verletzten Spieler durchschnittlich um 0.6 LESS-Punkte höher (95% CI [-1.13, -0.41], $t[396] = 2.113$, $p = .035$).

Wenn rein die Kreuzbandvorverletzungen in Betracht gezogen werden, zeigt hingegen Item 10 ein statistisch signifikantes Ergebnis (95% CI [0.50, 0.43], $t[356.807] = 2.492$, $p = .013$).

Ein χ^2 -Test untersuchte gemäß der Fragestellung 6 die Unterschiede von Häufigkeiten von Vorverletzungen und auftretenden Folgeverletzungen auf Signifikanz. Hierfür waren die entsprechenden Testvoraussetzungen entsprechend des Studiendesigns erfüllt. Weiter waren alle erwarteten Zellhäufigkeiten größer als 5, was die Interpretation des Chi-Quadrat-Test nach Pearson begründet (Leonhart, 2013). Der Zusammenhang von VV1 und Folgeverletzung (Verletzungsart nicht entscheidend) war statistisch signifikant ($\chi^2[1] = 8.234$, $p = .004$, $\varphi = 0.14$). In Bezug auf später auftretenden Knieverletzungen ergab sich keine Signifikanz. Die Vorverletzungen im Allgemeinen wirken sich auch nicht auf künftige VKB-Verletzungen aus. Diese Ergebnistendenz ergibt sich auch aus den Berechnungen VV3 und VV5 bzgl. künftigen Kreuzbandverletzungen. Jedoch scheinen akute Vorverletzungen (VV3) einen Zusammenhang mit künftig auftretenden Knieverletzungen im Allgemeinen zu haben, wenngleich eine statistische Signifikanz knapp verpasst wurde ($\chi^2(1) = 3.491$, $p = .062$, $\varphi = 0.09$). Die Frage nach einem Zusammenhang zwischen vorhergehender Knieverletzung (VV5) und künftig auftretenden Knieverletzungen innerhalb des Studienzeitraums ergab statistisch signifikante Ergebnisse ($\chi^2(1) = 4.820$, $p = .028$, $\varphi = 0.11$). Keine statistische Signifikanz kann der Fragestellung nachgewiesen werden, ob Vorverletzungen des Knies einen Zusammenhang mit VKB-Folgeverletzungen innerhalb des Studienzeitraums haben ($\chi^2[1]$

= 0,21, $p = .649$, $\varphi = -0,23$). Gleiches gilt für den Einfluss von vorangegangenen VKB-Verletzungen und VKB Rezidiv-Verletzungen ($\chi^2[1] = 0,787$, $p = .375$, $\varphi = -0,04$).

9.3 Diskussion

Unabhängig der Verletzungsart ist auffallend, dass über die Hälfte der Spieler in den leistungsorientierten Amateurligen, die Angaben zu Vorverletzungen gemacht haben (N = 405) in den letzten 5 Jahren vor der Screening-Testung mindestens einmal verletzt waren, sodass Sie aufgrund dessen für mindestens ein Training oder Spiel pausieren mussten. In den Profiligen waren ligaübergreifend gar 82,7% mindestens einmal verletzt. Ein direkter Vergleich ist nicht möglich, da die Spieler der Studienstichprobe nicht nach den Verletzungen der gesamten Vorsaison gefragt wurden. Die Tendenz, dass sich Spieler in den Leistungsligen häufiger verletzen, als Spieler im Amateurbereich wird dennoch bestärkt (Roos et al, 1995; Peterson et al, 2000; Chomiak et al, 2000). Bezogen auf die gegenwärtige Studienpopulation unterstreichen auch Loose et al (2019) diese Tendenz, welche aufzeigt, dass je höher das Spielniveau, desto höher die Verletzungsanfälligkeit.

Fragestellung 5 untersuchte, ob diverse Vorverletzungen einen direkten Einfluss auf den LESS-Score als Prädikator für das Verletzungsrisiko haben. Dieser Folgeeffekt muss, gemessen an den getesteten Leistungsfußballern der bayerischen höchsten Amateurklassen, verneint werden. Unabhängig der Verletzungsart kann keine Aussage über einen direkten Zusammenhang mit verletzungsrisikanten LESS-Werten getroffen. Die LESS-Werte der vorverletzten Spieler unterscheiden sich nicht wesentlich von den unverletzten Spielern. Dabei ist erwähnenswert, dass jedoch die gesamte Population, gemessen an dem Cut-Off-Wert von 5 (Padua et al, 2015) signifikant schlechtere Scorewerte hat (siehe Tab. 25, S.159). Die aus den LESS-Werten der Spieler ermittelten LSI-Werte (LSI 90%) haben ebenso keinen relevanten Zusammenhang zu Folgeverletzungen.

Allerdings können Vorverletzungen prognostizierte Aussagen über ermittelte Folgeverletzungen im Studienzeitraum treffen. Daraus resultiert die Frage, ob vorverletzte Spieler andere Landestrategien entwickeln, als Spieler ohne entsprechende Vorverletzung. Die voneinander unabhängigen Variablen des Sprung- und

Landeverhaltens werden isoliert untersucht. Bei Verletzungen undefinierter Art zeigt wiederum der *Sprungeindruck in der Sagittalebene* (Item 16) statistisch signifikante Werte ($p = .044$). Das Bewegungsmerkmal einer zu stark außenrotierten Fußposition beim Initialkontakt der Landung zeigt ebenfalls statistische Signifikanz bzgl. Folgeverletzungen ($p = .021$). Auch bei Vorverletzungen des Knies und explizit des VKB reproduziert die Analyse statistisch signifikante Zusammenhänge mit den Items 16 und 10 ($p = .035$; $p = .013$). Demnach kann behauptet werden, dass Spieler mit VVVKB andere Landestrategien haben im Vergleich zu Spielern ohne entsprechender Vorverletzung. Eine Analyse von Bell et al (2014) kam zu ähnlichen Ergebnissen, identifizierte jedoch Defizite der Items 1 und 6 als signifikant zusammenhängend mit vorangegangenen VKB-Verletzungen. Den Ergebnissen zufolge scheint demnach nicht von zentraler Bedeutung zu sein, ob der Spieler vorverletzt war, sondern ob diese Vorverletzung unter Umständen Auswirkungen auf die Biomechanik und Bewegungsqualität in risikoreichen, sportartspezifischen Bewegungsmuster hat. Limitierend bei der Analyse dieser Arbeit wirkt auch der Faktor, dass die Art der akuten Vorverletzung nicht explizit berücksichtigt wurde. Demnach zählen da auch Verletzungen der oberen Extremität oder des Kopfes dazu, die keinen primären Einfluss auf die unmittelbare Biomechanik im Sprungverhalten beim DropJump hat.

Bei der Ergebnisinterpretation fällt auf, dass ähnlich zu den Ergebnissen aus der Studie 1 (Abschnitt 8) vermehrt neuromotorische Defizite in der sagittalen Ebene mit Knieverletzungen oder einem entsprechenden Verletzungsrisiko zusammenhängen, was den Rückschluss zulässt, dass allen voran Übungen für die Bewegungsmerkmale um die fronto-transversale Bewegungsachse in präventiven Trainingsprogrammen berücksichtigt werden müssen.

Vorverletzungen sind einer der stärksten Prädiktoren für anfallende Folgeverletzungen. Dies gilt sowohl für Verletzungen im Allgemeinen, sowie für VKB-Verletzungen (Hewett et al, 2006, Faude et al, 2009; Ahldén, Samuelsson, Sernert, Forssblad, Karlsson & Kartus, 2012). Fragestellung 6 fokussiert diese wissenschaftlich mehrfach belegte These. Die aus den Verletzungsfragebögen gewonnenen Daten behandeln akute Vorverletzungen

innerhalb von drei Monaten vor dem Screening-Test, sowie speziell Knieverletzungen, die sich der Proband innerhalb der letzten fünf Jahre vor der Baseline-Testung zugezogen hat. Unabhängig davon, welche Vorverletzung der Proband angegeben hat, zeigen erste Berechnungen einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit Folgeverletzungen im Allgemeinen ($p = .004$). Gleiches gilt in Bezug auf folgende Knieverletzungen ($p = .09$).

80% aller Fußballspieler mit VKB-Rupturen hatten laut Krutsch et al (2013) vor dem Krietauma Akutverletzungen der unteren Extremität (z.B. Sprunggelenkstraumen, oder Muskelverletzungen am Oberschenkel), oftmals sogar nur Bagatellverletzungen, wie Blasen an Fersen oder Zehen. Daran angelehnt konnte aus der Analyse der Amateurspieler ebenfalls ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Akutverletzungen (VV3) und Knieverletzungen nachgewiesen werden ($p = .09$). Dies entspricht auch Forschungsergebnissen von Hewett et al, die 2010 herausfanden, dass akute Vorverletzungen der unteren Extremitäten oftmals zu einer Dysbalance der intra- und intermuskulären Koordination führen und dies die Anfälligkeit von VKB-Verletzungen erhöht, wenngleich der VKB-Bezug in der aktuell behandelten Studienpopulation nicht hergestellt werden konnte.

10 Studie 3

Der Zusammenhang des LESS-Scores mit der Verletzungsinzidenz

Ein zusätzliches zentrales Forschungsinteresse dieser Arbeit beschäftigte sich mit der Fragestellung, ob mittels LESS als risikoreich eingestufte Bewegungsmuster bei Niedersprüngen – hier der DropJump – auch mit einer daraus resultierenden Anfälligkeit für Verletzungen zusammenhängen. Padua et al (2015) fanden in einer LESS-Analyse heraus, dass Spieler, die sich nach der Testung am Kreuzband verletzten, weitaus höhere LESS-Scores bei den Screeningtests aufzeigten, als Spieler, die verletzungsfrei blieben ($6,24 \pm 1,75$ vs. $4,43 \pm 1,71$).

10.1 Studiendesign

Als Grundlage dient der in Abschnitt 8.1 beschriebene DropJump, der via *Landing Error Scoring System* analysiert und ausgewertet wurde. Demnach fließen auch für die aktuelle Fragestellung Sprungwerte von 441 Probanden in die Berechnungen mit ein.

Bzgl. der Verletzungsangaben wurden, gemäß des in Abschnitt 6.6. beschriebenen Vorgehens, unterschiedliche Kategorien abgefragt:

- Hat der Spieler in der Studiensaison überhaupt eine Verletzung erfahren (Art und Dauer der Verletzung irrelevant)?
- Hat sich der Spieler innerhalb des gesamten Beobachtungszeitraums (BZ_{gesamt}) ab der Saison 2015/16 eine Knieverletzung (KV) zugezogen?
- Hat sich der Spieler innerhalb des gesamten Beobachtungszeitraums (BZ_{gesamt}) ab der Saison 2015/16 eine VKB-Verletzung zugezogen?
- Hat sich der Spieler im Beobachtungszeitraum 1 ($BZ1$) in der Studiensaison 2015/16 eine Knieverletzung zugezogen?
- Hat sich der Spieler im Beobachtungszeitraum 1 ($BZ1$) in der Studiensaison 2015/16 explizit eine VKB-Verletzung zugezogen?
- Hat sich der Spieler im Beobachtungszeitraum 2 ($BZ2$) nach der Studiensaison 2015/16 eine Knieverletzung zugezogen
- Hat sich der Spieler im Beobachtungszeitraum 2 ($BZ2$) nach der Studiensaison 2015/16 eine VKB-Verletzung zugezogen

Statistische Analyse

Um sich einen Überblick zu verschaffen, wurden hinsichtlich der für die Studie relevanten Verletzungsbilder, Häufigkeitstabellen erstellt. Zur Zusammenhangsanalyse des LESS-Scores mit Folgeverletzungen wurden die Mittelwerte der 5 Sprungversuche herangezogen und mit Verletzungen in Verbindung gebracht, die sich die Sportler nach dem Screening-Test zuzogen. Wie im Abschnitt 6.5 erklärt, wurden die im Studienjahr 2015/16 erlittenen Verletzungen der Spieler direkt bei den Vereinsverantwortlichen abgefragt. Schwerwiegende Knieverletzungen, die sich Spieler im zweiten

Beobachtungszeitraum nach der Studiensaison 2015/16 zugezogen haben, wurden dem Datenportal *Fupa* entnommen.

Auf Basis der Vorhersagekraft des LESS-Scores für Verletzungen (Padua et al, 2015) wurden die durchschnittlichen LESS-Werte mittels T-Test bzw. Welch-Test mit den unterschiedlichen Verletzungsangaben analysiert und auf statistische Signifikanz geprüft.

Weiter wurde untersucht, ob bestimmte neuromotorische Defizite, gemessen an den einzelnen Sprungitems Folgeverletzungen begünstigen.

10.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik können folgender Tabelle 25 entnommen werden.

Tabelle 25: Verletzungshäufigkeiten nach dem Screeningtest 2015/16

N	Verletzungen insgesamt	KV _{gesamt}	KV BZ1	KV BZ2	VKB BZ _{gesamt}	VKB BZ1	VKB BZ2
441	151	85	36	57	29	9	20

Auffallend bei der Analyse war, dass die schwerwiegenden VKB-Verletzungen im zweiten Beobachtungsabschnitt (BZ2) doppelt so häufig aufgetreten sind, als im ersten Beobachtungsabschnitt (BZ1). Weiter ergibt sich aus der Analyse, dass insgesamt 8 Spieler sowohl im BZ1, als auch im BZ2 eine Knieverletzung erlitten. Bei 34% der knieverletzten Spieler handelte es sich um Verletzungen des Kreuzbandes.

Allgemein zeigt sich die Tendenz, dass Spieler, die sich nach den Screening-Tests eine Verletzung zugezogen haben, schlechtere Baseline-Werte nach dem *Landing Error Scoring System* vorweisen, als Spieler ohne Verletzungsaufkommen (Tab. 26, S.156).

Tabelle 26: LESS-MW Vergleich, abhängig von der Folgeverletzung

Verletzungsart	MW rechts (SD)	MW links
Ohne Verletzung	6,01 (1,90)	5,93 (1,73)
Mit Knieverletzung	6,10 (1,90)	6,05 (1,67)
VKB-Verletzung	6,43 (1,26)	6,37 (1,32)

Eine statistische Signifikanz kann allerdings in allen Fällen ausgeschlossen werden.

Der positive Vorhersagewert (positive predict value = PPV) von Knieverletzungen im Allgemeinen liegt bei der Probandenpopulation dieser Arbeit bei 8,5%, der für Kreuzbandverletzungen sogar bei lediglich 2,7%. Der negative Vorhersagewert (negative predict value = NPV) liegt erwartungsgemäß höher bei 92,5% für Knieverletzungen im Allgemeinen und 99,3% für Kreuzbandverletzungen.

Die exakten Ergebnisse des Mittelwertvergleichs des LESS-Scores mit unterschiedlichen Folgeverletzungen werden folgend in Tabelle 27 (S.156f) dargestellt.

Tabelle 27: LESS-Scores in Verbindung mit Folgeverletzungen

	Verletzung post-screen? (Art egal)	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
durchschnittlicher Score rechtes Bein	nein	290	6,01	1,90	$t(439) = -.550, p = .582$
	ja	151	6,11	1,83	
durchschnittlicher Score linkes Bein	nein	290	5,93	1,73	$t(439) = -.812, p = .417$ n.s.
	ja	151	6,07	1,68	

	Knieverletzung insgesamt	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
durchschnittlicher Score rechtes Bein	nein	356	6,04	1,901	$t(439) = -.194, p = .846$ n.s.
	ja	85	6,08	1,77	
durchschnittlicher Score linkes Bein	nein	356	5,96	1,73	$t(439) = -.413, p = .680$ n.s.
	ja	85	6,05	1,68	

		Knieverletzung in der Studiensaison 2015/16 (BZ1)	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
durchschnittlicher Score rechtes Bein	nein	405	6,0375	1,89		$t(439) = -.260, p = .795$ n.s.
	ja	36	6,1222	1,66		
durchschnittlicher Score linkes Bein	nein	405	5,9802	1,73		$t(439) = .194, p = .846$ n.s.
	ja	36	5,9222	1,55		

		Knieverletzung im BZ2	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
durchschnittlicher Score rechtes Bein	nein	384	6,04	1,89		$t(439) = -.111, p = .912$ n.s.
	ja	57	6,07	1,79		
durchschnittlicher Score linkes Bein	nein	384	5,96	1,72		$t(439) = -.600, p = .550$ n.s.
	ja	57	6,10	1,70		

		VKB-Verletzungen insgesamt	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
durchschnittlicher Score rechtes Bein	nein	412	6,02	1,91		$t(37.763) = 1.630, p = .111$ n.s.
	ja	29	6,43	1,26		
durchschnittlicher Score linkes Bein	nein	412	5,95	1,74		$t(35.281) = 1.641, p = .110$ n.s.
	ja	29	6,37	1,32		

		VKB-Verletzung im BZ 1	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
durchschnittlicher Score rechtes Bein	nein	432	6,03	1,89		$t(439) = 1.042, p = .298$ n.s.
	ja	9	6,69	1,19		
durchschnittlicher Score linkes Bein	nein	432	5,97	1,72		$t(439) = .514, p = .608$ n.s.
	ja	9	6,27	1,52		

		VKB-Verletzung im BZ 2	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
durchschnittlicher Score rechtes Bein	nein	421	6,0	1,890		$t(23.040) = .913, p = .371$ n.s.
	ja	20	6,31	1,30		
durchschnittlicher Score linkes Bein	nein	421	5,95	1,73		$t(22.597) = 1.589, p = .126$ n.s.
	ja	20	6,42	1,25		

Ebenfalls keinen Zusammenhang ergibt eine Analyse der kategorisierten Sprungbewertung (exzellent, gut, moderat, schlecht) mit jeglichen Verletzungen. Der positive Vorhersagewert ist demnach schwach.

Analysiert man wiederum die einzelnen Bewegungsmerkmale der Sprungdarbietungen aller Probanden und bringt Sie mit unterschiedlich auftretenden Folgeverletzungen in Zusammenhang, können statistische Ergebnisse, wenngleich auch ohne erkennbares Muster, festgehalten werden.

Die Erfassung von Knieverletzungen ($N = 434$) in beiden Beobachtungszeiträumen (BZ1 & BZ2) weist einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit dem Knieflexionswinkel beim Initialkontakt (Item 1) auf ($F[1,302] = 8,120, p = .005$). Spieler, die sich in der unmittelbaren Studiensaison 2015/16 verletzt haben, zeigen bei insgesamt 3 Items auffällige Ergebnisse:

- Item 1: $F(1,302) = 3,894, p = .049$
- Item 11: $F(1,302) = 4,761, p = .030$
- Item 15: $F(1,302) = 7,580, p = .006$

Werden die Verletzungsdaten beider Beobachtungszeiträume eingerechnet, weisen Folgeverletzungen des vorderen Kreuzbandes mit Item 10 (außenrotierte Fußstellung) einen signifikanten Zusammenhang auf ($F[1,302] = 4,793, p = .029$). Kreuzbandverletzungen im ersten Beobachtungszeitraum stehen mit einem insgesamt schlechten Sprungeindruck (Item 17) in Zusammenhang ($F[1,302] = 6,129, p = .014$).

Bei Spielern die (entsprechend Studie 1) als Risikoathleten eingestuft werden können, kann wiederum dem Initialkontakt (Item 1) statistische Signifikanz in Verbindung mit Knieverletzungen (BZ1 & BZ2) nachgewiesen werden ($F[1,303] = 8,602, p = .004$). VKB-Verletzungen entgegen weisen relevante Ergebnisse bzgl. einer Außenrotierten Fußstellung vor ($F[1,303] = 4,189, p = .042$).

Angelehnt an den vorab dargebotenen Daten, zeigen selbst Athleten, die insgesamt als weniger verletzungsgefährdet eingestuft werden statistische Signifikanzergebnisse,

gemessen an den Gesamteindruck des Sprunges in der Sagittalebene (Item 16) in Verbindung mit Verletzungen des vorderen Kreuzbandes ($F [1,63] 5,338; p = .024$).

10.3 Diskussion

Die Fragestellung 6 befasste sich mit der Vorhersage-Stärke des *Landing Error Scoring System* (LESS) bzgl. Verletzungsinzidenz. Das *Landing Error Scoring System* ist ein einfaches, objektives Verletzungs-Screening-Tool zur Identifizierung von VKB-Risikoathleten und soll demnach valide Aussagen über die Risikoeinschätzung von Bewegungsmerkmalen im DropJump und der Anfälligkeit für Verletzungen machen (Padua et al, 2004; Boling, Thigpen, Padua & Marshall, 2005).

Padua et al (2015) brachte schlechte LESS-Werte (< 5 Scorepunkte) mit einer erhöhten Verletzungsgefahr in Verbindung. In seiner Untersuchung hatten jugendliche Fußballspieler, die sich eine VKB-Verletzung zugezogen haben, signifikant höhere LESS-Werte als unverletzte Spieler (6,24[1,75] vs. 4,43[1,71], $p = .005$). Die Ergebnisse aus der Studienpopulation der bayerischen Leistungsamateurfußballer konnten diesen Zusammenhang nicht bestätigen. Spieler, die nach der LESS-Screening-Datenerhebung einen Kreuzbandriss erlitten, hatten zwar durchaus schlechtere LESS-Werte, allerdings ohne statistisch relevanten Unterschied im Vergleich zu Spielern ohne Verletzung oder mit anderen Verletzungsmustern. Dieses Ergebnis geht mit einer Untersuchung von Smith et al (2012) analog, die dem LESS ebenfalls keine Vorhersage von auftretenden Kreuzbandverletzungen nachweisen konnten. Die LESS-Werte der getesteten Spieler waren im Schnitt um 0,2 Bewertungspunkte schlechter als die der Studie von Padua et al (2015), aber auch die Spieler ohne folgende VKB-Verletzung erreichten im Allgemeinen Sprungwerte von mehr als 6 Score-Punkte. Damit zeigt diese Studie, dass der positive Vorhersagewert für Knie- und speziell Kreuzbandverletzungen sehr schwach ist. Der PPV eines VKB-Screening-Test ist jedoch immer niedrig zu vermuten, da die Rate der VKB-Verletzungen selbst in Berichten mit Hochrisikopopulationen sehr niedrig ist. Im Gegensatz ist der mathematisch berechnete NVP für einen VKB-Screening-Test immer sehr vorteilhaft (Padua et al, 2015).

Ein weiterer Erklärungsansatz hierfür könnte in den on-field-Bedingungen begründet liegen. Im Gegensatz zu den publizierten DropJumps der Fachliteratur, die alle unter Laborbedingungen stattgefunden haben, führten die Fußballspieler der hiesigen Stichprobe unter möglichst reellen, fußballspezifischen Bedingungen die Tests auf dem Rasenplatz mit Fußballschuhen durch.

Allerdings konnte man bestimmten Items einen Zusammenhang mit der Verletzungsinzidenz nachweisen. Der Knieflexionswinkel beim Initialkontakt ($p = .005$ bzw. $.049$), ein Asymmetrischer Initialkontakt ($p = .030$) und der dynamische Knievalgus ($p = .006$) beeinflussten signifikant die Entstehung von Knieverletzungen im Allgemeinen. Eine spezielle Auswirkung auf Kreuzbandverletzungen hatte hingegen eine zu stark außenrotierte Fußposition beim initialen Kontakt ($p = .029$) und ein insgesamt schlecht bewerteter Sprung ($p = .014$).

Defizitäre Flexionspositionen bestimmen eine nachweisbar erhöhte Verletzungsgefahr sowohl bei Spielern, die als verletzungsgefährdet eingestuft werden (Sprungkategorie 3 = moderat und 4 = schlecht) mit einer Signifikanz von $p = .004$, als auch bei Spielern, die laut Kategorisierung (Sprungkategorie 1 = exzellent und 2 = gut) keiner erhöhten Verletzungsgefahr ausgesetzt sind ($p = .024$). Insgesamt ist auffallend, dass qualitative Bewegungsmerkmale der Sagittalebene nachweislich immer wieder mit einem erhöhten Verletzungsrisiko, einer tatsächlichen Verletzungsanfälligkeit oder auch mit einer schwächeren Sprungperformance nach VKB-Rekonstruktion in Verbindung gebracht werden (Padua et al, 2015; Bell et al, 2014; Benjaminse et al, 2017). Die Begründung von präventiven Athletikübungen im Allgemeinen und Übungen, die im Speziellen die Bewegungskinematik in der Sagittalebene verbessern soll, wird dadurch verstärkt. Ziel muss es hier sein, die Neuromotorik so zu verbessern, sodass das Verletzungsrisiko gesenkt und dadurch (Rezidiv-)Verletzungen vermieden werden können.

11 Studie 4

Einfluss des Interventionsprogramms auf den LESS-Score als Verletzungsindikator sowie auf die Verletzungsinzidenz

Ein zentrales Forschungsinteresse dieser Arbeit untersucht den Einfluss der regelmäßigen Durchführung des, für die Studie konzipierten, Präventionsprogramms innerhalb des Trainings-Alltags auf den LESS-Score als Verletzungsindikator, und analysiert die Fragestellung ob eine regelmäßige Trainingsintervention die Entstehung von Verletzungen beeinflusst. Der LESS-Score ist, wie in Kapitel 8.1 schon ausführlich beschrieben, als Klassifizierungs-Assessment zur Einschätzung des Verletzungsrisikos schwerwiegender Knieverletzungen validiert (Padua et al, 2009). In der Sportwissenschaft gibt es zahlreiche Studien, die sich mit dem Einfluss von speziellen Trainingsprogrammen auf die Verletzungsinzidenz auseinandersetzen (Hewett et al, 1999; Waldén et al, 2005; Pfeiffer et al, 2006; Kiani et al, 2010; Soligard, 2010). Dabei kombinieren die Programme Krafttraining, plyometrisches Training, Balance-Training sowie Techniks Schulungen zu sportartspezifischen Bewegungsabläufen (Michaelidis & Koumantakis, 2014). Es wurde mehrfach aufgezeigt, dass neuromuskuläres Training (NMT) einen positiven Einfluss auf neuromotorische und biomechanische Defizite, als Risikofaktor für VKB-Verletzungen, hat. Das NMT verbessert demnach sportspezifische Bewegungsabläufe bei risikoreichen Spielsituationen wie Richtungswechsel oder Landungen nach einem Sprung (Myer, Ford, Brent & Hewett, 2007; Herman, Weinhold, Guskiewicz, Garrett, Yu & Padua, 2008). Padua und DiStefano (2009) resümierten dabei einen speziell positiven Einfluss auf die Biomechanik des Kniegelenks in sagittaler Ebene. „*[...] knee flexion angle, external knee flexion moment and VGRF (Vertical ground reaction force) can be successfully modified by an ACL injury prevention program*“ (S.165). Ziel der nachfolgenden Studie ist es also, den speziellen Einfluss des konzipierten Trainingsprogramms (siehe Kapitel 6.6) auf die Bewegungsqualität in typisch risikoreichen sportartspezifischen Belastungssituationen anhand des LESS zu untersuchen. Weiter soll die Frage geklärt werden, ob die Reduzierung von Knieverletzungen durch eine gezielte Trainingsintervention einen statistisch relevanten Zusammenhang aufweist.

11.1 Studiendesign

Stichprobe

Für die Berechnungen des Interventionseinflusses wurde von zwei unterschiedlichen Probandenzahlen ausgegangen.

Zum einen wird bei der Prüfung des Zusammenhangs der Verletzungsinzidenz mit der Teilnahme an der Intervention im Vergleich zur Kontrollgruppe untersucht. Da hierfür keine Rücksicht auf die Anwesenheit der Spieler bei beiden Messzeitpunkten der sportmotorischen Testbatterie genommen werden musste, wurde die Gesamtprobandenzahl von $N = 441$ zu den Berechnungen herangezogen.

Anders bei den Analysen, die sich mit der Entwicklung des *Landing Error Scoring System* durch die Trainingsintervention auseinandersetzen. Die Stichprobe der hier untersuchten, nichtrandomisiert kontrollierten Studie, umfasst insgesamt 182 Spieler, die sowohl an der Pre-Season-Testung als auch an der Post-season-Testung teilgenommen haben. Der Drop-Out von 259 Spielern im Gegensatz zu der Pre-Testung ($N = 441$) ergibt sich aus Vereinswechsel zur Winterpause, Verletzungen, oder nicht auswertbares Videomaterial. Von den 182 Probanden gehören 100 Spieler der Interventionsgruppe und 82 Spieler der Kontrollgruppe an. Die Gruppenzuordnung erfolgte nicht nach dem Zufallsprinzip, da der Arbeitskreis auf die Entscheidung der jeweiligen Vereinsverantwortlichen angewiesen war, ob diese das Trainingsprogramm in ihren Trainingsbetrieb integrieren wollen, oder nicht. Voraussetzung zur Teilnahme an der IG war die Implementierung des Trainings in mindestens 2-3 Trainingseinheiten/Woche über den gesamten Saisonverlauf 2015/16.

Datenerhebung

Die Datenerhebung der Testbatterie beider Messzeitpunkte erfolgte, wie in Kapitel 7.5 bereits beschrieben, via Feldtests zu zwei unterschiedlichen Messzeitpunkten. Die dabei gewonnenen Videodaten wurden anhand des *Landing Error Scoring System* (Kapitel 8.1) ausgewertet, ebenso die Zugehörigkeit zur Interventions- oder Kontrollgruppe. Die Compliance der Interventionsgruppe wurde zu Saisonbeginn, in der Winterpause und am

Ende der Saison mittels telefonischer Rücksprache bei den jeweiligen Trainern der teilnehmenden Mannschaften abgefragt. Abhängig davon hatten die Trainer jederzeit die Möglichkeit bei Unklarheiten und Rückfragen die sportwissenschaftliche Studienleitung zu kontaktieren. Abschnitt 6.6. beschreibt dahingehend den Verletzungsreport.

Design und statistische Analyse

Zur Effekt-Analyse des für diese Studie konzipierten Trainingsprogramms auf die Bewegungsqualität des DropJump, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung, bei Bedarf mit Greenhouse-Geisser-Korrektur, durchgeführt (Leonhart, 2013). Dabei wurden die Gruppenzugehörigkeit (*Interventions- vs. Kontrollgruppe*) sowie die zwei unterschiedlichen Testzeitpunkte in der Berechnung berücksichtigt. Zur exakten Ermittlung von Effektrichtung und Effektstärke wurde ein T-Test gerechnet. Die Untersuchung analysiert in einem ersten Arbeitsschritt jeweils für das rechte und das linke Bein isoliert den Interventionseinfluss auf den Gesamtdurchschnitt des LESS-Scores. Weiter zieht die Analyse die Einstufung *verletzungsgefährdet vs. nicht verletzungsgefährdet* in Betracht. Basierend auf den Ergebnissen aus Studie 1 (Abschnitt 8) wurde zusätzlich der Effekt der Trainingsintervention auf die LESS-Auswertung in sagittaler und frontaler Ebene isoliert betrachtet.

Darauf aufbauend war von großem Interesse, inwieweit sich die Trainingsintervention auf einzelne Items, die im Zusammenhang mit biomechanischen, neuromotorischen Defiziten stehen, auswirkt. Auch hier wurde, wie oben beschrieben, eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung angewandt.

Der Zusammenhang von individueller Trainerintervention und Bewegungsfehlern beim DropJump wird mit einer ANOVA analysiert. Hier steht im Zentrum der Fragestellung der unterschiedliche Einfluss der Trainingsqualität, vermittelt durch das jeweilige Trainerteam, auf die Bewegungsqualität und das Verletzungsrisiko der dem Trainerteam zugehörigen Spieler. Für diese Analyse wurden die Scorepunkte der gesamten Mannschaft jeweils gemittelt und einem Pre-Posttest-Vergleich unterzogen.

Als nächster Schwerpunkt war von Interesse, welche Spielertypen mehr von den Interventionsmaßnahmen profitieren. Anlehnend an Studienergebnisse von DiStefano et al (2009) scheinen vor allem am LESS gemessene leistungsschwache und mehr verletzungsgefährdete Spieler von präventiven Trainingsmaßnahmen zu profitieren und ihre neuromotorische Bewegungsqualität stärker zu verbessern. Um diese Theorie in hiesiger Studienpopulation zu untersuchen, wurde unter Berücksichtigung der Kategorienzugehörigkeit (exzellent, gut, moderat, schlecht) nach Padua et al (2009) für N = 100 (Teilnehmer an der Intervention) eine Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet. Es soll untersucht werden, ob eingangs leistungsschwächere Spieler einen größeren Nutzen aus der Trainingsintervention ziehen.

Zuletzt wurden bezüglich der Verletzungsinzidenz die Verletzungsdaten unterschiedlicher Zeitfenster (BZ1, BZ2, BZ_{gesamt}) als Analysegrundlage herangezogen. In einem ersten Analysedurchgang wurde der unmittelbare Zusammenhang von Trainingsintervention und dem Verletzungsaufreten in der primären Studiensaison 2015/16 verglichen. Als nächste wichtige Prüfung wurde derselbe Zusammenhang in Bezug auf die Folgesaison 2016/17 untersucht. Grund hierfür ist die Annahme einer gewissen Dauer des Trainingseinflusses, um von entsprechenden Wirkmechanismen in Bezug auf Neuromotorik und Verletzungsprävention auszugehen (DiStefano, Blackburn, Marshall, Guskiewicz, Garrett & Padua, 2011; Padua et al, 2012). Abschließend wurden die Daten beider Beobachtungszeiträume zusammengetragen und analysiert. Deskriptive Statistiken sowie die Verwendung der einfaktorielle Varianzanalyse wurden zur Ergebnisanalyse herangezogen.

11.2 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse entsprechend der Forschungsfragen 8-11 zusammengetragen.

Entsprechend der Fragestellung 8, sollen in einem Gruppenvergleich die LESS-Werte in einem Pre-Post-Test-Vergleich untersucht werden, um Aussagen über den

Interventionseffekt treffen zu können. Es werden zuerst die Ergebnisse für das rechte Bein, im Anschluss die Ergebnisse für das linke Bein aufgeführt.

Infolge der Screening-Tests (Pre-Season-Testung) ergaben sich LESS-Mittelwerte für das rechte Bein in der Interventionsgruppe von 6,15 ($SD = 1.87$) und in der Kontrollgruppe von 5,80 ($SD = 2.00$). Für das linke Bein ergaben sich LESS-Mittelwerte von 6,03 ($SD = 1.65$) für die IG und 5,68 ($SD = 1.78$) für die KG. Der LESS-Baseline kann entnommen werden, dass Spieler, die in der Studiensaison nicht am Interventionsprogramm teilgenommen haben, bessere LESS-Ausgangswerte hatten, als Spieler der späteren IG. Gemessen am Testwert 5 (Padua et al, 2009; Moser & Bloch, 2015; Padua et al, 2015) liegen die Spieler der IG für beide Testbeine statistisch signifikant im Bereich einer erhöhten Verletzungsgefahr (rechts: $t[99] = 6.123$, $p < .001$; links: $t[99] = 6.256$, $p < .001$). Ein analoges Ergebnis weisen die Spieler der KG auf (rechts: $t[81] = 3.646$, $p < .001$; links: $t[81] = 3.480$, $p = .001$).

Bei der Post-Season-Testung dreht sich dieses Ergebnis um. Nach dem Interventionszeitraum hatte die IG für beide Testbeine im Mittel deutlich bessere Scorewerte als die Kontrollgruppe. Hier stehen sich LESS-Werte für das rechte Bein von durchschnittlich 5,35 ($SD = 2.11$) LESS-Punkten der Interventionsgruppe zu 6,33 ($SD = 1.86$) LESS-Punkten der Kontrollgruppe gegenüber (Abb. 63).

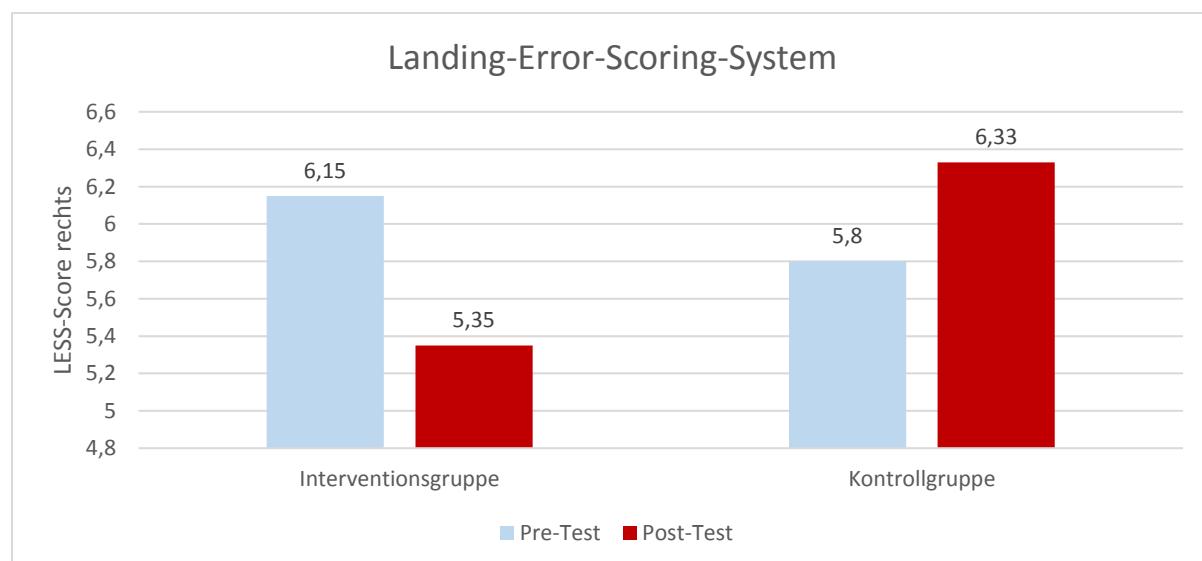


Abbildung 63: Graphische Darstellung zur Entwicklung der LESS-Werte des rechten Beines bei der Interventions- und Kontrollgruppe

Im Pre-Test zwischen IG und KG ergeben sich bessere Baseline-Werte zugunsten der KG, deren LESS-Wert um durchschnittlich 0.34 Fehlerpunkte geringer war (97,5% - CI [-0.31, 0.10], $p = .235$)

Bei gegebener Sphärizität kann bei einer MixedANOVA dem Interaktionseffekt Gruppe*Zeitre ein hochsignifikanter Unterschied im Einfluss auf die Entwicklung des LESS-Scores_{re} zwischen IG und KG nachgewiesen werden ($F[1.00, 180.00] = 14.624$ $p < .001$, partielle $\eta^2 = .08$). Es gab einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den LESS-Werten der IG und der KG im Post-Test, wobei bei vorausgesetzter Varianzhomogenität (Levene-Test $> .05$) nach alpha-Fehlerkorrektur der LESS-Wert bei der IG um durchschnittlich 0.99 Punkte geringer, also besser war, als bei der KG (97,5% - CI [-1.66, -0.31]; $t[180] = -3.297$, $p = .001$). Folgendes Liniendiagramm (Abb. 64) soll die Entwicklung der LESS-Werte im Pre-Post-Vergleich veranschaulichen.

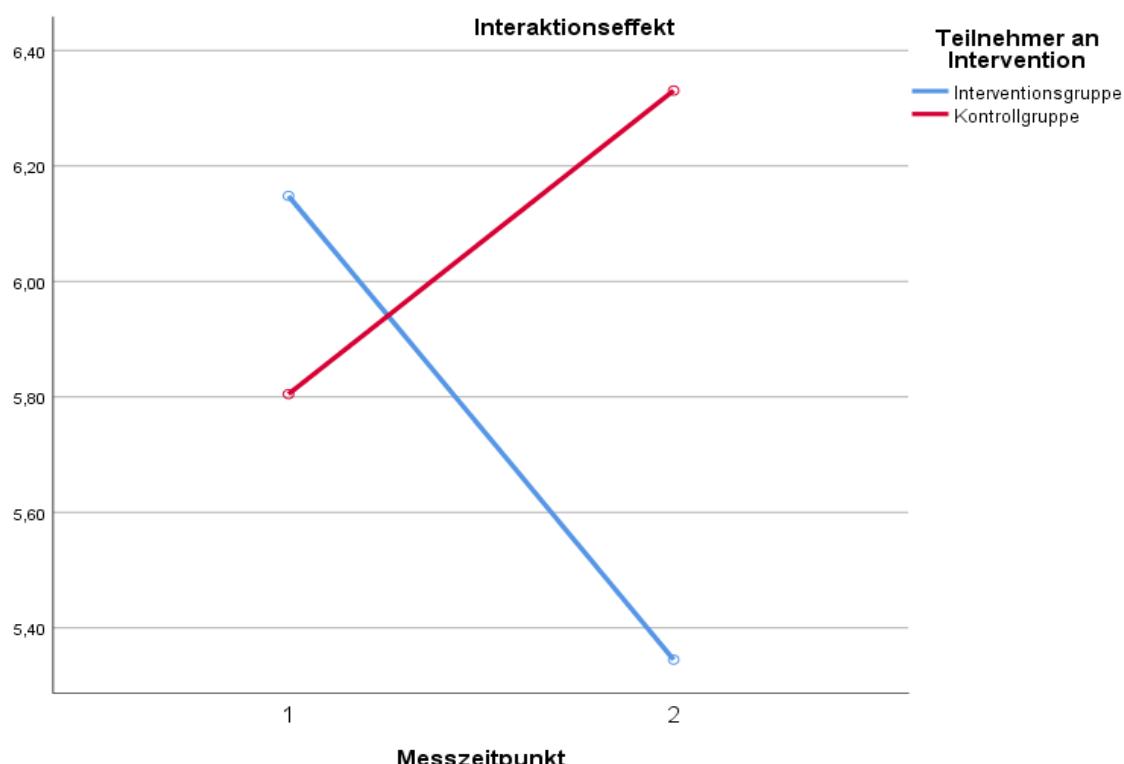


Abbildung 64: Liniendiagramm zum Interaktionseffekt rechts zwischen IG und KG im Pre-Post-Vergleich (SPSS-Output)

Der Haupteffekt Zeit ($F[1,180] = ,637; p = ,426$ n.s.; 95% - CI [-0.20, 0.48]), sowie der Effekt der Gruppenzugehörigkeit ($F[1,180] = 1.845; p = .176$ n.s.) dagegen ist nicht signifikant.

Die Verbesserung der LESS-Scorewerte wirkt sich zugleich auf die Einstufung als verletzungsgefährdeter/nicht verletzungsgefährdeter Spieler aus. Auch hier lassen sich aus dem Interaktionseffekt Gruppe*Zeit_{re} hochsignifikante Ergebnisse ableiten ($F[1.00,180.000] = 9,296; p = ,003$). Der Haupteffekt Zeit dagegen ist auch hier nicht signifikant ($F[1,180] = ,004; p = \text{n.s.}$).

Für das linke Bein wurden die gleichen Berechnungen durchgeführt. So haben bei der Pre-Screening Testung Spieler der Interventionsgruppe 6,03 Scorepunkte ($SD = 1,65$) als Basiswerte, Spieler der Kontrollgruppe erreichten dagegen 5,68 Scorepunkte ($SD = 1,68$). Nach dem Interventionszeitraum zeigte sich der gleiche Effekt wie für das rechte Bein. Spieler der Interventionsgruppe verbesserten sich auf 5,23 Scorepunkte ($SD = 1,95$), während die Probanden der Kontrollgruppe 6,01 Scorepunkte ($SD = 1,83$) erreichten. Zur Veranschaulichung der Gegenüberstellung der Pre- und Posttest-Ergebnisse dient Abbildung 65.

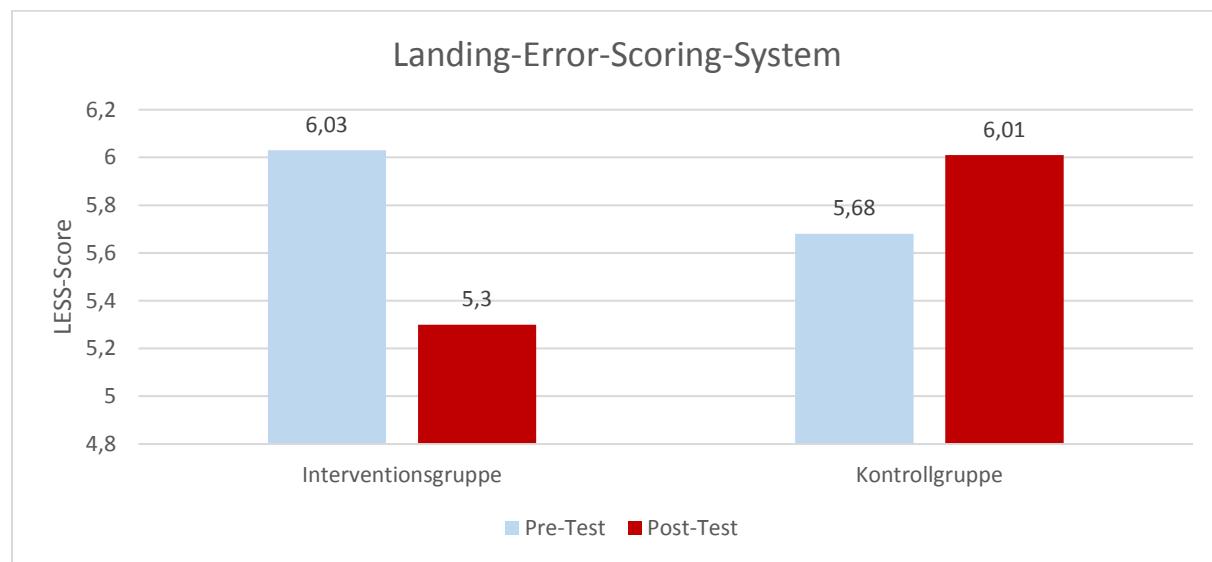


Abbildung 65: Graphische Darstellung zur Entwicklung der LESS-Werte des linken Beines bei der Interventions- und Kontrollgruppe

Der reine Zeiteffekt, der zwischen den zwei Testungen lag, ergab auch hier keine statistische Signifikanz ($F[1,180] = 1.662$; $p = \text{n.s.}$; 95% - CI [-0.11, 0.51]). Im Pre-Test ($\text{Levenne} > .05$; angewandte alpha-Fehlerkorrektur) war bei der KG der LESS-Test im Mittel um 0.35 Punkte niedriger, also besser, als die IG (97,5% - CI[0.23, 0.92]), allerdings ohne statistische Signifikanz ($t[180] = 1.365$, $p = 0.174$). Jedoch lässt sich nach dem Interventionszeitraum, mit Greenhouse-Geisser-Korrektur, auch beim linken Bein ein hoch signifikanter Interaktionseffekt Gruppe*Zeit ableiten. Es ergibt sich eine signifikante Verbesserung der LESS-Werte ($F[1.000,180.000] = 11.630$; $p = .001$) nach Durchführung der Intervention. Der Unterschied zwischen der IG und der KG bei der Post-Test Punkteverteilung des LESS-Wertes war statistisch signifikant. Auf Basis einer Varianzhomogenität (Levenne-Test $> .05$) und angewandter alpha Fehlerkorrektur ist hier der LESS-Wert der IG um 0.72 Bewertungspunkte niedriger, also besser, als der LESS-Wert der KG (97.5% - CI [-1.36, -0.08], $t[180] = -2.548$, $p = .012$). Nachfolgendes Liniendiagramm veranschaulicht den Interaktionseffekt der Wirkung der Trainingsintervention auf die LESS-Werte beim linken Bein (Abb. 66).

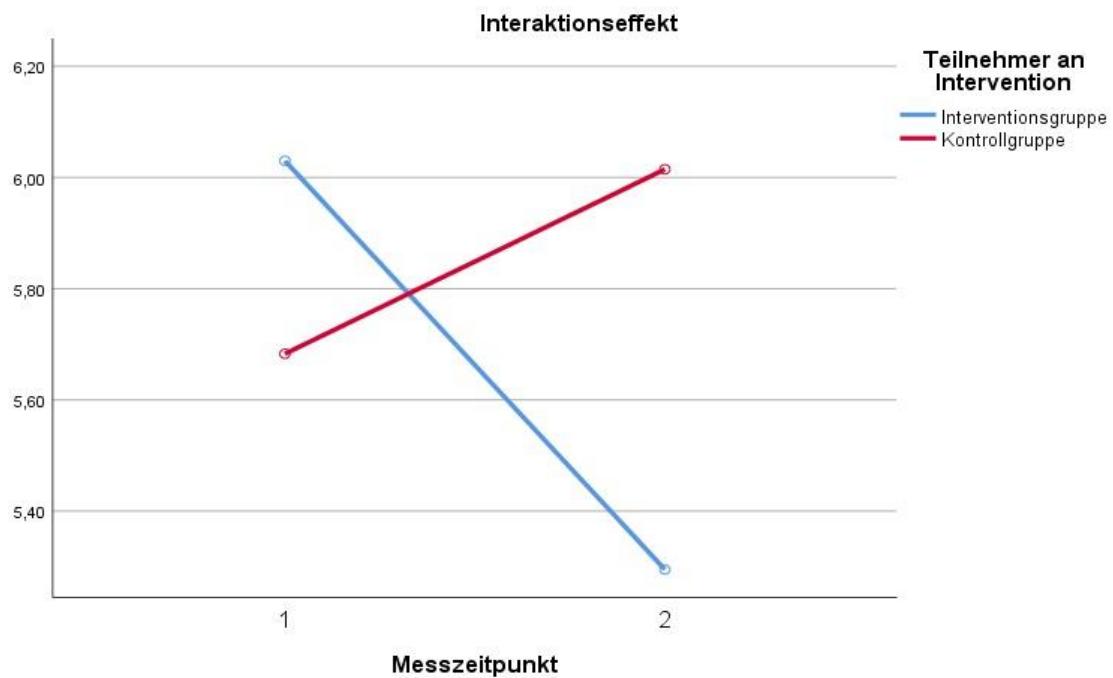


Abbildung 66: Liniendiagramm zum Interaktionseffekt rechts zwischen IG und KG im Pre-Post-Vergleich (SPSS-Output)

Analog zum rechten Bein lassen sich auch beim linken Bein hochsignifikante Interaktionseffekte bzgl. Einstufung als verletzungsgefährdeter/nicht verletzungsgefährdeter Spieler nach dem Interventionszeitraum darlegen. Die Analyse ergab einen Innersubjekteffekt Gruppe*Intervention ($F(1.000,180.000) = 9.591; p = .002$), während der Haupteffekt Zeit nicht signifikant war ($F(1,180) = .030; p = \text{n.s.}$).

Der Trainingseffekt der Intervention wurde zusätzlich für die sagittale (sE) und für die frontale Ebene (fE) isoliert betrachtet. Nachfolgende Tabelle 28 soll einen Überblick über die gemittelten Score-Werte für beide Ebenen und beide Testbeine geben.

Tabelle 28: Pre-, Posttest-Vergleich bei $N = 182$, bezogen auf die Items der sagittalen und der frontalen Ebene für beide Beine

Testanalyse	Mittelwert (SD)	
	Pretest	Posttest
Pre- vs. Posttest sE rechtes Bein	2,56 (1,51)	2,61 (1,56)
Pre- vs. Posttest sE linkes Bein	3,10 (1,80)	2,69 (1,53)
Pre- vs. Posttest fE rechtes Bein	2,45 (0,93)	2,26 (1,13)
Pre- vs. Posttest fE linkes Bein	2,24 (0,79)	2,02 (0,91)

Ausgehend von allen 182 Probanden, die die Kriterien für einen Pre-Post-Vergleich erfüllten, haben sich, mit der Ausnahme des Vergleichs für die Sprungbewertung der sagittalen Ebene des rechten Beines, die anderen drei Vergleiche zugunsten der Posttestung verbessert.

Bei der Interventionsgruppe ($N = 100$) gab es für alle vier Vergleiche (Tab. 29, S.170) verbesserte Ergebnisse in den Post-Testungen, was auf einen positiven Effekt der Trainingsprogramms hinweist.

Tabelle 29: Interventionseffekt auf die Items der sagittalen und frontalen Ebene beider Beine bei der IG

Testanalyse	Mittelwert (SD)	
	Pretest	Posttest
Pre- vs. Posttest sE rechtes Bein	2,58 (1,52)	2,48 (1,65)
Pre- vs. Posttest sE linkes Bein	3,13 (1,77)	2,51 (1,58)
Pre- vs. Posttest fE rechtes Bein	2,57 (0,91)	2,00 (1,02)
Pre- vs. Posttest fE linkes Bein	2,36 (0,78)	1,91 (0,92)

Die Entwicklung der Kontrollgruppe (N = 82) hingegen zeigt sich ambivalent (Tab. 30).

Tabelle 30: Pre-, Posttest-Vergleich der Items der sagittalen und frontalen Ebene beider Beine bei der KG

Testanalyse	Mittelwert (SD)	
	Pretest	Posttest
Pre- vs. Posttest sE rechtes Bein	2,53 (1,51)	2,78 (1,43)
Pre- vs. Posttest sE linkes Bein	3,06 (1,85)	2,90 (1,46)
Pre- vs. Posttest fE rechtes Bein	2,30 (0,93)	2,57 (1,18)
Pre- vs. Posttest fE linkes Bein	2,10 (0,78)	2,15 (0,89)

Die Prüfung auf statistische Signifikanz ergab mittels rmANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur keinen Zeiteffekt in Bezug auf die Frontalebene des rechten Beines ($F[1, 180] = 2,603, p = .108$). Der Interaktionseffekt Gruppe*Zeit hingegen war statistisch signifikant ($F[1, 180] = 20,195, p < .001$). Im Pre-Vergleich ist bereits ein statistisch signifikanter Unterschied gegeben ($t[180] = 2,011, p = .046$), wobei hier noch die KG im Mittel 0.28 LESS-Bewertungspunkte weniger aufzeigt (97,5% - CI [-0.03, 0.59]). Ein signifikanter Effekt zeigt sich dann auch in der Post-Testung (Levenne $> .05$, angewandte alpha-Fehlerkorrektur), jetzt aber zugunsten der IG mit im Mittel 0.59 weniger LESS-Bewertungspunkten (97,5% - CI [-0.94, -0.20], $t[180] = -3.483, p = .001$).

Beim linken Testbein ergab sich sowohl für den Haupteffekt Zeit ($F[1, 1000] = 6,031, p = .015$), als auch für den Interaktionseffekt Gruppe*Zeit ($F[1, 1000] = 10.178, p = .002$) ein statistisch signifikanter Zusammenhang. Im Vergleich der Mittelwerte zeigte sich innerhalb des Interaktionseffekts bei der Pre-Testung ein statistisch signifikanter

Unterschied zugunsten der KG mit 0.29 LESS-Punkten weniger (97,5% - CI [0.01, 0.23], $t[180] = 2.317$, $p = .022$). Mit dem Post-Test Vergleich ändern sich die Vorzeichen und der IG hat im Mittel 0.24 weniger, sprich eine bessere, LESS-Punktebewertung, wenngleich auch ohne signifikanten Unterschied (97,5% - CI [-0.55, 0.07], $t[180] = -1.1773$, $p = .078$). Ein Liniendiagramm (Abb. 67) verdeutlicht für beide Beine isoliert die Entwicklung in der Frontalebene innerhalb der Interaktion Gruppe*Zeit anschaulich.

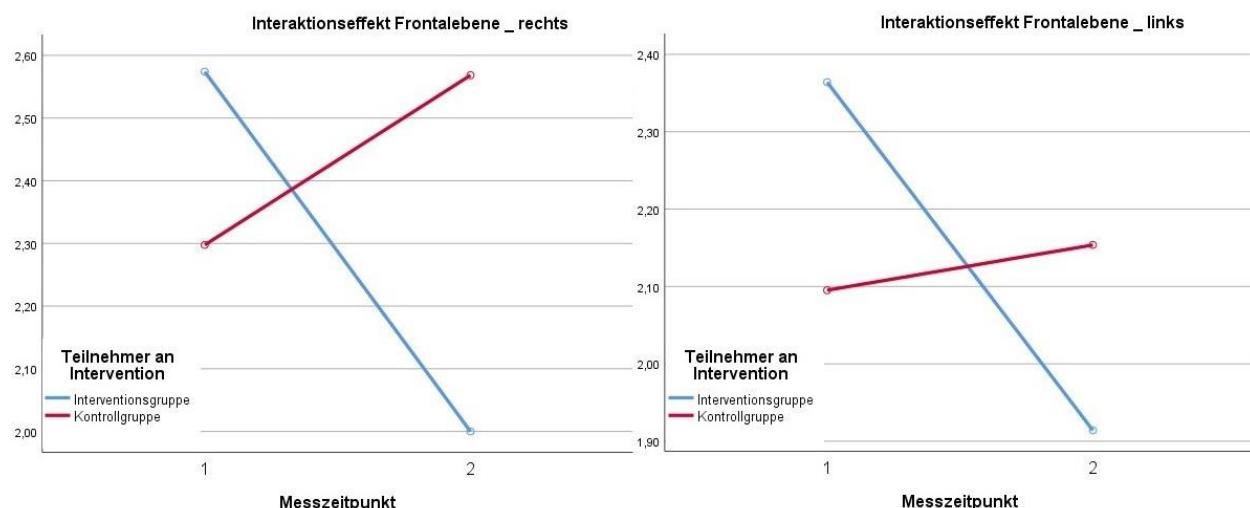


Abbildung 67: Liniendiagramm zum Interaktionseffekt in der Frontalebene zwischen IG und KG im Pre-Post-Vergleich (SPSS-Output)

Keinen signifikanten Zusammenhang konnte die Intervention in Bezug auf die LESS-Werte der Sagittalebene nachweisen.

In wie weit sich die Entwicklung der Bewegungsqualität beim DropJump zwischen den Teams nach der durchgeführten Intervention unterscheidet, wird in einem nächsten Schritt (Fragestellung 9) mittels einer ANOVA-Berechnung ermittelt. Die Entwicklung des durchschnittlichen Mannschafts-Score wird auf Seite 175 in Tabelle 31 (S.172) gegenübergestellt.

Dem Vergleich kann entnommen werden, dass sich von den 13 Mannschaften, bei denen Eingangs- und Ausgangstestwerte des *Landing Error Scoring System* vorliegen, zehn

Mannschaften in beiden Testbeinen verbesserten, während sich drei Teams sowohl für das linke als auch für das rechte Testbein in den Sprung-Scores verschlechterten.

Tabelle 31: LESS-Mittelwertvergleich Pre- & Posttest im Teamdurschnitt (Differenz in Klammer)

Team	$\bar{\Omega}$ Pre-Test _{rechts}	$\bar{\Omega}$ Post-Test _{rechts}	$\bar{\Omega}$ Pre-Test _{links}	$\bar{\Omega}$ Post-Test _{links}
A	5,97	3,78 (-2,19)	5,72	3,68 (-2,04)
B	5,84	5,65 (-0,19)	5,83	5,36 (-0,47)
C	4,95	4,10 (-0,85)	5,15	4,60 (-0,55)
D	7,40	5,00 (-2,4)	7,40	5,00 (-2,4)
E	6,65	6,40 (-0,25)	6,60	6,50 (-0,1)
F	4,48	6,05 (+1,57)	4,48	5,16 (+0,68)
G	6,80	4,00 (-2,8)	7,20	3,60 (-3,6)
H	7,17	4,66 (-2,51)	6,83	4,77 (-2,06)
I	6,33	8,07 (+1,74)	5,87	7,27 (+1,4)
J	5,67	6,02 (+ 0,35)	5,69	6,27 (+0,58)
K	6,67	6,20 (-0,47)	6,43	6,23 (-0,2)
L	6,88	4,54 (-2,34)	6,77	4,78 (-1,99)
M	6,97	6,31 (-0,66)	6,67	6,32 (-0,35)

Bei gegebener Sphärizität ergibt sich für das rechte Testbein ein signifikanter Haupteffekt *Intervention/Messzeitpunkt*, mit $F(1,1000) = 5,795$, $p = .018$, partielles $\eta^2 = 0.062$. Innerhalb des Teamvergleichs der Mannschaften, die an der Intervention teilgenommen haben, zeigt sich ein deutlicher, statistisch signifikanter Interaktionseffekt ($F[1,1200] = 2,343$, $p = .012$, partielles $\eta^2 = 0.244$).

Bei einer genaueren Betrachtung zeigen sich positiv statistisch signifikante Haupteffekte *Intervention* beim Vergleich der Messzeitpunkte eins und zwei bei den Teams A ($F[1, 1000] = 11,126$, $p = .006$; 2.19, 95% - CI [0.76, 3.61]), H ($F[1, 000] = 16.859$, $p = .006$; 2,51, 95% - CI [1.02, 4.01]) und L ($F[1, 1000] = 10.176$, $p = .009$; 2.34, 95% - CI [0.73, 3.96]). Bei Team F hingegen ergibt sich ein statistisch signifikanter Haupteffekt *Intervention* hinsichtlich einer

negativen Score-Entwicklung im Vergleich von Messzeitpunkt eins und zwei ($F[1, 1000] = 7.535, p = .029; -1.58, 95\% - CI [-2.93, -0.22]$).

Für das linke Testbein zeigt sich der Interaktionseffekt *Intervention*Teamzugehörigkeit* weniger stark ($F[1,12000] = 1,988, p = .035$), als der reine Interventionseinfluss über alle Mannschaften der IG gerechnet ($F[1,1000] = 7,061, p = .009$). Statistisch signifikante Haupteffekte *Intervention* ergeben sich wiederum zugunsten der Teams A ($F[1, 1000] = 11.337, p = .006; 2.05, 95\% - CI [0.72, 3.37]$) H ($F[1, 1000] = 9.154, p = .023; 2.06, 95\% - CI [0.39, 3.72]$) und L ($F[1, 1000] = 11.696, p = .006; 1.99, 95\% - CI[0.71, 3.27]$).

In einer nächsten Fragestellung 10 soll geklärt werden, inwieweit leistungsschwächere Spieler mehr von den Interventionsmaßnahmen profitieren, als leistungsstärkere Probanden. Ausgehend von der Annahme, dass der Interventionseffekt bei Spielern mit schlechteren Eingangswerten und eingeschätzten hohen Verletzungsrisiko größer ist, als bei Spielern mit besseren/guten Eingangswerten, wurde für beide Gruppen ein vorab ein Test auf Normalverteilung durchgeführt. Für das rechte Bein war mit $p > .05$ eine Normalverteilung gegeben, die Normalverteilung war für das linke Bein mit $p < .05$ jedoch verletzt. Da Simulationsstudien belegt haben, dass die Mixed-ANOVA eine große Robustheit gegenüber einer Verletzung der Normalverteilung hat und mit einer Gruppengröße $N > 30$ pro Gruppe von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, wurde mit dem gegebenen Datensatz gerechnet (Salkind, 2010; Leonhart, 2013).

Auch hier wurden die Berechnungen wieder für beide Beine isoliert durchgeführt. Bei den 100 Probanden der IG wurde für das rechte Testbein bei 67 Spielern beim Screeningtest ein erhöhtes Verletzungsrisiko (R+) festgestellt. 33 Spieler hingegen waren, gemessen an einem Cut-Off-Wert von 5, nicht in der Risikogruppe (R-).

Für das rechte Testbein ergeben sich demnach folgende LESS-Scorewerte im Pre-Post-Vergleich (Tab. 32, S173):

Tabelle 32: LESS-Score - Pre-Postvergleich der Spieler mit hohem und geringen Verletzungsrisiko für das rechte Bein

	MW (SD)		Differenz
Screening-Test vs. Posttest R+	7,19 (1,29)	5,45 (2,24)	-1,74
Screening-Test vs. Posttest R-	4,04 (0,79)	5,13 (1,86)	+1,09

Der Zeiteffekt isoliert betrachtet, weist keinen statistisch signifikanten Unterschied der LESS-Werte vor. Vergleicht man allerdings den LESS-Wert der Spieler, die im Eingangstest als hoch verletzungsgefährdet eingestuft worden sind mit jenen, die keinem erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt waren (\bar{X} 7,19 vs. 4,04 LESS Scorepunkte), verbesserte sich die eingangs gefährdeten Spieler signifikant besser, als die Spieler ohne erhöhtem Eingangsrisiko ($F[1,1000] = 34,77, p < .001$).

Die Voraussetzungen sind für das linke Testbein ähnlich (Tab. 33). 66 Spieler weisen hier einen Risikowert des LESS-Scores vor (LESS: 6,96), während 34 Probanden keinem erhöhten Risiko ausgesetzt sind (LESS: 4,23).

Tabelle 33: LESS-Score - Pre-Postvergleich der Spieler mit hohem und geringen Verletzungsrisiko für das linke Bein

	MW (SD)		Differenz
Screening-Test vs. Posttest R+	6,96 (1,16)	5,44 (2,02)	-1,52
Screening-Test vs. Posttest R-	4,23 (0,64)	5,02 (1,79)	+0,79

Die Intervention durch das präventive Trainingsprogramm zeigte auch hier bei den eingangs schlechteren Spielern mit erhöhtem Verletzungsrisiko eine signifikant nachweisbare Verbesserung des Scores (-1,52 LESS-Punkte), als bei den Spielern denen eingangs kein erhöhtes Verletzungsrisiko nachgesagt wurde ($F[1,1000] = 59,76, p < .001$).

In Bezug auf die Verletzungsinzidenz (Fragestellung 11) weist die Verletzungsanalyse der Studie im Hinblick auf die Interventionsteilnahme keine entscheidenden präventiven Wirkungserkenntnisse vor. Unter Berücksichtigung der zwei unterschiedlichen Analysezeiträumen werden die Ergebnisse nachfolgend isoliert dargeboten. Für beide

Ergebnisberechnungen werden $N = 441$ in Betracht gezogen. Hiervon haben 434 Spieler (53,1%) an der Intervention teilgenommen, 207 dagegen nicht (46,9%).

Im BZ1 haben sich 151 Spieler eine Verletzung zugezogen, wobei die Verletzungsart nicht entscheidend war, und 290 Spieler blieben unverletzt. Mit 36 Spielern haben sich 8,2% der Spieler am Knie verletzt, wobei es sich bei 9 Probanden (2%) um eine Kreuzbandverletzung handelte.

Der Vergleich der Verletzungsanfälligkeit zwischen IG und KG wird in Tabelle 34 detailliert dargeboten.

Tabelle 34: Vergleich der Verletzungsdaten von IG & KG in der Saison 2015/16

	IG				gesamt	P
	ja	nein	ja	Nein		
Hatte der Spieler in der Saison 15/16 überhaupt eine Verletzung?	82 (35%)	152	69 (33,3%)	138	441	$F (1,440) = .142, p > .05$
Hatte der Spieler in der Saison 15/16 eine Knieverletzung?	12 (5,1%)	222	24 (11,6%)	183	441	$F (1,440) = 6,184, p = .013$
Hatte der Spieler in der Saison 15/16 explizit eine VKB-Verletzung?	3 (1,3%)	231	6 (2,9%)	201	441	$F (1,440) = 1,434, p > .05$

Demnach konnte der Gruppenzugehörigkeitsanalyse in Verbindung mit Verletzungen allgemein und explizit VKB-Verletzungen keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden. Ohne die Art der Verletzung zu berücksichtigen waren sogar Spieler aus der IG geringfügig häufiger verletzt, als Spieler bei der KG. Bei den Knieverletzungen allgemein, und VKB-Verletzungen im Speziellen, drehte sich dieses Verhältnis um. Wenngleich die Analyse der VKB-Verletzungen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang

nachwies, ergab hingegen die Analyse der Knieverletzungen im Allgemeinen einen statistisch signifikanten Zusammenhang, mit $F(1,440) = 6,184, p = .013$.

Im BZ2 haben sich von $N = 441$ analysierten Probanden 183 Spieler eine Verletzung zugezogen (die Art der Verletzung war hier nicht entscheidend), während 258 Spieler unverletzt blieben. 57 von diesen Spielern hatten eine Knieverletzung, wovon bei 20 Spielern eine Verletzung am VKB diagnostiziert wurde. Auffallend hierbei ist, dass prozentual gesehen, Spieler der IG häufiger Verletzungen erlitten, als Spieler der KG.

Ohne eine erwiesene Signifikanz der Analyse, lässt sich die Gegenüberstellung der Verletzungsdaten der IG und der KG, wie in folgender Tabelle 35 zusammenfassend darstellen.

Tabelle 35: Vergleich der Verletzungsdaten von IG & KG in der Saison 2016/17

	IG		KG		gesamt	P
	ja	nein	ja	nein		
Hatte der Spieler in der Saison 16/17 überhaupt eine Verletzung?	98 (41,9%)	136	85 (41,1%)	122	$N = 441$	$F(1,440) = .030, p > .05$
Hatte der Spieler in der Saison 16/17 eine Knieverletzung?	31 (13,3%)	203	26 (12,6%)	181	$N = 441$	$F(1,440) = .046, p > .05$
Hatte der Spieler in der Saison 16/17 explizit eine VKB-Verletzung?	12 (5,1%)	222	8 (3,9%)	199	$N = 441$	$F(1,440) = .404, p > .05$

Abschließend wurden alle Verletzungsdaten der beiden Beobachtungszeiträume zusammengefasst und geprüft.

Die deskriptive Statistik errechnete insgesamt 238 Spieler, die sich innerhalb der Spielzeiten 2015/16 und 2016/17 verletzten. Mit gegensätzlich 203 unverletzten Spielern

waren demzufolge 54% der analysierten Spieler mindestens einmal im genannten Beobachtungszeitraum verletzt. Nicht berücksichtigt wird hierbei, ob sich ein Spieler in beiden Spielzeiten jeweils oder mehrfach verletzt hat.

Betrachtet man die Knieverletzungen im Allgemeinen, stehen 46 (22,2%) verletzte Spieler der KG 39 (16,7%) verletzte Spieler der IG gegenüber. Das entspricht über 5% mehr Verletzungen bei Spielern, die kein explizites präventives Training durchführen, wenngleich eine statistische Signifikanz nicht nachgewiesen werden konnte ($p = .141$). Kreuzbandverletzungen zogen sich 15 Spieler aus der IG und 14 Spieler aus der KG zu. Prozentual gesehen erlitten zwar Spieler aus der IG mit 6,4% gegenüber Spielern aus der KG mit 6,8% diese Verletzung seltener, dies stellt allerdings keine entscheidende Größe dar. Die exakten Ergebnisse können nachfolgender Tabelle 36 entnommen werden.

Tabelle 36: Vergleich der Verletzungsdaten von IG & KG über den gesamten Beobachtungszeitraum

	IG		KG		Gesamt	P
	ja	nein	ja	nein		
Hatte der Spieler im BZ _{gesamt} überhaupt eine Verletzung?	130 (55,6%)	104	108 (52,2%)	99	441	$F (1,440) = .504, p > .05$
Hatte der Spieler im BZ _{gesamt} eine Knieverletzung?	39 (16,7%)	195	46 (22,2%)	161	441	$F (1,440) = 2,182, p > .05$
Hatte der Spieler im BZ _{gesamt} explizit eine VKB-Verletzung?	15 (6,8%)	219	14 (6,4%)	193	441	$F (1,140) = .022, p > .05$

11.3 Diskussion

Die vierte Studie dieser Arbeit beschäftigt sich mit einem ersten Schwerpunkt insbesondere mit dem Effekt der Intervention auf unterschiedliche Parameter, die mit dem LESS-Score in Zusammenhang gebracht werden.

So soll, bezogen auf Fragestellung 8, zum einen überprüft werden, ob die regelmäßige Durchführung eines neuromotorischen präventiven Trainingsprogrammes (pTP) einen positiven Einfluss auf die Biomechanik und einem damit einhergehenden verletzungsrisikanten Bewegungsmuster bei Sprung- und Landeverhalten hat. Mehrere Studien konnten einen solchen Einfluss nachweisen (Hewett, Lindenfeld, Riccobene & Noeyes, 1999; Alentorn-Geli, Myer & Silvers et al, 2009). Allen voran sind schlechte Bewegungstechniken in sportartspezifischen Bewegungsmustern eine große Gefahr für Verletzungen der unteren Extremität. Hier zählen vor allem steife Landungen mit limitierten Bewegungsumfang in der Sagittalebene, als auch große Hüft- und Knierotations-Momente (dynamischer Knievalgus) zu den Risikofaktoren (Hewett, Myer & Ford, 2004; Padua, Arnold, Perrin, Gansneder, Cacia & Granata, 2006; Alentorn-Geli, Myer & Silvers et al, 2009; Padua & DiStefano, 2009; DiStefano, LJ., Padua, DiStefano, MJ & Marshall, 2009).

Die Forschergruppe um Root et al (2015) wiesen in ihrer Untersuchung eine unmittelbare Verbesserung in der Sprunglandetechnik nach der Durchführung eines neuromotorischen Präventionstrainings nach. Dieses Programm beinhaltet folgende Übungsschwerpunkte:

- dynamische Bewegungsmuster
- Movement Preps
- Beschleunigungsläufe
- Agilityläufe
- Balancierübungen
- plyometrische Übungen

Die Verbesserung den LESS-Score durch die Intervention im Vergleich zu herkömmlichen Warm-Up's war im Pre- Posttest-Vergleich statistisch signifikant (7.03 vs. 6,63; $p = .04$). An diesen Ergebnissen angelehnt, wird einer regelmäßigen Durchführung eine ähnliche Effizienz vorhergesagt (Root et al, 2015). Die Ergebnisse der vorliegenden Promotionsarbeit bestätigen diese Vorhersage. Nach der Durchführung eines neuromotorischen pTP über einen Zeitraum von 9-12 Monaten zeigten auch die Teilnehmer der Interventionsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe, die ein herkömmliches Warm-Up-Programm absolvierten, eine statistisch signifikante Verbesserung ihrer LESS-Werte (rechts: 6.15 → 5.35, $p = .001$; links 6.03 → 5.30, $p = .001$).

Eine langfristige Intervention sieht auch Padua, DiStefano L.J., Marshall, Beutler, de la Motte und DiStefano M.J. (2012) als entscheidendes Kriterium bei der Einführung eines Trainingsprogramms, um eine verbesserte Biomechanik in sportartspezifischen Bewegungsmuster anhaltend zu stabilisieren. Die Anzahl der aus den Score-Werten resultierenden Spieler, die als hoch verletzungsrisikant eingeschätzt werden, konnte durch das pTP ebenso minimiert werden (rechts: $p = .003$; links: $p = .002$). Da es sich beim *Landing Error Scoring System* um eine binäre Bewertung für biomechanische Bewegungsmuster handelt, kann davon ausgegangen werden, dass sich in den Posttestungen einzelne Item-Errors eliminiert werden konnten. Angesichts der Tatsache, dass Verletzungen der UE, insbesondere des VKB, häufig eine Kombination mehrerer schädlicher Bewegungsmuster und sportartspezifischer Umstände ist, kann das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein von einem zusätzlichen, biomechanischen Risikofaktor (Item) den Unterschied zwischen einer saisonbedingten Verletzung oder einer unverletzten Saison ausmachen (Root et al, 2015).

Weiterführend wurde die Sprungqualität in der sagittalen und frontalen Ebene getrennt voneinander analysiert. Mit Bezug auf die Ergebnisse aus Studie 1 (Abschnitt 8), wo allen voran eine mangelnde Sprungqualität in der Sagittalebene mit einem erhöhten Verletzungsrisiko (LESS > 5) in Verbindung gebracht wurde, sollte die Intervention an diesen neuromotorischen Defiziten ansetzen. Hier weist die Analyse auch einen positiven Interventionseffekt vor. Die IG verbesserte sich demnach bei den Bewegungsmerkmalen sowohl in sagittaler, als auch in der frontalen Ebene. Ein statistisch signifikanter Interaktionseffekt konnte allerdings lediglich den Items der frontalen Ebene nachgewiesen werden (rechts: $p < .001$; links: $p = .002$).

Die Steuerung von Interventionsmaßnahmen verantwortet im hohen Maß das Trainerteam. Durch entsprechende präventive Interventionsmaßnahmen können Risikofaktoren gezielt beeinflusst werden (Dvorak et al, 2009; Krutsch et al, 2013). Entsprechend der Fragestellung 10 zeigten sich größtenteils positive Entwicklungs-Trends bei Anwendung von Präventionsmaßnahmen der teilnehmenden Mannschaften der IG. Die Gegenüberstellung der gemittelten LESS-Scorewerte im Mannschaftsschnitt der Pre-

und Posttests zeigen hier für das rechte und linke Testbein analoge Ergebnisse. Bei zehn Mannschaften wurde eine, teils signifikante, Verbesserung in der Sprungqualität erzielt. Hierbei ist auffällig, dass wenn sich das rechte Testbein verbesserte, sich auch das linke Testbein verbesserte. Im Rahmen dieser positiven Entwicklung konnte bei drei Mannschaften ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den LESS-Scores zwischen Messzeitpunkt eins und zwei, sowohl für das rechte ($p = .006$; $p = .006$; $p = .009$) als auch für das linke Bein ($p = .006$; $p = .023$; $p = .006$) nachgewiesen werden. Ebenfalls drei Mannschaften zeigten das rechte wie auch das linke Testbein im Posttest schlechtere Werte als bei der Eingangstestung (siehe Abschnitt 11.2). Die dualen, statistisch signifikanten Leistungsunterschiede (rechts: $p = .009$; links: $p = .012$) lassen die Interpretation zu, dass die Steuerung des Interventionstrainings einen Einfluss auf den Erfolg dieser Trainingsmaßnahmen haben kann. Dies wiederum eröffnet den Diskussionsspielraum, in welchem Maße die Qualität der Trainingsintervention durch das Trainerteam diese Entwicklung beeinflussen kann. Eine Analyse diesbezüglich erfordert allerdings eine detaillierte Datenerhebung. Parameter wie Anzahl der Interventions-Trainingseinheiten, Übungsauswahl, Anzahl der Übungsausführung, Progression der Trainingsinhalte etc. sind unabdingbar, um exakte Rückschlüsse auf den Einfluss der Trainerqualität ziehen zu können. Eine professionelle Anleitung und Supervision von präventiven Trainingsinhalten kann also ein Indikator sein, um die Bewegungssteuerung zu verbessern und schlussfolgernd einen Einfluss auf die Verletzungsinzidenz zu nehmen. Grooms et al (2013) kommen in ihrer Untersuchung auf eine ähnliche Schlussfolgerung. Ihnen zufolge verhinderte das hier durchgeführte FIFA 11+ - Präventionsprogramm des *FIFA Medical Assessment and Research Centre* (F-MARC) unter Aufsicht eines speziellen Athletiktrainers nachweislich Verletzungen. Die Autorengruppe nennt Verbesserungen der Übungsausführungen und eine individuell angepasste Progression als entscheidende Faktoren. Auch Padua et al (2015) verdeutlichen, dass der Erfolg eines Programmes von der Professionalität seiner Durchführung abhängig ist, was die Implementierung durch Spezialisten inhaltlich begründet, was andererseits allerdings mit einem erheblichen logistischen Aufwand (Supervision) und/oder Kosten verbunden ist.

Die Fragestellung 10 soll untersuchen, ob leistungsschwächere Spieler einen größeren Interventionseffekt erfahren, als leistungsstärkere Spieler, und ob dadurch die Zielgruppe für ein präventives Trainingsprogramm klarer definiert werden kann. DiStefano L.J. et al (2009) kamen zu dem Ergebnis, das Spieler mit höheren Baseline LESS-Werten durch die regelmäßige Durchführung eines pTP die größten Verbesserungen erzielten. Zu diesem Schluss kommt ebenso Kaplan (2007). Auch die Studienergebnisse dieser Promotionsarbeit weisen diese Ergebnisse nach. Demnach erfuhrten Spieler mit den meisten Bewegungsfehlern und einem hoch eingeschätzten Verletzungsrisiko, gemessen an dem LESS-Score, eine statistisch signifikant größere Verbesserung der Bewegungsqualität, als neutral bewertete Spieler ($p < .001$). Dieses Resultat wurde für beide Testbeine analysiert. Die Wirksamkeit eines Programms kann daher wohl gesteigert werden, wenn genau diese Zielgruppe angestrebt wird.

Von großem Interesse ist für Forschung, aber auch angewandte Sportwissenschaft die Fragestellung 11, nach dem Einfluss eines präventiven Trainingsprogrammen auf die tatsächliche Verletzungsinzidenz im Teamsport allgemein (Wedderkopp, N., Kaltoft, Holm & Froberg, 2003; Olsen et al, 2005; Longo, Loppini, Berton, Marrazzo, Maffulli & Denaro, 2012) und insbesondere im Fußball (Soligard et al, 2009; LaBella, Huxford, Grissom, Kim, Peng & Christoffel, 2011; Grooms et al, 2013; Steffen et al, 2008; 2013). Allen voran die Prävention von Knieverletzungen wird in jüngster wissenschaftlicher Vergangenheit durchdringend untersucht (Hewett et al, 1999; Södermann et al, 2000; Mandelbaum et al, 2005; Pfeiffer et al, 2006; Steffen et al, 2008; Kiani et al, 2010, Waldén et al, 2012). Ein verletzungsreduzierender Effekt von präventiven Trainingsprogrammen wird kontrovers diskutiert. Die Ergebnislage ist ambivalent, allen voran in Bezug auf Knieverletzungen. Während Studien von Mandelbaum et al (2005), Kiani et al (2010) oder auch Waldén et al (2012) neuromotorischen Präventionsprogrammen eine signifikant verletzungspräventive Wirkung nachsagen, revidieren andere Autoren, v.a. in Bezug auf die Reduktion von vorderen Kreuzbandverletzungen, diese positiven Effekte (Pfeiffer et al, 2006; Gilchrist et al, 2008; Steffen et al, 2008). Södermann et al (2000) erforschte gar eine höhere Inzidenz bei Probanden aus der Interventionsgruppe. Diese Ambivalenz war auch das Ergebnis einer Übersichtsstudie von Gagnier, Morgenstern & Chess (2012) oder

Stevenson, Beattie, Schwartz & Busconi (2014) und spiegelt sich auch in der hiesigen Untersuchung wider. Unter dem Gesichtspunkt unterschiedlicher Verletzungsgruppierungen (Verletzungen allgemein, Knieverletzungen allgemein und VKB-Verletzungen) gab es, mit einer Ausnahme, keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der IG oder KG und der Verletzungsinzidenz. Standen die Verletzungen allgemein unter Betracht, wurden sogar bei Spielern aus der IG mehrere Verletzungen gezählt, als bei Spielern aus der KG. Dieses Bild wurde in beiden Beobachtungszeiträumen bestätigt. Zu beachten ist bei der Interpretation dieses Ergebnis allerdings die Tatsache, dass hier alle Verletzungen mit einberechnet wurden, die sich Spieler im Beobachtungszeitraum zugezogen haben. Demnach wurden weder artikuläre, ligamentäre oder muskuläre Verletzungen differenziert, noch fielen Verstauchungen, Schürfwunden, degenerative Überlastungsbeschwerden oder Verletzungen an Rumpf, obere Extremität oder Kopf aus dem Raster, was die Beurteilung des Interventionseinflusses auf die Neuromotorik der unteren Extremität stark verzehrt.

Anders entwickelten sich die Muster speziell der Verletzungen am Kniegelenk. Mit doppelt so vielen Knieverletzungen in der KG als in der IG (24 vs. 12) konnte dem direkten Einfluss des pTP in der Studiensaison 2015/16 (BZ1) mit $p = .013$ eine statistische Signifikanz nachgewiesen werden. Ebenso erlitten Spieler aus der KG 50% mehr VKB-Verletzungen, als Spieler aus der IG (6 vs. 3), eine statistische Signifikanz wurde hier jedoch nicht ermittelt. Die Tendenz, dass sich Fußballspieler, die regelmäßig an einem präventiven Trainingsprogramm teilnehmen, tendenziell weniger schwerwiegende Knieverletzungen zuziehen, als Spieler, die konservativ trainieren, kann durch die Ergebnisse dieser Studienarbeit mit gestützt werden. Allen voran der akute Wirkungsmechanismus eines neuromotorischen Präventionstrainings auf die Biomechanik und Landetechnik zur Vermeidung von Verletzungen (Root et al, 2015), der in Studie 3 dieser Arbeit untersucht wurde, kann hier als Effekt betrachtet werden. Im darauffolgenden Jahr (BZ2) relativierte sich dieses Ergebnis wieder. Hier hatten sich im Gegenteil mehr Spieler der offiziellen IG am Knie und auch im Kreuzband verletzt als in der KG. Allerdings ist bei dieser Interpretation zu beachten, dass in keinem Fall geprüft werden kann, ob und in welcher Qualität die Spieler über die Studiensaison 2015/16

hinaus das pTP angewendet haben. In Anbetracht der Tatsache, dass eine gewisse Trainingsdauer ein wichtiger Faktor für eine langfristige Veränderung der Bewegungssteuerung und damit der Prävention von Verletzungen ist, muss dieses Ergebnis zurückhaltend interpretiert werden.

12 Abschlussdiskussion

Das letzte Kapitel dieser Promotionsarbeit beinhaltet die abschließende Ergebnisdiskussion der analysierten Studien, sowie die Zusammenfassung der daraus resultierenden Erkenntnisse. Dabei betrachtet sie die Methodik der Herangehensweise kritisch, und beleuchtet auch die Grenzen der Vorgehensweise. Außerdem werden die Studienergebnisse im Anschluss in eine anwendungsbezogene Praxisrelevanz übertragen, bevor schlussendlich ein Ausblick auf künftiges Forschungsinteresse gegeben wird.

12.1 Ergebniszusammenfassung und Erkenntnisse

In den Studien 1-3 stand die detaillierte Evaluation des *Landing Error Scoring System*, untersucht im leistungsorientierten Amateurfußball des BFV, im Fokus. So wurde die Bewegungsqualität der entsprechenden Probanden im Allgemeinen aber auch speziell in Bezug auf gewisse Parameter analysiert. Hierfür wurde der LESS aus zwei unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Zum einen wurden Faktoren untersucht, die unter Umständen Einfluss auf den LESS nehmen könnten, zum anderen wurde untersucht, welche Auswirkungen gewisse LESS-Werte auf unterschiedliche Folgeparameter nehmen können.

Mögliche Einflussfaktoren auf den LESS

Die Tatsache, dass über 60% der Teilnehmer alarmierende Score-Werte im zugrunde liegenden Screening-Sprungtest DropJump vorweisen, lässt sich auf eine allgemein schlechte neuromotorische Bewegungssteuerung in verletzungsriskanten Spielsituationen

zurückführen. Diese Defizite sind unabhängig von möglichen anthropometrischen Daten. Allerdings beeinflusst das Spielniveau die LESS-Werte. Demnach sind v.a. Spieler von Elite-Jugendmannschaften gemäß LESS stark verletzungsgefährdet. Wer in der höchsten getesteten Spielklasse Fußball spielt, hat die niedrigsten Score-Werte – wenn auch im Schnitt in einem verletzungsrisikanten Bereich.

Die Analyse der LESS-Werte zeigt außerdem auch ein deutliches Muster hinsichtlich der Teamzugehörigkeit. Es lässt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Professionalität und Qualität des Trainerstabs und der Bewegungsqualität im Sprung- und Landeverhalten der Amateurspieler vermuten: Je athletischer und rehabilitativer die Trainingsinhalte, desto besser das Sprung- und Landeverhalten.

Die Auswertung der LESS-Daten nach der Analyse ließ ein Muster von Bewegungsfehlern erkennen, was weitere Überlegungen hinsichtlich Verletzungsprävention anregen soll. Auffallend sind solche Bewegungsfehler, die schlussendlich zu defizitären LESS-Werten führen, hauptsächlich Defizite in der sagittalen Bewegungskette bei Spielern mit schlechten Gesamtscore-Werten. Darauf basierend wäre die Konkretisierung und Spezialisierung der präventiven Intervention logische Folge. Das Screening von funktionellen Bewegungsdefiziten ist also ein grundlegendes Assessment, um in einem weiterführenden Schritt die tatsächlichen Einflussmöglichkeiten eines präventiven Trainingsprogramms zu untersuchen.

Ein konkreter Zusammenhang von Vorverletzungen und der Bewegungsqualität beim DropJump konnte mittels Screening-Test nicht nachgewiesen werden. Allerdings fallen auch in diesem Kontext wiederum aussagekräftige Bewegungsdefizite in der Sagittalebene auf, die ein erhöhtes Verletzungsrisiko darstellen. Ein erhöhtes Auftreten von Verletzungen ist hier wahrscheinlich, wenn man sich den statistisch signifikant nachgewiesenen Zusammenhang von Vorverletzungen und Defiziten in der sagittalen Bewegungskette, allen voran des Kniestreckwinkels beim Initialkontakt, vergegenwärtigt. Zu geringe Kniestreckwinkel beim initialen Kontakt treten für gewöhnlich als Vorbote von Knieverletzungen auf. Diese Auftretenswahrscheinlichkeit

lässt sich bestätigen, bringt man die tatsächlich entstandenen Verletzungsdaten der Studiensaison mit akuten Vorverletzungen in Zusammenhang.

Auswirkungen des LESS

Im späteren Verlauf der Analyse untersuchte diese Promotionsarbeit die Aussagekraft des *Landing Error Scoring System* in Bezug zur Verletzungsinzidenz im Allgemeinen und im Speziellen von Knieverletzungen. Auch hier lässt sich erkennen, dass Spieler ohne Folgeverletzungen bessere Baseline-Daten vorweisen konnten als Spieler, die sich im Laufe der Beobachtungszeit eine Knieverletzung zuzogen. Der Zusammenhang, dass schlechte LESS-Werte > 5 ein Indiz für schwere Knieverletzungen sind, lässt sich in dieser Studie allerdings nicht statistisch signifikant nachweisen. Der in der Literatur empfohlene, aufgrund der Empfindlichkeit gegenüber Verletzungsgefahren ermittelten Grenzwert von Padua et al (2015), stellt für die hiesige Studienpopulation keinen gültigen Cutoff-Wert dar. Der *Landing Error Scoring System* trifft demnach keine verlässliche Aussage über das Auftreten von Knieverletzungen, oder gar Kreuzbandverletzungen. Padua et al (2015) zufolge ist eine solche Vorhersage allerdings immer schwierig, da das Aufkommen von VKB-Verletzungen insgesamt sehr selten ist. Aus diesem Grund muss der allgemeine Cut-off Wert von fünf Fehlerpunkten kritisch hinterfragt werden.

Die Sprungbewertung gewinnt wieder mehr an Aussagekraft, bringt man einzelne Items mit der Verletzungsinzidenz in Verbindung. Risikoathleten mit Verletzungen am Kniegelenk in der Studiensaison hatten statistisch nachweisbare Bewegungsfehler in einzelnen Sprungkriterien, die wiederum vermehrt Merkmale aus der sagittalen Ebene in den Fokus rücken. Selbst bei Spielern, die anhand des LESS-Gesamtscore als nicht verletzungsgefährdet eingestuft wurden, sich aber doch verletzt haben, waren Parameter der Sagittalebene statistisch signifikant auffallend. Es ist allerdings nicht gewährleistet, dass der LESS eine verbindliche Aussage darüber treffen kann, dass sich leistungsschwache Spieler signifikant häufiger verletzen, bzw. leistungsstarke Spieler statistisch nachweisbar häufiger unverletzt bleiben. Diese Erkenntnisse verlangen, die Aussagekraft der Langform des *Landing Error Scoring System* als Verletzungs-Screening-

Tool kritisch zu hinterfragen. Hier brächte unter Umständen ein Langzeit-Verletzungsreport der teilnehmenden Probanden neue Erkenntnisse, da diese Dissertation Risikspieler in einem sehr eingeschränkten Zeitraum im Hinblick auf ihre Verletzungen beobachtete und dabei auch die Zeit – gemessen an Trainings- und Spielstunden – unberücksichtigt blieben. Unumgänglich wäre demnach eine Ausweitung der Untersuchung auf genau eben diese zusätzlichen Faktoren. Es gilt allerdings weitere Aspekte einzubeziehen: So muss bedacht werden, dass biomechanische und funktionelle Faktoren nur einen Gesichtspunkt der Risikofaktoren von Verletzungen darstellen (siehe Abschnitt 4.1). Verletzungsursachen sind multifaktoriell, was die Verletzungsprognose, basierend auf einen Faktorenansatz, in der Praxis absolut unverlässlich macht.

Der Einfluss des pTP auf die Bewegungsqualität im Sprung- und Landeverhalten, sowie auf die Verletzungsinzidenz lieferte dahingehend gewinnbringende Ergebnisse. So verbesserte sich bei der Interventionsgruppe der LESS-Score signifikant stärker als bei der Kontrollgruppe, die kein spezielles Präventionsprogramm in ihren Trainingsalltag integriert hatte. Sowohl in der sagittalen als auch in der frontalen Bewegungsebene ließ sich dieser positive Trend beobachten. Die Bewegungsfehler in der frontalen Ebene konnten sogar statistisch signifikant eliminiert werden. Daraus lassen sich mögliche Maßnahmen für die Implementierung spezieller Übungsinhalte im Trainingsprogramm ableiten. Das Programm zielt mit seinen Übungsinhalten auf biomechanische Defizite in verletzungstypischen Spielsituationen (springen, landen, cutting, stop-and-gos) beim Fußballspiel ab. Verbesserungsdürftig ist allerdings die Individualisierung der Technikkorrektur, was einen detaillierteren und weitaus konkreteren Einfluss auf die individuellen Bewegungsfehler nimmt und demnach gezielt verbessern kann. Was unabhängig von diesen Erkenntnissen allerdings auch deutlich gemacht werden konnte, ist die Tatsache, dass das Programm bei eingangs leistungsschwächeren Spielern deutlichere Verbesserungseffekte erzielt. Somit lässt sich die Wirksamkeit des Programms bei einer hoch riskanten Zielgruppe steigern, wodurch die Implementierung von Screeningtests als Gewinn bringend, gerade im Amateurfußball, angesehen werden kann.

Bei den insgesamt 13 Mannschaften ($N = 100$), welche die Grundlage für die Interventionsanalyse bildeten, zeigten sich signifikante Unterschiede in den Screening- und Posttestwerten des *Landing Error Scoring System*. Da sich Verbesserungen in jedem Fall immer bei den Testbeinen bemerkbar machen, können positive Ergebnisse eindeutig bestimmten Mannschaften zugeschrieben werden. Unter anderem auch deswegen, weil bei den drei Mannschaften, die sich nicht verbessert haben, beide Beine betroffen waren. Hier bedarf es noch einer genauen Analyse der Qualität des Trainerstabs bzw. auch der Compliance der teilnehmenden Teams, ob sich bezüglich dieser Variablen Unterschiede aufdecken lassen. Es lässt sich nicht nachweisen, ob die Mannschaften, die sich im Pre-Posttestvergleich verbesserten, mehr Zeit in das Interventionsprogramm investierten, ob diese qualitativ hochwertiger trainierten, ob detailliertere und individuellere Technikverbesserungen integriert worden sind oder ob der Trainerstab spezielle Übungsinhalte vermehrt auswählte, die auf die tatsächlichen Bewegungsfehler abzielen. Klar ist, dass hier trotz dieser limitierten Erkenntnisse ein funktionelles, neuromotorisches Trainingsprogramm positiv auf biomechanische und neuromotorische Bewegungsdefiziten - einen der größten internen Risikofaktoren von Verletzungen der unteren Extremität, insbesondere von Knieverletzungen - präventiv einwirken kann.

Ganz ähnlich verhält sich das den Ergebnissen dieser Promotionsarbeit zufolge beim pTP, im Hinblick auf die Entstehungshäufigkeit von Knieverletzungen. In der Saison 2015/16, in der das Programm ausgeführt wurde, hatte die IG statistisch signifikant weniger Knieverletzungen als die KG. Auch die Anzahl der Kreuzbandverletzungen konnte im Vergleich zur KG minimiert werden. Diese Ergebnisse relativierten sich zwar wieder, betrachtet man isoliert die Folgesaison 2016/17, allerdings war da auch keine gesicherte Anwendung des Trainingsprogramms mehr gegeben. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine regelmäßige, durch engmaschige Compliance-Abfrage gewährleistete Anwendung des pTP im Trainingsalltag folglich die Entstehung von Knie- und Kreuzbandverletzungen minimieren kann. Selbst über den Implementierungszeitraum hinaus zogen sich 5% weniger Spieler der IG eine Knieverletzung zu, was als Indiz dafür gewertet werden kann, dass eine lang andauernde Durchführung über mehrere Monate hinweg langfristig positive Auswirkungen auf die

Neuromotorik und damit auch ein geringeres Verletzungsrisiko zur Folge hat. Die Annahme einer langanhaltenden, speziell präventiven Wirkung Rupturen des Kreuzbandes gegenüber kann jedoch nicht gehalten werden.

12.2 Limitation und kritische Auseinandersetzung

Die Diskussion der Untersuchungsmethoden erfolgt folglich für die Stichproben, die absolvierten Tests, die eingesetzte Messinstrumente sowie die Auswertung.

Die vorliegende Studie verwendete je nach Fragestellung unterschiedliche Stichproben, welche teilweise nicht beeinflusst werden konnten und sich je nach Fragestellung unterschied.

So nahmen an der Gesamtstudie insgesamt $N = 1510$ Spieler teil (vgl. Abschnitt 7.2). Aufgrund unterschiedlicher Gegebenheiten konnten davon lediglich die LESS Baseline-Daten von $N = 441$ Spieler analysiert werden. Die Teilnahme an der sportmotorischen Testung war freiwillig, Probanden wurden vom studienleitenden Team rekrutiert. Dadurch variierte die Anzahl der Mannschaften je Liga und auch die Anzahl der Spieler je Mannschaft. Ausgeschlossen waren Spieler aus der Gesamtpopulation, die aus unterschiedlichen, meist organisatorischen Gründen nicht an der sportmotorischen Testung teilgenommen haben. Dabei handelte es sich meist um Probleme bei den Terminen, aktuelle Verletzungen, fehlendes Interesse des Clubs, bzw. eine nicht mögliche Auswertung der Eingangstests aus Mangel an Videomaterial. Hierfür waren technische Probleme mit Soft- und Hardware, aber auch individuelle Fehler der Mitarbeiter der Studiengruppe verantwortlich. Die große Anzahl an Mitwirkenden innerhalb der Arbeitsgruppe und damit einhergehend die heterogenen Voraussetzungen bezüglich Fachqualifikation der Mitarbeiter bei der Durchführung der Testung, Auswertung der Sprungvideos oder auch deren Eingabe in das SPSS Datensystem, begünstigten Fehlerquellen. Die interne Interrater-Reliabilität der LESS-Videoauswertung wurde nicht gegengeprüft. Selbst wenn Onate et al (2010) eine hohe Urteilsübereinstimmung der Messergebnisse des LESS von Experten und Anfängern bestätigt, können subjektive Mess- und Analysefehler im Rahmen dieser Auswertungsarbeit nicht ausgeschlossen werden.

Ein weiterer limitierenden Faktor der methodischen Vorgehensweise waren die unterschiedlichen Bedingungen, unter denen die Testungen durchgeführt wurden. Die grundsätzliche Vorgabe war eine on-field-Testung auf einer Kunstrasenoberfläche auf dem Trainingsgelände der jeweiligen Mannschaften. Diesbezüglich gab es allerdings Unregelmäßigkeiten, die sicherlich Einfluss auf die Testergebnisse genommen haben. So wurden die Tests beispielsweise zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb der Mikrozyklen der Trainingsplanung durchgeführt. Während manche Mannschaften Testtermine bevorzugten, die unmittelbar einen Tag nach dem Wettkampftag durchgeführt werden sollten, wurden andere Teams in der Mitte einer Wettkampfwoche und wiederum andere im Rahmen des Abschlusstrainings unmittelbar vor dem Wettkampf getestet. Diese ungleichen Rahmenbedingungen konnten seitens der Studienkoordination allerdings nicht final beeinflusst werden, da das Studienteam den Wünschen der freiwillig teilnehmenden Teams entsprechend nachkommen musste. Man muss also annehmen, dass die Spieler mit unterschiedlichen Vorbelastungen an den Testungen teilgenommen haben. Auch der jeweilige Tageszeitpunkt der Testdurchführung (vormittags, nachmittags, abends) ließ sich nicht beeinflussen. Die Messungen fanden mit einer Ausnahme (Kunstrasenhalle) allesamt im Freien statt, und so waren die Mannschaften natürlich auch den unterschiedlichsten Witterungsbedingungen ausgesetzt. Obwohl es an keinem Tag regnete, herrschten dennoch unterschiedliche Luft- und Temperaturverhältnisse vor Ort. Vor allem in Hinblick auf den Pre- und Posttestvergleich sind diese ungleichen Bedingungen nicht unerheblich. Während die Screeningtests in den Sommermonaten Mai bis August stattfanden, folgten die Posttestungen teilweise unter noch sehr kühlen Bedingungen zwischen Februar und Mai. Auch der Zeitraum zwischen den Testphasen war nicht für alle Teams exakt gleich.

Einfluss auf die Messungen hatten sicherlich auch die unterschiedlichen Platzgegebenheiten vor Ort. Trotz aller Bemühungen, einheitliche Voraussetzungen zu schaffen, unterschieden sich die Platzverhältnisse der Sprungtestung auf den unterschiedlichen Fußballplätzen teilweise sehr deutlich. Auch wenn auf jeden Platz ein Kunstrasenausschnitt als Absprungboden ausgelegt und auch das Absprungplateau mit

Kunstrasen überzogen wurde, konnte auf die unmittelbare Bodenunterlage kein Einfluss genommen werden. So waren manche Fußballplätze (auch witterungsbedingt) besonders hart oder uneben - im Gegensatz zu anderen, die zum Beispiel vergleichsweise viel Rasenpflege vor Ort erhielten und dementsprechend einen besonders weichen und ebenen Untergrund vorweisen konnten.

Neben den organisatorischen Rahmenbedingungen muss das Projekt auch inhaltlich kritisch analysiert werden. Die Implementierung des Trainingsprogramms erfolgte über mehrere Schritte, bei seiner Konzipierung orientierte man sich an etablierte Inhalte von Trainingsprogrammen im Ballsport (Hewett et al, 1999; Olsen et al, 2005; Mandelbaum et al, 2005; Pfeiffer et al, 2006; Gilchrist et al, 2008; Lim, Lee, Kim, An & Kwon, 2009; Kiani et al, 2010; Waldén et al, 2012). In Zusammenarbeit mit dem BFV, sowie dem Uniklinikum Regensburg wurden die jeweiligen Übungen bildlich dargestellt. Daraus entstanden drei unterschiedliche Medienformate, die an das jeweilige Trainerteam der Teilnehmer übergeben wurden.

So wurde ein Poster mit einer Kurzbeschreibung der einzelnen Module erstellt. Dieses Poster wurde zudem zu einem allumfassenden Handbuch mit detaillierter Bebilderung und Beschreibung jeder einzelnen Übung und deren Variationen weiterentwickelt. Um die Übungen auch in ihrer ganzen Dynamik zu übermitteln, wurde das Handbuch in einem letzten Schritt schließlich sogar verfilmt. So konnten allen voran unerfahrene Trainer die Übungen mit der entsprechenden Bewegungsdynamik verinnerlichen, um diese möglichst einheitlich und korrekt an ihre Spieler weiterzugeben. Was seitens des Studienteams nicht gewährleistet werden konnte, war eine einführender Trainerworkshop, um den Coaches die Programminhalte interaktiv und praxisbezogenen näher zu bringen.

Dadurch konnten die Übungsausführungen nicht miteinander erarbeitet und auf entscheidende Aspekte korrekter Bewegungsausführungen sowie mögliche Fehlerbilder eingegangen werden. Sicherlich wäre hier auch eine Experten-Supervision für die teilnehmenden Mitglieder des jeweiligen Trainerteams sinnvoll gewesen um im Trainingsvollzug adäquate Lösungsstrategien bei Fehlerbildern in den

Bewegungsausführungen, Verbesserungsmöglichkeiten im Sinne der Belastungsprogression oder auch einfache Tipps zur Optimierung oder Variation der Übungen gewährleisten zu können. Angesichts der Bedeutung von Fachpersonal in Bezug auf die Compliance und Umsetzung von präventiven Trainingsinhalten (Soligard et al, 2010; Grooms et al, 2013; Steffen et al, 2013) wurden die Wirkungsmöglichkeiten der Implementierung des Programms also nicht maximal ausgeschöpft, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass Laien für die athletischen Inhalte verantwortlich waren. Um bessere Ergebnisse zu erzielen, bieten sich außerdem auch individuelle und sehr konkrete Übungsinhalte an, die die Spieler bei unterschiedlichen Bewegungsfehlern gezielt anwenden könnten. Denn je nachdem, welcher Bewegungsparameter der Sprung- und Landebewegung welche Defizite zeigt, muss auch die Fehlerkorrektur ansetzen. Diese Individualisierung konnte aus organisatorischen Gründen bei der Implementierung nicht berücksichtigt werden. Im Zusammenhang mit fehlender Expertise des verantwortlichen Trainerteams kann davon ausgegangen werden, dass die Intervention nicht maximal zielführend die individuellen Bewegungsfehler zu korrigieren versuchte.

12.3 Praxisrelevanz und Ausblick

Der *Landing Error Scoring System* kann im Fall der Studienpopulation dieser Promotionsarbeit nicht herangezogen werden, um generelle Aussagen bzgl. Risikoathleten oder dem Auftreten von Knieverletzungen auf Basis von neuromotorischen Defiziten zu treffen. Eine Prognose ist dahingehend nicht möglich, da selbst unverletzte Spieler unerwartet hohe Werte in den Eingangs-Testungen vorweisen und sich in der Summe, gemessen an der Studienpopulation, zu wenig Spieler, die als Risikoathleten eingestuft werden, schwere Knieverletzungen oder gar VKB-Rupturen zugezogen haben. Dieses Phänomen ist typisch für die Vorhersagewerte von Screeningtests (Padua et al, 2015). In diesem Fall bedarf es womöglich einer Langzeitbeobachtung, um mehr Verletzungsdaten generieren und auswerten zu können. Ebenso muss für die Anwendung in der Fußballpraxis berücksichtigt werden, dass Verletzungen multifaktorielle

Entstehungsursachen haben, was die theoretische Aussagekraft einer Faktoreneinzeluntersuchung schmälert.

Das Potential des LESS steckt dennoch darin, neuromotorische Defizite überhaupt aufzudecken und einzelne Items als Fehlerbilder zu analysieren, um auf Basis dieser Defizite verletzungspräventiv intervenieren zu können. DiStefano L.J. et al (2009) zufolge ist eine spezifische, auf Fehlerbilder zugeschnittene Übungsintervention wesentlich effektiver als allgemeine Übungsprogramme. Um allerdings einzelne Fehlerparameter innerhalb von Bewegungsketten zu (er)kennen, ist eine genaue prospektive Analyse unabdingbar. Hier lässt sich die Anwendung von funktionellen Screening-Tests in der Praxis begründen. Auf Basis deren kann mit entsprechender Fachexpertise gezielt auf die individuellen Defizite des jeweiligen Spielers eingegangen, und dadurch Einfluss auf die Neuromotorik genommen werden, um technisch optimale Bewegungsausführungen auch in Wettkampfsituationen automatisiert abrufen zu können und so das Risiko für Gelenkverletzungen zu minimieren. Die Bewegungsqualität in typischen, verletzungsprädiktiven Spielsituationen ist ein entscheidender biomechanischer Risikofaktor. Die Erkenntnis, dass feldbasierte LESS-Screeningtests den Vorhersagekapazitäten von Labortests in nichts nachstehen, ist ein großer Schritt für die VKB-Prävention, da Feldtests einfacher und vor allem kostengünstiger durchgeführt werden können. Das bislang allgemein eher unterschätzte Screening könnte zukünftig nicht nur den Volkssport Nummer 1, sondern auch noch ganz andere Disziplinen entscheidend beeinflussen.

Ein weiterer Mehrgewinn von VKB-Screeningtests ist deren Berücksichtigung im Prozess der Return-to-play-Entscheidung. Verletzte Spieler haben mit den gewonnenen Daten Baseline-Werte im gesunden Zustand, an welche Sie sich im Verlaufe der Rehabilitation orientieren können.

Literatur

- Abrahams, S., Mc Fie, S., Patricios, J., Posthumus, M. & September A.V. (2014). Risk factors for sports concussion: an evidence-based systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 48(2), pp. 91-97.
- Abrams, G.D., Harris, J.D., Gupta, A.K., McCormick, F.M., Bush-Joseph, C.A., Verma, N.N., Cole, B.J. & Bach, B.R. (2014). Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2(1), pp. 1-10.
- Achanathu, S.J., Tyagi, P., Anand, P., Hameed, U.A. & Algarni, A.D. (2014). Effect of Core Stabilization Training on Dynamic Balance in Professional Soccer Players. *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin*, 24(6), pp. 299-304.
- Aerts, I., Cumps, E., Verhagen, E., Verschueren, J. & Meeusen, R. (2013). A systematic review of different jump-landing variables in relation to injuries. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(5), pp. 509-519.
- Ahldén, M., Samuelsson, K., Sernert, N., Forssblad, M., Karlsson, J. & Kartus, J. (2012). The Swedish National Anterior Cruciate Ligament Register: a report on baseline variables and outcomes of surgery for almost 18000 patients. *American Journal of Sports Medicine*, 40(10), pp. 2230-2235.
- Alentorn-Geli, E., Myer, G.D., Silvers, H.J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C. & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17(7), pp. 705-729.
- Allen, M.M., Paree, A., Krych, A.J., Hewett, T.E., Levy, B.A., Stuart, M.J., Dahm, D.L. (2016). Are Female Soccer Players at an increased risk of second anterior cruciate ligament injury compared with their athletic peers? *American Journal of Sports Medicine*, 44(10), pp. 2492-2498.

- Anderson, M.K. & Paar, G.P. (2013). *Foundations of Athletic Training. Prevention, Assessment and Management* (5.ed.). Philadelphia: Williams & Wilkins.
- Anrich, C. (2002). *Fussball: Leistung steigern, Verletzungen vermeiden: empfohlen vom Bund Deutscher Fußball-Lehrer*. Reinbeck: Rowohlt-Taschenbuch-Verlag.
- Bahr, R. & Krossaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 39(6), pp. 324-329.
- Bahr, R. (2016). Why screening tests to predict injury do not work - and probably never will...: a critical review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(13), pp. 776-780.
- Baker, J. (2009). Newtons Bewegungsgesetze. In *50 Schlüsselideen Physik* (pp. 8-11). Wiesbaden: Spektrum Akademischer Verlag.
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-gonzález, C.M., del Campo-Vecino, J. & Bavaresco, N. (2014). The concurrent Validity and Reliability of a low-cost, high-speed Camera-Based method for measuring the flight time of vertical jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), pp. 528-533.
- Bangsbo, J. (1992). Time and motion characteristics of competitive soccer. *Science and Football* (6), pp. 34-42.
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer: with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 15(619), pp. 1-156.
- Banzer, Pfeiffer & Vogt (Hrsg.). (2004). *Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin*. Berlin: Springer Verlag.
- Barnett, F., Bell, D.R., Norcross, M.F., Blackburn, J.T., Georger, B.M. & Padua, D.A. (2013). Trunk and Hip biomechanics influence anterior cruciate loading mechanisms in physically active participants. *American Journal of Sports Medicine*, 41(11), pp. 2676-2683.
- Barr, A. & Lewindon, D. (2016). Die Stabilisierung und Kräftigung des Core. In D. & Lewindon, *Athletiktraining für sportliche Höchstleistung*. München: riva.

- Barr, K.P., Griggs, M., Cadby, T. (2007). Lumbar Stabilization: A Review of Core concepts and Current Literature, Part 2. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 86(1), pp. 72-80.
- Beese, M.E., Joy, E., Switzler, C.L. & Hicks-Little, C.A. (2015). Landing Error Scoring System Differences between Single-Sport and Multi-Sport Female High School-aged Athletes. *Journal of Athletic Training*, 50(8), pp. 806-811.
- Behm, D.G., Cappa, D. & Power, G.A. (2009). Trunk muscle activation during moderate- and high-intensity running. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 34(6), pp. 1008-1016.
- Behnke, R.S. (2005). *Kinetic Anatomy. Second edition*. Champaign: Human Kinetics.
- Bell, D.R., Smith, M.D., Pennuto, A.P., Stiffler, M.R. & Olsen, M.E. (2014). Jump-Landing Mechanics after anterior cruciate ligament reconstruction: A Landing Error Scoring System Study. *Journal of Athletic Training*, 49 (4), pp. 435-441.
- Benjaminse, A., Postma, W., Janssen, I. & Otten, E. (2017). Video Feedback and 2-Dimensional Landing Kinematics in Elite Female Handball Players. *Journal of Athletic Training*, 52(11), pp. 993-1001.
- Besier, T.F., Lloyd, D.G., Ackland, T.R. & Cochrane, J.L. (2001). Anticipatory Effects of knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(7), pp. 1176-1181.
- Beutler, A., de la Motte, S., Padua, D. & Boden, B. (2009). Muscle strength and qualitative jump-landing differences in male and female military cadets: the jump-acl study. *Journal of Sport Science and Medicine*, 8(4), pp. 663-671.
- Bisanz, G. & Gerisch, G. (2008). *Fußball, Kondition, Technik, Taktik & Coaching*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Bizzini, M., Hancock, D. & Impellizzeri, F. (2012). Suggestions from the field for return to sports participation following anterior cruciate ligament reconstruction: soccer. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(2), pp. 304-312.

- Blanca, M.J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R. & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), pp. 552-557.
- Bloch, H., Klein, Ch. & Luig, P. (2019). Verletzungen im duetschen professionellen Teamsport - Ableitungen für präventive Screenings. *Sportphysio 2019*, 7(2), pp. 59-66.
- Bloch, H., Luig, P., Klein, Ch. & Riepenhof, H. (2017). *Return-to-Competition: Testmanual zur Beurteilung der Spielfähigkeit nach akuter lateraler Bandverletzung am Sprunggelenk*. Hamburg: Jedermann-Verlag.
- Boden, B.P., Dean, G.S., Feagin, J.A. & Garrett, W.E.Jr. (2000). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 23(6), pp. 573-578.
- Boden, B.P., Torg, J.S., Knwoles, S.B. & Hewett, T.E. (2009). Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *American Journal of Sports Medicine*, 37(2), pp. 252-259.
- Boling, M., Thigpen, C.A., Padua, D.A. & Marshall, S.W. (2005). Item specific reliability analyses of the landing error scoring system (LESS). *Medicine Science & Sports Exercises*, 37, p. 124. doi:10.1097/00005768-200505001-00629
- Bollen, S. (2000). Epidemiology of knee injuries: diagnosis and triage. *British Journal of Sports Medicine*, 34(3), pp. 227-228.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bosch, F. (2016). Das Feintuning der motorischen Kontrolle. In D. & Joyce, *Athletiktraining für sportliche Höchstleistungen* (pp. 133-148). München: riva-Verlag.
- Boyle, M. (2010). *Functional Training. Das Erfolgsprogramm für Spitzensportler*. München: riva Verlag.
- Boyle, M. (2011). *Fortschritte im Functional Training. Neue Trainingstechniken für Trainer und Athleten*. München: riva-Verlag.

- Broich, H. (2009). Quantitative Verfahren zur Leistungsdiagnostik im Leistungsfußball - Empirische Studien und Evaluationen verschiedener leistungsrelevanter Parameter (Dissertation). *Sporthochschule Köln*. Retrieved Juli 10, 2017, from http://esport.dshs-koeln.de/177/1/Dissertation_Holger_Broich.pdf
- Brophy, R., Silvers, H.J., Gonzales, T. & Mandelbaum, B.R. (2010). Gender influences: the role of leg dominance in ACL injury among soccer players. *British Journal of Sport Medicine*; 44(10), pp. 694-697.
- Brophy, R.H., Stepan, J.G., Silvers, H.J. & Mandelbaum, M.D. (2015). Defending puts the anterior cruciate ligament at risk during soccer: A gender-based analysis. *Sports Health*, 7(3), pp. 244-249.
- Brosius, F. (2007). *SPSS FÜR DUMMIES. Statistische Analyse statt Datenchaos*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Burkhart, M. (2012). [http://www.fotocommunity.de.](http://www.fotocommunity.de/) Retrieved Januar 24, 2017, from <http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/27317567>
- Buschmann, J., Bussmann, H. & Pabst, K. (2009). *Koordination im Fußball - neue Trainingsformen. Körperbeherrschung - Ballgeschicklichkeit - Übungen mit Trainingsgeräten*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Buttifant, D., Graham, K. Cross, K. (2002). Agility and speed in soccer players are two different performanc parameters. In W. R. Spinks, *Sciene and Football IV* (pp. 329-340). New York, Lonodon: Rotledge.
- Chandrashekar, N.J., Mansour, M., Slauterbeck, J. & Hashemi, J. (2005). Sex-based differences in the anthropometric characteristics of the anterior cruciate ligament and its relation to intercondylar notch geometry. *American Journal of Sports Medicine*, 33(10), pp. 1492-1498.
- Chaudhari, A.M.W., Zelman, E.A., Flanigan, D.C., Kaeding, C.C. & Nagaraja, H.N. (2009). Anterior Cruciate Ligament - Injured Subjects have smaller Anterior Cruciate

- Ligaments than matched Controls: A Magnetic Resonance Imaging Study. *American Journal of Sports Medicine*, 37(7), pp. 1282-1287.
- Chomiak, J., Junge, A., Peterson, L. & Dvorak, J. (2000). Severe Injuries in football players. *American Journal of Sports Medicine*, 20(5), pp. 58-68.
- Clark, M.A., Lucett, S.C. & Kirkendall, D.T. (2010). *NASM Essentials of Sports Performance Training*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Cochrane, J.L., Lloyd, D.G., Buttfield, A., Seward, H. & McGivern, J. (2007). Characteristics of anterior cruciate ligament injuries in australien football. *Journal of Medicine & Sport*, 10(2), pp. 96-104.
- Cook, G. (2014). *Functional-Training-Magazin*. Retrieved Januar 31, 2017, from <http://www.functional-training-magazin.de/sportartspezifisch-oder-funktionell>
- Cook, G., Burton, L. & Hoogenboom, B. (2006a). Pre-participation screening: the use of fundamental movements as an assessment of function. Part 1. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 1(2), pp. 62-72.
- Cook, G., Burton, L. & Hoogenboom, B. (2006b). Pre-Participation Screening: the use of fundamental movements as an assessment of function. Part 2. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 1(3), pp. 132-139.
- Cook, Gray. (2011). *Der perfekte Athlet. Spitzenleistung durch Functional Training*. München: riva-Verlag.
- Cronin, J.B., Green, J.P., Levin, G.T., Brughelli, M.E. & Frost, D.M. (2007). Effect of starting stance on initial sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), pp. 990-992.
- Dai, B., Mao, D., Garrett, W.E. & Yu, B. (2014). Anterior cruciate ligament injuries in soccer: Loading mechanisms, risk factors and prevention programs. *Journal of Sport and Health Science*, 3(4), pp. 299-306.

- Dallinga, J.M., Benjaminse, A., Lemmink, K.A.P.M. (2012). Which Screening Tools can predict Injury to the lower Extremities in Team Sports? *Journal of Sports Medicine*, 42(9), pp. 791-815.
- Dar, G., Yehiel, A. & Cale' Benzor, M. (2019). Concurrent criterion validity of a novel portable motion analysis system for assesing the landing error scoring system (LESS) test. *Journal of Sports Biomechanis*, 18(4), pp. 426-436.
- Darlington, R. (2017). *Regression analysis and linear models: concepts, applications, and implementation*. New York, London: Guilford Press.
- Dawes, J. & Roozen M. (2012). *Developing Agility and Quickness*. Champaign: Human Kinetics.
- Deneweth, J.M., Bey, M.J., McLean, S.G., Lock, T.R., Kolowich, P.A. & Tashman, S. (2010). Tibiofemoral Joint Kinematics of the Anterior Crciate Ligament-Reconstructed Knee during a Single-Legged Hop Landing. *American Journal of Sports Medicine*, 38(9), pp. 1820-1828.
- Deutscher Fußballbund (DFB). (2019). www.dfb.de/verbandsstruktur/mitglieder/. Retrieved Februar 23, 2019, from <https://www.dfb.de/verbandsstruktur/mitglieder/>
- Devore, P. & Hagerman, P. (2006). A Prgame Soccer Warm-up. *Strength and Conditioning Journal*, 28(1), pp. 14-18.
- DiSalvo, V., Baron, R. & Tschan, H. (2007). Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), pp. 222-227.
- DiStefano, L.J., Blackburn, J.T., Marshall, S.W., Guskiewicz, K.M., Garrett, W.E. & Padua, D.A. (2011). Effects of a age-specific anterior cruciate ligament injury prevention program on lower extremty biomechanics in children. *American Journal of Sports Medicine*, 39(5), pp. 949-957.
- DiStefano, L.J., Padua, D.A., DiStefano, M.J. & Marshall, S.W. . (2009). Influence of age, sex, technique, and exercise program on movement patterns after an anterior

- cruciate ligament injury prevention program in youth soccer players. *American Journal of Sports Medicine*, 37(3), pp. 495-505.
- Dos'Santos, T., Thomas, CH., Comfort, P. & Jones, P. (2019). The Role of the Penultimate Foot contact during Change of Direction. *Strength and Conditioning Journal*, 41(1).
- Dost, H., te Poel, H.D., Hyballa, P. (2015). *Fussballfitness: Athletiktraining. Mehr Kraft, Koordination, Schnelligkeit und (Spiel-) Ausdauer*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Dragoo, JL., Braun, HJ., Durham, JL., Chen, MR. & Harris, AH. (2012). Incidence and risk factors for injuries to the anterior cruciate ligament in National Collegiate Athletic Association football: data from the 2004-2005 through 2008-2009 National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System. *American Journal of Sports Medicine*, 40(5), pp. 990-995.
- Draper, J.A., Lancaster, M.G. . (1985). The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. . *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*. 17(1), pp. 15-18.
- Drobe, M. (2008). *Das komplexe Fussballtraining. Allgemeines Koordinatinstraining in Theorie und Praxis*. Nordersted: Books on Demand GmbH.
- Duden Fremdwörterbuch (Band 5; Auflage 7). (2001). Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG.
- Dvorak, J., Junge, A. & Grimm, K. (2009). *F-Marc - Football Medicine Manual. 2nd Edition*. Altstätten: RVA Druck und Medien.
- Eder, K. & Hoffmann, H. (2006). *Verletzungen im Fußball. Vermeiden - behandeln - therapieren*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Eder, K. & Hoffmann, H. (2010). *Verletzungen im Fußball*. München: Urban&Fischer.
- Eder, K. & Hoffmann, H. (2014). Physikalische und physiotherapeutische Maßnahmen und Rehabilitation. In H. U. Mueller-Wohlfahrt, *Muskelverletzungen im Sport (3., unveränderte Auflage)*. Stuttgart: Thieme-Verlag.

- Eisenhut, A. & Zintl, F. (2009). *Ausdauertraining: Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung*. München: blv.
- Ekstrand, J., Hägglund, M. & Waldén, M. (2011). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *American Journal of Sports Medicine*, 39(6), pp. 1226-1232.
- Ekstrand, J., Waldén, M. & Hägglund, M. (2004). Risk for injury when playing in a national football team. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(1), pp. 34-38.
- Emery, C.A., Meeuwisse, W.H. & Hartmann, S.E. (2005). Evaluation of risk factors for injury in adolescent soccer. *American Journal of Sports Medicine*, 33(12), pp. 1882-1891.
- Engelhardt, M. (Hrsg.). (2009). *Sportverletzungen. Diagnose, Management und Begleitmaßnahmen*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Fagenbaum, R. & Darling, W.G. (2003). Jump landing strategies in male and female college athletes and the implications of such strategies for anterior cruciate ligament injury. *American Journal of Sports Medicine*, 31(2), pp. 233-240.
- Falsone, Sue. (2016). Die Optimierung der Beweglichkeit. In D. L. Joyce, & D. L. David Joyce (Ed.), *Athletiktraining für sportliche Höchstleistungen* (p. 74). München: riva Verlag.
- Faude, O., Meyer, T., Federspiel, B. & Kindermann, W. (2009). Verletzungen im deutschen Profifußball - eine Analyse auf Basis von Medieninformationen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 60(6), pp. 139-144.
- Faude, O., Schlumberger, A., Fritsche, T., Treff, G. & Meyer, T. (2010). Leistungsdiagnostische Testverfahren im Fußball - methodische Standards. *German Journal of Sports Medicine*, 61(6), pp. 129-133.
- Fauno, P. & Wulff, J.B. (2006). Mechanism of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *International Journal of Sports Medicine*; 27(1), pp. 75-79.

Fédération Internationale de Football Association (FIFA). (2019). www.fifa.com. Retrieved Februar 23, 2019, from <https://de.fifa.com/associations/>

Ferretti, A., Papandrea, P., Conteduca, F. & Mariani, P.P. (1992). Knee ligament injuries in volleyball players. *American Journal of Sports medicine*, 20(2), pp. 203-207.

Foran, B. (2001). *High-performance sports conditioning. Modern training for ultimate athletic development*. Champaign: Human kinetics.

Ford, K.R., Myer, G.D. & Hewett, T.E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(10), pp. 1745-1750.

Fox, A.S. (2018). Change-of-Direction Biomechanics: Is What's Best for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Also Best for Performance? *Sports Medicine*, 48(8), pp. 1799-1807.

Freiwald, J. & Engelhardt, M. (2001). Neun wichtige Aspekte zum Dehnen im Fußballsport. *Sportorthopädie - Sporttraumatologie*, 17(2), pp. 80-86.

Freiwald, J. (2006). *Stretching für alle Sportarten*. Reinbek: Rowohlt Taschenbuch Verlag.

Freiwald, J., Papadopoulos, C., Slomka, M., Bizzini, M. & Baumgart, Ch. (2006). Prävention im Fußballsport. *Sportorthopädie - Sporttraumatologie*, 22(3), pp. 140-150.

Frick, U. (1993). *Kraftausdauerverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus*. Köln: Sport und Buch Strauß, Ed. Sport.

Fitzgerald, G.K., Lephart, S.M., Hwang, J.H. & Wainner, R.S. (2001). Hop tests as predictors of dynamic knee stability. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 31(10), pp. 588-597.

Fuller, C.W., Junge, A. & Dvorak, J. (2011). Risk Management: FIFA's approach for protecting the health of football players. *British Journal of Sports Medicine*, 46(1), pp. 11-17.

- Fusion Sport. (2014). *smartspeed PT, Version 2.0*. Retrieved Mai 13, 2019, from <https://www.fusionsport.com/blog/download-category/smartspeed-manuals/>
- Gagnier, J.J., Morgenstern, H. & Chess, L. (2012). Interventions designed to prevent anterior cruciate ligament injuries in Adolescents and Adults. *American Journal of Sports Medicine*, 41(8), pp. 1952-1963.
- Gambetta, V. (2007). *Athletic Development. The Art & Science of Functional Sports Conditioning*. Champaign: Human Kinetics.
- Gamble, P. (2010). *Strength and Conditioning for Team Sports. Sport-Specific physical preparation for high performance*. Abingdon, Oxon: Routledge.
- Gelen, R. (2010). Acute Effects of different warm-up Methods on Sprint, Slalom Dribbling, and Penalty Kick Performance in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), pp. 950-956.
- Gießing, J. & Schohl, M. (2009). *Krafttraining für Fußballer. Aktuelle Untersuchungsergebnisse und Trainingspläne für die Praxis*. Marburg: Tectum-Verlag.
- Gilchrist, J., Mandelbaum, B.R., Melancon, H., Ryan, G.W., Silvers, H.J., Griffin, L.Y., Watanabe, D.S., Dick, R.W. & Dvorak, J. (2008). A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *American Journal of Sports Medicine*, 36(8), pp. 1476-1484.
- Glatthorn, J.F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F.M. & Maffiuletti, N.A. (2011). Validity and Reliability of Optojump Photoelectric Cells for estimating vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), pp. 556-560.
- Gokeler, A. & Benjaminse, A. (2019). Verletzungsvorhersage und Risikoscreening bei Verletzungen des vorderen Kreuzbandes. *Sportphysio*, 7(2), pp. 74-80.
- Gokeler, A., Eppinga, P., Dijkstra, P.U., Welling, W., Padua, D.A., Otten, E. & Benjaminse, A. (2014). Effect of fatigue on landing performance assesed with the landing error scoring system (less) in patients after ACL reconstruction. A pilot study. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(3), pp. 302-311.

- Gokeler, A., Eppinga, P., Dijkstra, P.U., Welling, W., Padua, D.A., Otten, E. & Benjaminse, A. (2014). Effect of fatigue on landing performance assessed with the landing error scoring system (less) in patients after ACL reconstruction. A pilot study. *International Journal of sports physical therapy*, 9(3), pp. 302-311.
- Gonzales-Balzar, P. (2007). Konditionstraining und sportmedizinische Betreuung in der 1. Fußballbundesliga (veröffentlichte Dissertation). Hamburg: Universität Hamburg.
- Grabau, E.E., Vitzthum, K., Mache, S., Groneberg, D.A. & Quarcoo, D. (2011). Gendermedizinische Aspekte einer Kreuzbandruptur. *Sportverletzung - Sportschaden*, 25(4), pp. 235-240.
- Graham, J. (2014). Agilität - zentrale Leistungsfähigkeit. *Functional-Training Magazin*. Retrieved Juli 19, 2017, from <http://www.functional-training-magazin.de/agilitaet-zentrale-leistungsfahigkeit/>
- Grooms, D.R., Palmer, T., Onate, J.A., Myer, G. & Grindstaff, T. (2013). Comprehensive soccer specific warm-up and lower extremity injury in collegiate male soccer players. *Journal of Athletic Training*, 48(6), pp. 782-789.
- Gruber, M. (2007). Prävention von Sprunggelenksverletzungen durch sensomotorisches Training. In J. J. Freiwald, *Prävention und Rehabilitation. Symposiumsbericht Bad Sässendorf 2006* (pp. 127-134). Köln: Sportverlag Strauß.
- Grygorowicz, M., Kubacki, J., Pilis, W., Gieremek, K. & Rzepka, R. (2010). Selected isokinetic tests in knee injury prevention. *Biology of Sport*, 27(1), pp. 47-51.
- Güllisch, A. & Schmidbleicher, D. (1999). Methodik des Krafttrainings - Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, pp. 17-71.
- Hägglund, M., Atroshi, I., Wagner, P & Waldén, M. (2012). Superior compliance with a neuromuscular training programme is associated with fewer ACL injuries and fewer acute knee injuries in female adolescent football players: secondary analysis of an RCT. *British Journal of Sports Medicine*, 47(15), pp. 9474-979.

- Hägglund, M., Waldén, M. & Ekstrand, J. (2013). Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer the UEFA injury study. *American Journal of sports medicine*, 41(2), pp. 327-335.
- Hahne, J. & Schmitt, M. (2017). Stay in - Prävention und Regeneration am Beispiel des FC Bayern München Basketball (Prävention, Training und Regeneration). *Sportärztezeitung*, 3, pp. 40-45.
- Haugen, T. & Seiler, S. (2015). Physical and Physiological Testing of Soccer Players: Why, What and How should we measure. *Sportscience*, 19, pp. 10-26.
- Hedin, S. (2002). *PNF - Grundverfahren und funktionelles Training. Extremitäten, Rumpf und Nacken, Mattentraining, Gangschulung, ADL* (2. Auflage). Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Heiderscheit, B.C., Sherry, M.A., Slider, A., Chumanov, E.S. & Thelen, D.G. (2010). Hamstring Strain Injuries: Recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(2), pp. 67-81.
- Herbst, E., Hoser, C., Hildebrand, C., Raschner, C., Hepperger, C., Pointner, H. & Fink, C. (2015). Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part II: clinical application of a new test battery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(5), pp. 1283-1291.
- Herbst, E., Wierer, G., Fischer, F., Gföller, P., Hoser, C. & Fink, C. (2017). Functional assessments for anterior cruciate ligament reconstruction return to sport. *Annals of Joint - An open access journal for high quality research in bones and joints*, 37(2). Retrieved März 23, 2019, from <http://aoj.amegroups.com/article/view/3728/4386>
- Herman, D.C., Weinhold, P.S., Guskiewicz, K.M., Garrett, W.E., Yu, B. & Padua, D.A. (2008). The effects of strength training on the lower extremity biomechanics of female recreational athletes during a stop jump task. *American Journal of Sports Medicine*, 36(4), pp. 733-740.

- Hewett, T.E. (2000). Neuromuscular and hormonal factors associated with knee injuries in female. Strategies for intervention. *Journal of Sports Medicine*, 29(5), pp. 313-327.
- Hewett, T.E., Di Stasi, S.L. & Myer, G.D. (2013). Current concepts for injury prevention in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 41(1), pp. 216-224.
- Hewett, T.E., Ford, K.R., Hoogenboom, B.J. & Myer, G.D. (2010). Understanding and preventing ACL Injuries: Current biomechanical and epidemiologic considerations - Update 2010. *North American Journal of Sports Physical Therapie*; 5(4), pp. 234-251.
- Hewett, T.E., Lindenfeld, T.N., Riccobene, J.V. & Noyes, F.R. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: a prospective study. *American Journal of Sports Medicin*, 27(6), pp. 699-706.
- Hewett, T.E., Myer, G.D. & Ford, K.R. (2004). Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 86(8), pp. 1601-1608.
- Hewett, T.E., Myer, G.D. & Ford, K.R. (2006). Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes. Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *American Journal of Sports Medicine*, 34(2), pp. 299-308.
- Hewett, T.E., Myer, G.D., Ford, K.R., Heidt Jr., R.S., Colosimo, A.J., McLean, S.G., van den Bogert, A.J., Paterno, M.V. & Succop, P. (2005). Biomechanical Measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The american Journal of Sports Medicine*, 33(4), pp. 492-501.
- Hillebrecht, M., Robin, O. & Böckmann, S. (2007). Reduzieren sich Sprintleistungen nach statischem Dehnen? *Leistungssport*, 37(6), pp. 12-16.
- Hoff, J., Kähler, N. & Helgerud, J. (2006). Training sowie Ausdauer- und Krafttests von professionellen Fußballspielern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57(5), pp. 116-124.

- Hoffmann, H. & Krutsch, W. (2016). Return to Play nach Verletzungen im Fußball. Rückkehr auf den Platz - sportmedizinische und sportwissenschaftliche Erfahrungen. *Sportärztezeitung*, 2, pp. 28-35.
- Hollman, W. & Hettinger, Th. (1990). *Sportmedizin* (3. Auflage). Stuttgart: Schattauer Verlag.
- Hrysomallis, C. (2007). Relationship between Balance Ability, Training and Sports Injury Risk. *Journal of Sports Medicine*, 37(6), pp. 547-556.
- Hsu, WH., Fisk, J.A. & Yamamoto, Y. (2006). Differences in Torsional Joint Stiffness of the Knee between Genders: A Human Cadaveric Study. *American Journal of Sports Medicine*, 34(5), pp. 765-770.
- Huxel Bliven, K.C. & Anderson, B.E. (2013). Core Stability Training for Injury Prevention. *Sports Health: A multidisciplinary Approach*, 5(6), pp. 514-522.
- Itoh, H., Takiguchi, K., Shibata, Y., Okubo, S., Yoshiya, S. & Kuroda, R. (2016). Correlation between hip function and knee kinematics evaluated by three-dimensional motion analysis during lateral and medial side-hopping. *Journal of physical therapy science*, 28(9), pp. 2461-2467.
- Iwamoto, J., Takeda, T., Sato, Y. & Matsumoto, H. (2008). Retrospective case evaluation of gender differences in sports injuries in a Japanese sports medicine clinic. *Gender Medicine*, 5(4), pp. 351-452.
- Jöllenbeck, T., Freiwald, J., Dann, K., Gokeler, A., Zantop, T., Seil, R. & Miltner, O. (2013). Prävention von Verletzungen - Review zu Strategien und Evidenz. *Sportorthopädie - Sporttraumatologie*, 29(1), pp. 13-21.
- Joyce, D. & Lewindon, D. (2016). Moderne Athleten verstehen. In D. & Joyce, *Athletiktraining für sportliche Höchstleistungen* (pp. ix-xvi). München: riva-Verlag.
- Junge, A. & Dvorak, J. (2013). Injury surveillance in the World Football Tournaments 1998-2012. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), pp. 782-788.
- Junge, A. & Dvorak, J. (2015). Football injuries during the 2014 FIFA World Cup. *British Journal of sports medicine*, 49(9), pp. 599-602.

- Junge, A., Dvorak, J., Graf-Baumann, T. & Peterson, L. (2004). Football injuries during Fifa Tournaments and Olympic Games, 1998-2001: Development and Implementation of an Injury-Reporting System. *American Journal of Sports Medicine*, 32(1), pp. 80-89.
- Kachanathu, P. Tyagi, P., Anand, P., Hameed, U.A. & Algarni, A.D. (2014). Effect of Core Stabilization Training on Dynamic Balance in Professional Soccer Players. *Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 24(6), pp. 299-304.
- Kapandji. (1992). *Funktionelle Anatomie der Gelenke. Untere Extremität (Band 2)*. Stuttgart: Ferndinand Enke Verlag.
- Kapandji. (2009). *Funktionelle Anatomie der Gelenke. Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik (5.Auflage)*. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Kaplan, Y. (2007). The prevention of non-contact injuries in soccer: a systematic literature review. *Turkish Journal of Sports Medicine*, 42, pp. 37-42.
- Kaß, P. (2013). Die Trainertätigkeit im Profifußball - eine multimethodale Anforderungsanalyse zur Optimierung des Fußball-Lehrer-Lehrgangs. *veröffentlichte Dissertation*. Köln: Deutsche Sporthochschule.
- Keller, M. & Kurz, E. (2016). Zurück zum Pre Injury Level nach Verletzungen der unteren Extremität - ein Fallbeispiel. *manuelletherapie*, 20(1), pp. 16-18.
- Keller, M., Kotowski, P., Hochleitner, E. & Kurz, E. (2016). Der Return to Activity Algorithmus für die untere Extremität - ein Fallbeispiel. *manuelletherapie*, 20(1), pp. 19-28.
- Keller, M., Kurz, E., Schmidlein, O., Welsch, E. & Anders, C. (2016). Interdisziplinäre Beurteilungskriterien für die Rehabilitation nach Verletzungen der unteren Extremität: Ein funktionsbasierter Return-to-Activity-Algorithmus. *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin*, 26(3), pp. 137-148.
- Khodaee, M., Currie, D.W., Asif, I.M. & Comstock, R.D. (2016). Nine-year study of US high school soccer injuries: data from a national sports injury surveillance programme. *British Journal of Sports Medicine*, 51(3), pp. 185-193.

- Kiani, A., Hellquist, E., Ahlqvist, K., Gedeborg, R., Michaelsson, K. & Byberg, L. (2010). Prevention of soccer-related knee injuries in teenaged girls. *Archives of Internal Medicine*, 170(1), pp. 43-49.
- Kianmarz, Y. (2016). *Konditionelle Leistungsdiagnostik zur Prävention von Verletzungen im Fußball*. Berlin: Logos Verlag.
- Kirkendall, D.T. (2012). *Fußball Anatomie: Der vollständige illustrierte Ratgeber für mehr Schnelligkeit, Kraft und Beweglichkeit im Fußball*. Grünwald: Copress Sport Verlag.
- Klee, A. & Wiemann, K. (2005). *Beweglichkeit und Dehnfähigkeit*. Praxisideen 17. Schorndorf: Hofmann.
- Klein, Ch. & Bloch, H. (2014). Warm-up-Routine: Sicherer Start ins Spiel! *Fußballtraining*, 6+7, pp. 64-71.
- Klein, Ch. (2014). Präventionstraining: Warm-up-Routine für doppelten Erfolg im Fußball. *Medical Sports Network*, 9, pp. 14-17.
- Klein, Ch. (2014). *Verletzungen im Profifußball - Möglichkeiten der Prävention*. Retrieved März 14, 2019, from <http://www.bdfl.de: https://www.bdfl.de/trainerkongress/dokumentationen/176-itk-2014.html>
- Knobloch, K. & Martin-Schmitt, S. (2006). Verhinderung von schwerwiegenden Muskelverletzungen durch ein prospektives Propriozeptions- und Koordinationstraining im Frauenfußballsport. *Leistungssport*, 1/2006. Retrieved November 21, 2018, from http://www.sportsargans.ch/downloads/Verletzungsvorbeugung%20dank%20Propriozeption_Frauenfussball.pdf
- Koch, M., Zellner, J., Berner, A., Grechenig, S., Krutsch, V., Nerlich, M., Angele, P., Krutsch, W. (2016). Influence of preperation and football skill level on injury incidence during an amateur Football Tournament. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 136(3), pp. 353-360.

- Kollath, E., & Buschmann J. (2010). *Stabilisationstraining. Bewegung optimieren - Körperkraft erhöhen - Zweikämpfe gewinnen*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Kramer, L.C., Denegar, C.R., Buckley, W.E. & Hertel, J. (2007). Factors associated with anterior cruciate ligament injury history in female athletes. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 47(4), pp. 446-454.
- Kristenson, K., Waldén, M., Ekstrand, J. & Hägglund, M. (2013). Lower Injury Rates for Newcomers to professional soccer. A prospective cohort study over 9 consecutive seasons. *American Journal of sports medicine*, 41(6), pp. 1419-1425.
- Krosshaug, T., Steffen, K., Kristianslung, E., Nilstad, A., Mok, K.M., Myklebust, G., Andersen, T.E., Holme, I., Engebretsen, L. & Bahr, R. (2016). The vertical drop jump is a poor screening test for ACL injuries in female elite soccer and handball players: a prospective cohort study of 710 athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 44(4), pp. 874-883.
- Krutsch, W., Eichhorn, H.-J., Hoffmann, H. & Angele, P. (2013). Prävention von vorderen Kreuzbandrupturen. *SFA Arthroskopie Autuell* (26), pp. 3-28.
- Krutsch, W., Voss, A., Gerling, S., Grechenig, S., Nerlich, M. & Angele, P. (2014). First aid on field management in youth football. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 134(9), pp. 1301-1309.
- Krutsch, W., Weishaupt, P., Zeman, F., Loibl, M., Neumann, C., Nerlich M. & Angele, P. (2015). Sport-specifk trunk muscle profiles in soccer players of different skill levels. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 135(5), pp. 659-665.
- Krutsch, W., Zeman, F., Zellner, J., Pfeifer, C., Nerlich, M. & Angele, P. (2016). Increase in ACL and PCL injuries after implementation of a new professional Football League. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Athroscopy*, 47(7), pp. 2271-2279.
- Kubinger, K.D., Rasch, D. & Moder, K. (2009). Zur Legende der Voraussetzungen des t-Tests für unabhängige Stichproben. *Psychologische Rundschau*, 60(1), pp. 26-27.

- LaBella, C.R., Hyford, M.R., Grissom, J., Kim, K.Y., Peng, J. & Christoffel, K.K. (2011). Effect of neuromuscular warm-up on injuries in female soccer and basketball athletes in urban public high schools: cluster randomized controlled trial. *Archive of pediatrics & adolescent medicine*, 165(11), pp. 1033-1040.
- Lam, K.C. & Valovich McLeod, T.C. (2014). The impact of sex and knee injury history on jump-landing patterns in collegiate athletes: a clinical evaluation. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 24(5), pp. 373-379.
- Larson, R. (2016). Die Individualisierung von Warm-Up und Cool-down. In D. & Joyce, *Athletiktraining für sportliche Höchstleistungen* (pp. 117-130). München: riva-Verlag.
- Lee, M.J.C., Lloyd, D.G., Lay, B.S., Bourke, P.D. & Alderson, J.A. (2017). Different visual stimuli affect body reorientation strategies during sidestepping. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(5), pp. 492-500.
- Leonhart, R. (2013). *Lehrbuch Statistik. Einstieg und Vertiefung* (3. überarbeitete Auflage). Bern: Verlag Hans Huber.
- Lim, B.O., Lee, Y.S., Kim, J.G., An, K.O., Yoo, J. & Kwon, Y.H. (2009). Effects of sports injury prevention training on the biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament injury in high school female basketball players. *American Journal of Sports Medicine*, 37(9), pp. 1728-1734.
- Little, T., Williams, A. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed and agility in professional soccer players. In T. C. Reilly, *Science and football V. The proceedings of the fifth world congress on science and football* (pp. 276 - 283). New York: Routledge.
- Little, T. & Williams, AG. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), pp. 76-80.
- Lockie, R.G., Jeffriess, M.D., Schultz, A. & Callaghan, S.J. (2012). Relationship between absolute and relative power with linear and change-of-direction speed in junior

- American football players from Australia. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 20(4), pp. 4-12.
- Logerstedt, D., Gindem, H., Lynch, A., Eitzen, I., Engebretsen, L., Risberg, M.A. & Snyder-Mackler, L. (2012). Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function after anterior cruciate ligament reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *American Journal of Sports Medicine*, 40(10), pp. 2348-2356.
- Longo, U.G., Loppini, M., Berton, A., Marozzi, A., Maffulli, N. & Denaro, V. (2012). The FIFA 11+ program is effective in preventing injuries in elite male basketball players: a cluster randomized controlled trial. *American Journal of Sports Medicine*, 40(5), pp. 996-1005.
- Loose, O., Achenbach, L., Fellner, B., Lehmann, J., Jansen, P., Nerlich, M., Angele, P. & Krutsch, W. (2018b). Injury prevention and return to play strategies in elite football: no consent between players and team coaches. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 138(7), pp. 985-992.
- Loose, O., Fellner, B., Lehmann, J., Achenbach, L., Gerling, S., Angele, P., Zellner, J. & Krutsch, W. (2018a). Verletzungen im bezahlten deutschen Amateurfußball - Sind Junioren mehr gefährdet? *Sports Orhopaedics and Traumatology*, 34(2), p. 167.
- Loose, O., Fellner, B., Lehmann, J., Achenbach, L., Krutsch, V., Gerling, S., Jansen, P., Angele, P., Nerlich, M. & Krutsch, W. (2019). Injury incidence in semi-professional football claims for increased need of injury prevention in elite junior football. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27(3), pp. 978-984.
- Mandelbaum, B.R., Silvers, H.J., Watanabe, D.S., Knarr, J.F., Thomas, S.D., Griffin, L.Y., Kirkendall, D.T. & Garrett, W.Jr. (2005). Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training programm in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *American Journal of Sports Medicine*, 33(7), pp. 1003-1010.
- Manske, R. & Reiman, M. (2013). Functional Performance Testing for Power and Return to Sports. *Sports Health*, 5(3), pp. 244-250.

- Martin, D., Carl, K., Lehnertz, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre. 3. unveränderte Auflage.* Schorndorf: Hofmann.
- McCall, A., Carling, C., Nedelec, M., Davison, M., Le Gall, F., Berthoin, S. & Dupont, G. (2014). Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *British Journal of Sports Medicine*, 48(18), pp. 1352-1357.
- McCormick, B. (2012). Task Complexity and Jump Landings in Injury Prevention for Basketball Players. *Strength and Conditioning*, 34(2), pp. 89-92.
- McCunn, R., Aus der Fünten, K., Fullagar, H.H., McKeown, I. & Meyer, T. (2015). Reliability and Association with Injury of Movement Screens: A Critical Review. *Journal of Sports Medicine*, 45(6), pp. 763-781.
- McGill, S.M. (2006). Fundamental Principles of Movement and Causes of Movement Error. In S. McGill, *Ultimate Back Fitness and Performance (3rd edn.)* (pp. 127-149). Waterloo: Wabuno.
- McGuigan, M. (2016). Die Evaluierung athletischer Fähigkeiten. In D. & Joyce, *Athletiktraining für sportliche Höchstleistungen* (pp. 3-16). München: riva-Verlag.
- McKay, C.D., Steffen, K., Romiti, M., Finch, C.F. & Emery, C.A. (2014). The effect of coach and player injury knowledge, attitudes and beliefs on adherence to the FIFA 11+ programme in female youth soccer. *British Journal of Sports Medicine*, 48(17), pp. 1281-1286.
- McMillan, D.J., Moore, J.H., Hatler, B.S. & Taylor, C. (2006). Dynamic vs. static-stretching warm up: The effect on power and agility performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), pp. 492-499.
- McNair, P.J., Marshall, R.N. & Matheson, J.A. (1990). Important features associated with acute anterior cruciate ligament injury. *New Zealand Medical Journal*, 103(901), pp. 537-539.

- Meyer, T., Faude, O. & aus der Fünten, K. (2014). *Sportmedizin im Fußball. Erkenntnisse aus dem Profifußball für alle Leistungsklassen*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- MFT Bodyteamwork. (2017). *Challenge-Disc.com*. Retrieved Mai 13, 2019, from <https://www.challenge-disc.com/challenge-disc-geraete/>
- Michaelidis, M. & Koumantakis, G.A. (2014). Effects of knee injury primary prevention programs on anterior cruciate ligament injury rates in female athletes in different sports: a systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 15(3), pp. 200-210.
- Miller, MG., Herniman, JJ., Ricard, MD., Cheatham CC. & Michael, TJ. (2006). The effects of a 6-week plyometric Training Programm on Agility. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5(3), pp. 459-465.
- Mizuno, Y., Kumagai, M., Mattessich, S.M., Eias, J.J., Ramrattan, N., Cosgarea, A.J. & Chao, E.Y. (2001). Q-Angle influences tibiofemoral and patellofemoral kinematics. *Journal of Orthopedic Research*, 19(5), pp. 834-840.
- Mohr, M., Krustrup, P. & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, 21(7), pp. 519-528.
- Monfort, S.M., Padareli, J.J. & Grooms, D.R. (2019). Visual-Spatial Memory Deficits are related to increased Knee Valgus Angle during a sport-specific Sidestep Cut. *American Journal of Sports Medicine*, 47(6), pp. 1488-1495.
- Moser, N. & Bloch, H. (2015). *Return-to-Competition. Testmanual zur Beurteilung der Spielfähigkeit nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes*. Hamburg: Jedermann-Verlag. Retrieved from http://www.vbg.de: http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/return_to_competition_Kreuzbandrupturen.pdf?__blob=publicationFile&v=10
- Mufty, S., Bollars, P., van Lommel, L., van Crombrugge, K., Corten, K. & Bellemans, J. (2015). Injuries in male versus female soccer players: Epidemiology of a nationwide study. *Acta orthopaedica belgica*, 81(2), pp. 289-295.

- Münch, F. (2011). Grundlagen des Functional Trainings. *Functional Training A-Lizenz*. München: Sportlerei-Akademie.
- Münch, F. (2013a). Funktionelles Krafttraining in der Sportrehabilitation. *Functional Training A-Lizenz*. München: Sportlerei-Akademie.
- Münch, F. (2013b). Grundlagen im Athletiktraining. *Functional Training A-Lizenz*. München: Sportlerei-Akademie.
- Münch, F. (2013c). Athletiktraining im Fußball. *Functional Training A-Lizenz*. München: Sportlerei-Akademie.
- Munro, A. & Herrington, L. (2011). Between session reliability of four hop tests and the agility T test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), pp. 1470-1477.
- Murphy, D.F., Connolly, D.A.J. & Beynnon, B.D. (2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 37(1), pp. 13-29.
- Myer, G.D., Ford, J.L., Brent, J.L. & Hewett, T.E. (2006). The Effect of Plyometric vs. Dynamic Stabilisation and Balance Training on Power, Balance and Landing Force in female Athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(2), pp. 345-358.
- Myer, G.D., Ford, K.R., Brent, J.L. & Hewett, T.E. (2007). Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 8(39). Retrieved November 14, 2018, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1871588/pdf/1471-2474-8-39.pdf>
- Myer, G.D., Ford, K.R., Khouri, J., Succop, P. & Hewett, T.E. (2010). Development and Validation of a clinic-based prediction tool to identify female athletes at high risk for anterior cruciate ligament injury. *American Journal of Sports Medicine* 34(2), pp. 2025-2033.
- Myer, G.D., Sugimoto, D., Thomas, S., Hewett, T.E. (2013). The influence of Age on the Effectiveness of neuromuscular Training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 41(1), pp. 203-215.

- Nielsen, A.B. & Yde, J. (1989). Epidemiology and traumatology of injuries in soccer. *American Journal of Sports Medicine*, 17(6), pp. 803-807.
- Nimphius, S. (2016). Die Erhöhung der Agilität. In D. & Joyce, *Athletiktraining für sportliche Höchstleistung* (pp. 211-225). München: riva-Verlag.
- Nimphius, S., Callaghan, S.J., Bezodis, N.-E. & Lockie, R.G. (2017). Change of Direction and Agility Tests: Challenging our current Measures of Performance. *Strength and Conditioning Journal*, 40(1), pp. 1-13.
- Noyes, F.R. & Barber-Westin, S.D. (2014). Neuromuscular retraining intervention programs: do they reduce noncontact anterior cruciate ligament injury rates in adolescent female athletes. *The Journal of arthroscopic & related surgery*, 30(2), pp. 245-255.
- Nyland, J., Brand, E. & Fisher, B. (2010). *Update on rehabilitation following ACL reconstruction*. Retrieved April 16, 2018, from Open Access Journal of Sports Medicine: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3781865/pdf/oajsm-1-151.pdf>
- Nyland, J., Caborn, D.N.M., Shapiro, R., Johnson, D.L. & Fang, H. (1999). Hamstring extensibility and transverse plane knee control relationship in athletic woman. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 7(4), pp. 257-261.
- O'Brien, J. & Finch, C. (2016). *Injury prevention exercise programmes in profession youth soccer: understanding the perceptions of programme deliverers*. Retrieved Februar 06, 2019, from BMJ Open Sport & Exercise Medicine, 2(1): <https://bmjopensem.bmj.com/content/bmjosem/2/1/e000075.full.pdf>
- O'Brien, J., Young, W. & Finch, C.F. (2017). The use and modification of injury prevention exercises by professional youth soccer teams. *Scandinavian Journal of Medicine Science and Sports*, 27(11), pp. 1337-1346.
- Olsen O.E., Myklebust, G. Engebretsen, L. & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: A systematic review. *American Journal of Sports Medicine*; 32(4), pp. 1002-1012.

- Olsen, O.E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I. & Bahr, R. (2005). *Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial*. Retrieved April 17, 2018, from British Medical Journal: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15699058>
- Olsen, O.E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2003). Relationship between floore type and risk of ACL injury in team handball. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; 13(5), pp. 299-304.
- Onate, J., Cortes, N., Welch, C. & Van Lunen, B. (2010). Experts versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. *Journal of Sport Rehabilitation*, 19(1), pp. 51-56.
- Optojump. (2014). <http://www.optojump.com/>. Retrieved Mai 13, 2019, from <http://www.optojump.com/was-ist-optojump.aspx>
- Orchard, J. Seward, H., McGivern, J. & Hood, S. (2001). Intrinsic and extreinsik risk factors for anterior cruciate ligament injury in Australien footballers. *American Journal of Sports Medicine*, 29(2), pp. 196-200.
- Padua, D., Marshall, S.W., Beutler, A.I., DeMaio, M., Onate, J.A. & Guskiewicz, K.M. (2004). Sex comparison of jump landing kinematics and technique. *Medicine Science & Sports Exercises*, 35(5), p. 348.
- Padua, D.A. & DiStefano, L.J. (2009). Sagittal Plane knee biomechanics and vertical ground reaction forces are modified following ACL injury prevention programms. A systematic review. *American Orthopaedic Society for Sports Medicine*, 1(2), pp. 165-173.
- Padua, D.A. (2012). Identification of risk factors for ACL injury and re-injury: implications for prevention and rehabilitation. *Eastern Athletic Trainers` Association 64th Annual Meeting, Lecture 12*.

- Padua, D.A., Arnold, B.L., Perrin, D.H., Gansneder, B.M., Garcia, C.R., Granata, K.P. (2006). Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *Journal of Athletik Training*, 41(3), pp. 294-304.
- Padua, D.A., Boling, M., DiStefano, L., Onate, J., Beutler, A. & Marshall, S. (2011). Reliability of the Landing Error Scoring System-real time: a clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(2), pp. 145-156.
- Padua, D.A., DiStefano, L.J., Beutler, A.I., de la Motte, S.J., DiStefano, M.J., Marshall, S.W. (2015). The Landing Error Scoring System as a Screening Tool for an Anterior Cruciate Ligament Injury-Prevention Program in Elite-Youth Soccer Athletes. *Journal of Athletic Training*, 50(6), pp. 589-595.
- Padua, D.A., DiStefano, L.J., Marshall, S.W., de la Motte, S.J. & DiStefano, M.J. (2012). Retention of Movement Pattern Changes after a Lower Extremity Injury Prevention Program is affected by Program Duration. *American Journal of Sports Medicine*, 40(2), pp. 300-306.
- Padua, D.A., Marshall, S.W., Boling, M.C., Thigpen, C.A., Garrett Jr., W.E. Beutler, A.I. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical Assessment tool of Jump-Landing Biomechanics. The Jump-ACL Study. *American Journal of Sports Medicine*, 37(10), pp. 1996-2002.
- Pagenstert, G.I. & Bachmann, M. (2008). Klinische Untersuchung bei patellofemoralen Problemen. *Orthopädie*, 37(9), pp. 890-903.
- Papst, O. (2011). Prävalenz und Prävention von Verletzungen der unteren Extremität im Profifußball. Dissertation.
- Paterno, M.V., Schmitt, L.C., Ford, K.R., Rauh, M.J., Myer, G.D., Huang, B. & Hewett, T.E. (2010). Biomechanical Measures during Landing and Postural Stability Predict Second Anterior Cruciate Ligament Injury After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Return to Sport. *American Journal of Sport Medicine*, 38(10), pp. 1968-1978.

- Patla, A.E., Adkin, A. & Ballard, T. (1999). Online steering: coordination and control of body center of mass, head and body reorientation. *Experimental Brain Research*, 129(4), pp. 629-634.
- Petersen, W. & Zantop, T. (2009). Bandverletzungen des Kniegelenks. Teil I. Das vordere Kreuzband. *Trauma und Berufskrankheit*, 11(3), pp. 296-306.
- Petersen, W., Diermeier, T. Mehl, J., Stöhr, A., Ellermann, A., Müller, P., Höher, J., Herbort, M., Akoto, R., Zantop, T., Herbst, E., Jung, T., Patt, T., Stein, T., Best, R., Stoffels, T. & Achtnich, A. (2016). *Prävention von Knieverletzungen und VKB-Rupturen. Empfehlungen des DKG Komitees Ligamentverletzungen*. Retrieved September 29, 2018, from OUP, 10: https://www.online-oup.de/media/article/2016/10/AE5F3658-37FE-477F-B644-B5155655A667_petersen_2_1_original.pdf
- Peterson, L., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T. & Dvorak, J. (2000). Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. *American Journal of Sports Medicine*, 28(5), pp. 51-57.
- Pfeiffer, R.P., Shea, K.G., Roberts, D., Grandstrand, S. & Bond, L. (2006). Lack of effect of a knee ligament injury prevention program on the incidence of noncontact anterior cruciate ligament injury. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 88(8), pp. 1769-1774.
- Platzer, W. (2009). *Taschenatlas Anatomie. Band 1 Bewegungsapparat*. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Power, K.T.D, Dunbar, G.M.J., Treasure, D.C. (2005). Differences in fitness and psychological markers as a function of playing level and position in two English Premier League football clubs. In T. C. Reilly, *Science and Football V. The proceedings of the fifth world congress on science and football* (pp. 129-133). New York: Routledge.
- Prentice, W.E. (2011). *Principles of Athletic Training. A Competency-Based Approach* (14. ed.). New York: McGraw-Hill Companies.

- Quisquater, L., Bollars, P., Van Lommel, L., Claes, S., Corten, K. & Bellemans, J. (2013). The incidence of knee and anterior cruciate ligament injuries over one decade in the Belgian Soccer League. *Acta orthopaedica Belgica*, 75(5), pp. 541-546.
- Radcliffe, J.-C., Thies, H. (2014). *Functional Training für Einsteiger*. München: riva-Verlag.
- Razali, N.M. & Wah, Y.B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), pp. 21-33.
- Read, P.J., Oliver, J.L., De Ste Croix, M.B., Myer, G.D. & Lloyd, R.S. (2016). Neuromuscular risk factors for knee and ankle ligament injuries in male youth soccer players. *Sports Medicine*, 46(8), pp. 1059-1066.
- Rehhagel, J. (2011). Entwicklung einer Testbatterie zur Diagnostik und Steuerung der Schnelligkeit im Sportspiel Fußball (veröffentlichte Dissertation). *Sporthochschule Köln*. Retrieved Dezember 19, 2017, from https://fis.dshs-koeln.de/portal/files/3257967/Diss_Rehhagel.pdf
- Reid, A., Birmingham, T.B., Stratford, P.W., Alcock, G.K. & Griffin, J.R. (2007). Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstructions. *Physical therapy*, 87(3), pp. 337-349.
- Reilly, T. (1986, 57). Fundamental studies in soccer. *Sportwissenschaft und Sportpraxis*, pp. 114-120.
- Reilly, T. (1996). Fitness Assessment. *Science and Soccer*, pp. 25-47.
- Reilly, T. (2007). *Science of Training - Soccer*. London: Routledge.
- Reilly, T., Bangsbo, J. & Franks, M. (2000). Anthropometric and Physiological Predispositions for Elite soccer. *Journal of Sports Science*, 18(9), pp. 669-683.
- Reinhold, T. (2008). *Leistungsdiagnostik im Fußball: Anforderungsprofil, Konditionstests, Diagnostik im Spitzfußball*. Saarbrücken: VDM-Verlag Müller.

- Richter, L. (2009). Funktionelle Stabilität des Kniegelenks nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes bei Fußballspielern. Eine Studie zur Entwicklung des praxisgerechten Diagnoseverfahren zur Verlaufskontrolle bewegungstherapeutischer Maßnahmen. Unveröffentlichte Diss. Fakultät der Sportwissenschaft, Leipzig.
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J.E. & Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(2), pp. 162-169.
- Risberg, M.A., Mork, M., Jenssen, H.K. & Holm, I. (2001). Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 31(11), pp. 620-663.
- Ristolainen, L., Heinonen, A., Waller, B., Kujala, U.M. & Kettunen, J.A. (2009). Gender Differences in sport injury risk and types of injuries: A retrospective twelve-month study on cross-country skiers, swimmers, long-distance runners and soccer players. *Journal of Sports Science Medicine*, 8(3), pp. 443-451.
- Roos, H., Ornell, M., Gärdsell, P., Lohmander, L.S. & Lindstrand, A. (1995). Soccer after anterior cruciate ligament injury: an incompatible combination? A national survey of incidence and risk factors and a 7-year follow-up of 310 players. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 66(2), pp. 107-112.
- Roos, K.G., Wassermann, E.B., Dalton, S.L., Gray, A., Djoko, A., Dompier, T.P. & Keer, Z.Y. (2016). Epidemiology of 3825 injuries sustained in six seasons of national collegiate athletic association men's and woman's soccer (2009/2010-2014/2015). *British Journal of Sports Medicine*, 51(13), pp. 1-8.
- Root, H., Trojan, T., Martinez, J., Kreamer, W. & DiStefano, L.J. (2015). Landing Technique and Performance in Youth Athletes after a single Injury-Prevention Program Session. *Journal of Athletic Training*, 50(11), pp. 1149-1157.

- Rusciano, A., Corradini, G. & Stoianov, I. (2017). Neuroplus biofeedback improves attention, resilience, and injury prevention in elite soccer players. *Psychophysiology*, 54(6), pp. 916-926.
- Ryan, J., DeBurca, N. & McCreesh, K. (2014). Risk factors for groin/hip injuries in field-based sports: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 48(14), pp. 1089-1096.
- Ryder, S.H., Johnson, R.J., Beynnon, B.D. & Ettlinger, C.F. (1997). Prevention of ACL Injuries. *Journal of Sport rehabilitation*, 6(2), pp. 80-96.
- Salkind, N.J. (2010). *Encyclopedia of Research Desing* (Vol.2). Los Angeles: Sage.
- Saunders, S.W., Schache, A., Rath, D. & Hodges, P.W. (2005). Changes in three dimensional lumbo-pelvic kinematics and trunk muscle activity with speed and mode of locomotion. *Clinical Biomechanics*, 20(8), pp. 784-793.
- Schlumberger, A. (2006). Sprint- und Sprungkrafttraining bei Fußballspielern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57(5), pp. 125-131.
- Schlumberger, A. (2006). Sprint- und Sprungkrafttraining bei Fußballspielern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57(5), pp. 125-131.
- Schmidler, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L. & Bühner, M. (2010). Is it really robust? *Methodology*, 6(4), pp. 147-151.
- Schmidlein, O., Kotkowski, P. & Kurz, E. (2014). Agilität: Test und Training. *Sportphysio*, 2(3), pp. 137-142.
- Schnabel, G., Harre, D. & Krug, J. . (2008). *Trainingslehre - Trainingswissenschaften. Leistung, Training, Wettkampf*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Schneider, I. (2012). Funktionelles Krafttraining in den Spielsportarten (veröffentlichte Masterarbeit). *Hochschule für Gesundheit und Sport*. Retrieved Oktober 1, 2018, from https://www.researchgate.net/publication/304482547_Funktionelles_Krafttraining_in_den_Spielsportarten

- Schneider, J., Wiegand, Y., Braumann, K.M., & Wollesen, B. (2019). Functional and Motor Deficits in Youth Soccer Athletes - An explorative, quasi-experimental Study. *German Journal of Sports Medicine*, 70(1), pp. 14-20.
- Schrey, R. & Feil, W. (2012). *Die perfekte Fußballschule. Athletik und Ernährung*. München: Südwest Verlag.
- Schwanik, C.B., Covassin, T., Stearne, D.J. & Schatz, P. (2008). The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 35(6), pp. 943-948.
- Sedlmeier, P. & Renkewitz, F. (2013). *Forschungsmethoden und Statistik. Ein Lehrbuch für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (2. aktualisierte und erweiterte Ausgabe). Halbergmoos: Pearson Deutschland GmbH.
- Shakhлина, L.J.G. (2010). *Medizinisch-biologische Grundlagen des sportlichen Trainings von Frauen*. Bonn: Sportverlag Strauß.
- Sheppard, J.M. & Young, W.B. . (2006). Agility Literature Review: Classifications, Training and Testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), pp. 919-932.
- Sheppard, J.M. (2016). Optimierung des Sprung- und Landetrainings. In D. & Joyce, *Athletiktraining für sportliche Höchstleistungen* (pp. 191-209). München: riva-Verlag.
- Shimokochi, Y. & Shultz, S.J. (2008). Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *Journal of Athletic Training*, 43(4), pp. 396-408.
- Siegler, J., Gaskill, S. & Ruby, B. (2003). Changes evaluated in soccer-specific power endurance either with or without a 10-week, in-season, intermittent, high-intensity training protocol. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(2), pp. 379-387.
- Siff, M.C. (2002). Functional Training Revisited. *Strength & Conditioning Journal*, 24 (5):, pp. 42-46.
- Sinsurin, K., Vachalathiti, R., Jalayondeja, W. & Limroongreungrat, W. (2016). Knee Muscular Control during Jump Landing in Multidirections. *Asian Journal of Sports Medicine*, 7(2), p. e31248.

- Smith, H.C., Johnson, R.J., Shultz, S.J., Torville, T., Holtermann, L.A., Sauterbeck, J., Vacek, P.M. & Beynnon, B.D. (2012). A prospective evaluation of the Landing Error Scoring System (LESS) as a screening tool for anterior cruciate ligament injury risk. *American Journal of Sports Medicine*, 40(3), pp. 521-526.
- Smith, H.C., Vacek, P., Johnson, R.J., Sauterbeck, J.R., Hashemi, J., Shultz, S. & Beynnon, B.D. (2012a). Risk factors for anterior cruciate ligament injury: a review of the literature - part 1: neuromuscular and anatomic risk. *Sports health*, 4(1), pp. 69-79.
- Smith, H.C., Vacek, P., Johnson, R.J., Sauterbeck, J.R., Hashemi, J., Shultz, S. & Beynnon, B.D. (2012b). Risk Factors for anterior cruciate ligament injury. A review of the literature - Part 2: Hormonal, Genetic, Cognitive Function, Previous Injury, and Extrinsic Risk Factors. *Sports Health*, 4(2), pp. 155-161.
- Söderman, K., Alfredson, H., Pietilä, T. & Werner, S. (2001). Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one out-door season. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9(5), pp. 313-321.
- Söderman, K., Werner, S., Pietilä, T., Engström, B. & Alfredson, H. (2000). Balance board training: Prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? a prospective randomized intervention study. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 8(6), pp. 356-363.
- Soligard, T., Myklebust, G., Steffen, K., Holme, I., Silvers, H., Bizzini, M., Junge, A., Dvorak, J., Bahr, R., & Anderson, T.E. (2009). Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *The British Medical Journal*, 338(7686), pp. 95-99.
- Soligard, T., Nilstad, A., Steffen, K., Myklebust, G., Holme, I., Dvorak, J., Bahr, R. & Andersen, T.E. (2010). Compliance with a comprehensive warm-up programme to prevent injuries in youth football. *British Journal of Sports Medicine*, 44(11), pp. 787-793.
- Spitzenpfeil, P., Kornmayer, A. & Hartmann, U. (2004). Beurteilung der koordinativen Leistungsfähigkeit im Fußball.

- Starrett, Kelly. (2016). *Werde ein geschmeidiger Leopard*. München: riva Verlag.
- Steffen, K., Bakka, H., Myklebust, G. & Bahr, R. (2008). Performance aspects of an injury prevention program: a ten-week intervention in adolescent female football players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18(5), pp. 596-604.
- Steffen, K., Emery, C.A., Romiti, M., Kang, J., Bizzini, M., Dvorak, J., Finch, C.F. & Meeuwisse, W.H. (2013). High adherence to a neuromuscular injury prevention programme (FIFA 11+) improves functional balance and reduces injury risk in Canadian youth female football players: A cluster randomized trial. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), pp. 794-802.
- Steffen, K., Pensgaard, A.M. & Bahr, R. (2009). Self-reported psychological characteristics as risk factors for injuries in female youth football. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(3), pp. 442-451.
- Steinhöfer, D. (2008). *Athletiktraining in Sportspielen. Theorie und Praxis zu Kondition, Koordination und Trainingssteuerung*. Münster: Philippka-Sportverlag.
- Steinskog, D.J., Tjøstheim, D.B. & Kvamstø, N.G. (2007). A cautionary note on the use of the Kolmogorov-Smirnov test for normality. *Monthly Weather Review*, 135(3), pp. 1151-1157.
- Stevenson, J.H., Beattie, C.S., Schwartz, J.B. & Busconi, B.D. (2014). Assessing the effectiveness of neuromuscular training programs in reducing the incidence of anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 43(2), pp. 482-490.
- Stögg, T., Stiegelbauer, R., Sageder, T. & Müller, E. (2010). Hochintensives Intervall-(HIT) und Schnelligkeitstraining im Fußball. *Leistungssport*, 40(5), pp. 43-49.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C. & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine*, 35(6), pp. 501-536.

- Strudwick, T. (2016). Einblicke des Trainers - Wie man sein Team optimal aufwärmst. In D. & Joyce, *Athletiktraining für sportliche Höchstleistungen* (pp. 131-132). München: riva-Verlag.
- Stubbe, J., van Beijsterveldt, A.-M., van der Knaap, S., Stege, J., Verhagen, E., von Mechelen, W., Backx, F.J.G. (2015). Injuries in professional male soccer players in the netherlands: A prospective cohort study. *Journal of Athletik Training*, 49(3), pp. 211-216.
- Sugimoto, D., Myer, G.D., Foss, K.D.B. & Hewett, T.E. . (2014). Dosage effects of neuromuscular training intervention to reduce anterior cruciate ligament injuries in female athletes. Meta- and sub-group analyses. *Journal of Sports Medicine*, 44(4), pp. 551-562.
- Swanik, C.B. (2015). Brains and Sprains: The Brain's Role in Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Journal of Athletic Training*, 50(10), pp. 1100-1102.
- Swanik, C.B., Covassin, T., Stearne, D.J. & Schatz, P. (2007). The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 35(6), pp. 943-948.
- Thomee, R., Kaplan, Y., Kvist, J., Myklebust, G., Risberg, M.A., Theisen, D., Tsepis, E., Werner, S., Wondrash, B. & Witvrouw, E. (2011). Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 19(11), pp. 1798-1805.
- Timmermann, A. & Steubl, D. (2009). *Rehabilitation nach Sportverletzungen. Die Einflussnahme des Physiotherapeuten durch die Anwendung alternativer Trainingsmethoden*. München: AVM - Akademische Verlagsgemeinschaft München.
- Tschan, H., Baon, R., Smekal, G. & Bachl, N. (2001). Belastungs- Beanspruchungsporfil im Fußball aus physiologischer Sicht. *Österreichisches Journal für Sportmedizin*, 1, pp. 7-18.

- Uhorchak, J.M, Scoville, C.R., Williams, G.N., Arciero, R.A., St.Pierre, P. & Tylor, D.C. (2003). Risk factors associated with noncontact injury of the anterior cruciate ligament: a prospective four-year evaluation of 859 West Point cadets., 31(6). *American Journal of Sports Medicine*, pp. 831-842.
- Váczi, M., Tollár, J., Balázs, M., Juhász, I. & Karsai I. (2013). Short-Term High Intensity Plyometric Training Program improves Strength, Power and Agility in Male Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 28(36), pp. 17-26.
- van Reijen, M., Vriend, I., van Mechelen, W., Finch, C.F. & Verhagen, E.A. (2016). Compliance with Sport Injury Prevention Interventions in Randomised Controlled Trials: A systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(8), pp. 1125-1139.
- Retrieved Januar 14, 2019, from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4963451/pdf/40279_2016_Article_470.pdf
- Verheijen, R. (Red.). (1997). *Handbuch Fußballkondition*. Leer: bfp Verlag.
- Verheijen, R. (Red.). (2000). *Handbuch Fußballkondition (1. Auflage)*. Leer: bfp-Versand.
- Verrall, G.M., Slavotinek, J.P. & Barnes, P.G. (2005). The Effect of Sport Specific Training on Reducing the Incidence of Hamstring Injuries in professional Australian Rules Football Players. *Britishh Journal of Sports Medicine*, 39(6), pp. 363-368.
- Verstegen, M. & Marcello, B. (2001). Agility and coordination. In B. Foran, *High performance sports conditioning* (pp. 139-165). Champaign: Human Kinetics.
- Verstegen, M. & Williams, P. (2006). *Core Performance. Das revolutionäre Workout Programm für Körper und Geist*. München: riva Verlag.
- Verstegen, M. & Williams, P. (2015). *Jeder Tag zählt. Einstellung - Ernährung - Beewgung - Erholung*. München: riva-Verlag.
- Verstegen, M. (2008). *Core Performance - Fußball*. München: riva Verlag.

Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG). (2017). *VBG-Sportreport - 2016. Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball & Handball*. Hamburg: Jedermann-Verlag GmbH.

Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG). (2017). *VBG-Sportreport 2017. Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball und Handball*. Hamburg: Jedermann-Verlag GmbH.

Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG). (2018). *VBG-Sportreport 2018. Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball und Handball*. Hamburg: Jedermann-Verlag GmbH.

Volpi, P., Bisciotti, G.N., Chamari, K., Cena, E., Carimati, G. & Bragazzi N.L. (2016). Risk factors of anterior cruciate ligament injury in football players: a systematic review of the literature. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal* 6(4), pp. 480-485.

Waldén, M., Atroshi, I., Magnusson, H., Wagner, P. & Hägglund, M. (2012). Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial. *British Medical Journal*, pp. 1-11. Retrieved Juni 6, 2018, from <https://www.bmjjournals.org/lookup/doi/10.1136/bmjjournals.344.e3042>.pdf

Waldén, M., Hägglund, M. & Ekstrand, J. (2006). High risk of new knee injury in elite footballers with previous anterior cruciate ligament injury. *American Journal of Sports Medicine*, 40(2), pp. 158-162.

Waldén, M., Hägglund, M., Werner, J. & Ekstrand, J. (2010). The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(1), pp. 3-10.

Waldén, M., Krosshaug, T., Bjorneboe, J., Andersen, T.E., Faul, O. & Hägglund, M. (2015). Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *British Journal of Sports Medicine*, 49(22), pp. 1452-1460.

- Walz, A. (2000). Schnelligkeitstraining - Supramaximale Geschwindigkeit. *Der Fußballtrainer*, 51(9), pp. 16-17.
- Wedderkopp, N., Kaltoft, M., Holm, R. & Froberg, K. (2003). Comparison of two intervention programmes in young female players in european handball - with and without ankle disc. *Scandinavian Journal of Medicine, Science & Sports*, 16(6), pp. 371-375.
- Weineck, J. (2004). *Optimales Fußballtraining. Das Konditionstraining des Fußballspielers* (4. Auflage). Balingen: Spitta Verlag.
- Weineck, J., Memmert, D., Uhing, M. (2012). *Optimales Konditionstraining im Fußball. Sportwissenschaftliche Grundlagen und ihre praktische Umsetzung* (1. Auflage). Balingen: Spitta-Verlag.
- White, KK., Lee, SS., Cutuk, A., Hargens, AR. & Pedowitz, RA. (2003). EMG power spectra of intercollegiate athletes and anterior cruciate ligament injury risk in females. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(3), pp. 371-376.
- Wiemann, K. & Klee, A. (2000). Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. *Leistungssport*, 30(4), pp. 5-9.
- Wienecke, Elmar. (2007). *Fit gewinnt! Ran an die Leistungsreserven von Fußballern*. Münster: Philippka Sportverlag.
- Wikstrom, E.A., Tillman, M.D., Schenker, S. & Borsa, P.A. (2008). Failed jump landing trials: deficits in neuromuscular control. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(1), pp. 55-61.
- Wikstrom, E.A., Tillmann, M.D., Chmielewski, T.L. & Borsa, P.A. (2006). Measurement and Evaluation of Dynamic Joint Stability of the knee and Ankle after Injury. *Journal of Sports Medicine*, 36(5), pp. 393-410.
- Wilke, C., Grimm, L., Hoffmann, B. & Froböse, I. (2018). Funktionelle Tests als Entscheidungskriterium für die Rückkehr von Spielsportlern nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Sportverletzung, Sportschaden*, 32(3), pp. 171-186.

- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R. & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), pp. 285-288.
- Woitys, E.M., Husten, I.J., Schock, H.J., Boylan, A.P. & Ashton-Miller, J.A. (2003). Gender differences in muscular protection of the knee in torsion in size-matched athletes. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 85(5), pp. 782-789.
- Yaggie, J.A. & Campbell, B.M. . (2006). Effects of Balance Training on Selected Skills. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(2), pp. 422-428.
- Yoshida, M., Taniguchi, K. & Katayose, M. (2011). Analysis of muscle activity and ankle joint movements during the side-hop test. *Journal of strength and conditioning research*, 25(8), pp. 2255-2264.
- Zazulak, B.T., Cholewicki, J. & Reeves, N.P. (2008). Neuromuscular Control of Trunk Stability: Clinical Implications for Sports Injury Prevention. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 16(9), pp. 497-505.
- Zazulak, B.T., Hewett, T.E., Reeves, N.P., Goldberg, B. & Cholewicki, J. (2007). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-aidemiologic study. *American Journal of Sports Medicine*, 35(7), pp. 1123-1130.
- Zazulak, B.T., Ponce, P., Straub, S.J., Medvecky, M.J., Avedisian, L., & Hewett, T.E. (2005). Gender Comparision of Hip Muscle Activity during Single-Leg-Landing. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(5), pp. 292-299.
- Zouita, B.M.A., Zouita, S., Dziri, C. & Salah, B.F.Z. (2009). Single-leg assessment of postural stability and knee functional outcome two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 52(6), pp. 475-484.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anforderungsprofil Fußball (verändert nach Bisanz & Gerisch, 2008, S.51)	8
Abbildung 2: Formen der Ausdauer (angelehnt an Eisenhut & Zintl, 2009, S.39).....	10
Abbildung 3: Strukturierung der Kraft nach Kontraktionsformen (verändert nach Steinhöfer, 2008).....	16
Abbildung 4: Schnelligkeitseinteilung (verändert nach Steinhöfer, 2008, S.173).....	21
Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Streckenlänge aller Schnelligkeitsaktionen (verändert nach Rehhagel, 2011, S.89).....	24
Abbildung 6: Beschleunigung mit Wendungen (Verheijen, 1997, S.119).....	26
Abbildung 7: Übungsform und Methodik zum Schnelligkeitsausdauertraining (Verheijen, 1997, S.121).....	27
Abbildung 8: Überblick über Beweglichkeitsaspekte im Fußball (verändert nach Reinhold, 2008, S.20).....	30
Abbildung 9: Komponenten de Agilität (modifiziert nach Verstegen & Marcello, 2001)	32
Abbildung 10: Spektrum der koordinativen Anforderungen im Fußball (Bisanz & Gerisch, 2008, S.237).....	36
Abbildung 11: Durchlaufen der Stangenzwischenräume mit kleinen, schnellen Schritten im Wechsel an jeder Stange vorwärts, rückwärts (Bisanz & Gerisch, 2008, S.241).....	40
Abbildung 12: UAP in unterschiedlichen Sportarten (Clark, Lucett & Kirkendall, 2010, S.315).....	41
Abbildung 13: Bewegungsebenen- und Achsen (Behnke, 2006, S.27)	42
Abbildung 14: Exemplarische Darstellung von dreidimensionalen Femurbewegungen bei einem (rechten) Schritt (Banzer, Pfeiffer & Vogt, 2004, S.131)	43
Abbildung 15: Graphische Darstellung der drei Gelenkachsen eines Gelenkkoordinationssystems am Beispiel des Kniegelenks (Banzer, Pfeiffer & Vogt, 2004, S.133).....	43
Abbildung 16: lateralisierte Standbeinachse (angelehnt nach Eder & Hofmann, 2016, S.29)	47
Abbildung 17: Extrinsische Risikofaktoren von Verletzungen (verändert nach Murphy, Connolly & Beynnon, 2003, S.16)	50

Abbildung 18: Inzidenz für Überlastungsschäden im Leistungsfußball (verändert nach Loose et al, 2019, S.7).....	52
Abbildung 19: Knieverletzungen und deren Häufigkeit (Bollen, 2000).....	61
Abbildung 20: Spannungszustand der Bandstrukturen des Kniegelenks abhängig von der Gelenkposition (verändert nach Platzer, 2009, S.213)	63
Abbildung 21: Non-contact-pressing mechanism (right knee) [...] (Waldén et al, 2015, S.5).	66
Abbildung 22: Neutrale Ausrichtung der Gelenke der unteren Extremität gegenüber Gelenkpositionen in Valguskollaps-Position (verändert nach Hewett et al, 2005, S.295).	67
Abbildung 23: Four step sequence of injury prevention research (Bahr & Krosshaug, 2005, S.325).....	70
Abbildung 24: Durchführung von Testungen konditioneller Grundeigenschaften (verändert nach: Gonzales-Balzar, 2007, S.41).....	71
Abbildung 25: Components of functional testing (Manske & Reinman, 2013, S.244).....	72
Abbildung 26: Optionale Agility Tests (verändert nach Moser & Bloch, 2015, S.20ff.)....	74
Abbildung 27: modifizierter SEBT (Moser & Bloch, 2015; S.11)	75
Abbildung 28: Mobilitätsanforderung im Fußball (verändert nach Burkhardt, 2012)	82
Abbildung 29: Functional Core Stability (verändert nach Huxel Bliven & Anderson, 2013, S.516).....	83
Abbildung 30: Progression eines Rumpfstabilisationstraining (verändert nach Huxel Bliven & Anderson, 2013, S.518).....	84
Abbildung 31: Speed cuts & Power cuts (verändert nach Radcliffe & Thiese, 2014, S.22)	89
Abbildung 32: Post Injury Pyramide (verändert nach Keller, Kurz & Schmidlein et al, 2015, S.141).....	91
Abbildung 33: Konzept der Gesamtstudie (eigene Darstellung)	102
Abbildung 34: Schematische Darstellung des Projektverlaufs "Verletzungsprävention im leistungsorientierten Amatuerfußball" (eigene Darstellung).....	103
Abbildung 35: Allgemeine Strategien zur Verbesserung der Verletzungsprävention (Loose et al, 2018b)	105

Abbildung 36: Gegenüberstellung der theoretischen Ansicht bzgl. Präventionstraining und der tatsächlichen praktischen Anwendung von präventiven Übungen im Trainingsalltag der befragten Trainer und Spieler (Loose et al, 2018b)	106
Abbildung 37: Exemplarischer Testaufbau der Testbatterie (eigenes Bildmaterial)	107
Abbildung 38: Exemplarische Darstellung eines Microgate OptoJump-Systems (Optojump, 2014)	108
Abbildung 39: Hardware Smartspeed (www.fusionsport.com)	109
Abbildung 40: Monitorvisualisierung und Challenge-Disc Hardware (MFT Bodyteamwork, 2017)	110
Abbildung 41: Schematischer Testaufbau DropJump mit Videoanalyse in zwei Ebenen (eigene Darstellung)	111
Abbildung 42: Testsituation DropJump "on field" (eigene Darstellung)	112
Abbildung 43: Aufteilung des Side-Hop in vier Bewegungsphasen (nach Yoshida, Taniguchi & Katayose, 2011, S.2258)	113
Abbildung 44: Schematischer Testaufbau SideHop (eigene Darstellung)	114
Abbildung 45: Testsituation SideHop 'on field'	114
Abbildung 46: Schematische Darstellung des Pro-Agility-Shuttle Testaufbau (eigene Darstellung)	116
Abbildung 47: Testsituation Pro-Agility-Shuttle beim Richtungswechsel über das linke Bein (eigenes Bildmaterial)	117
Abbildung 48: Testsituation MFT-CD on field (eigenes Bildmaterial)	119
Abbildung 49: Cover des Handout-Booklets mit Gliederung (eigenes Bildmaterial)	122
Abbildung 50: Übungsauswahl Modul I - Mobilisation (eigene Bildmaterial)	123
Abbildung 51: Übungsauswahl Modul II - Rumpfstabilisation (eigene Bildmaterial) ...	124
Abbildung 52: Modul III - Becken-Beinachsenstabilisation (eigene Bildmaterial)	125
Abbildung 53: Modul IV - Sprung- und Landetraining (eigene Bildmaterial)	125
Abbildung 54: Modul V - Agilitätstraining (eigenes Bildmaterial)	126
Abbildung 55: Darstellung der Analyse der Bewegungsqualität beim DropJump zum Item 5 & 15 aus der Frontalebene (eigene Bildmaterial)	131
Abbildung 56: Verletzungsrisiko (LESS > 5) für das rechte und linke Bein	134

Abbildung 57: Boxplot zur Überprüfung der Normalverteilung der LESS-Scorewerte für beide Testbeine	135
Abbildung 58: Streudiagramm Korrelation nach Pearson für Alter und LESS-Score (rechtes & linkes Bein)	137
Abbildung 59: Boxplot: Prüfung auf Normalverteilung des LESS	139
Abbildung 60: LESS-Gesamtscore _ Sprungentwicklung bei 5 Versuchen (li / re).....	139
Abbildung 61: LESS-Score der sagitalen Sprungebene _ Sprungentwicklung bei 5 Versuchen (links / rechts)	140
Abbildung 62: LESS-Score der frontalen Sprungebene _ Sprungentwicklung bei 5 Versuchen (links / rechts)	141
Abbildung 63: Graphische Darstellung zur Entwicklung der LESS-Werte des rechten Beines bei der Interventions- und Kontrollgruppe	165
Abbildung 64: Liniendiagramm zum Interaktionseffekt rechts zwischen IG und KG im Pre-Post-Vergleich (SPSS-Output)	166
Abbildung 65: Graphische Darstellung zur Entwicklung der LESS-Werte des linken Beines bei der Interventions- und Kontrollgruppe.....	167
Abbildung 66: Liniendiagramm zum Interaktionseffekt rechts zwischen IG und KG im Pre-Post-Vergleich (SPSS-Output)	168
Abbildung 67: Liniendiagramm zum Interaktionseffekt in der Frontalebene zwischen IG und KG im Pre-Post-Vergleich (SPSS-Output)	171

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Literaturbelege für die Untersuchungen zur Gesamlaufleistung von Fußballspielern (verändert nach Kianmarz, 2016, S.28)	12
Tabelle 2: Trainingsmethoden der azyklischen aeroben Ausdauer im Fußball (verändert nach Verheijen, 2000, S.135f).....	14
Tabelle 3: Strukturierung der Kraft (verändert nach Steinhöfer, 2008, S.81)	16
Tabelle 4: Strukturmodell des Krafttrainings im Fußball (verändert nach Bisanz & Gerisch, 2008, S.125).....	20
Tabelle 5: Teilfähigkeiten der Schnelligkeit eines Fußballspielers (verändert nach Dost et al, 2015, S.42)	22
Tabelle 6: Übersicht über die Sprintarbeit von Fußballspielern pro Distanzintervall (verändert nach Verheijen, 2000, S.24).....	23
Tabelle 7: Planung des Sprinttrainings (angepasst an Verheijen, 1997, S.122)	28
Tabelle 8: Body areas affected by traumatic injuries in salaried semiprofessional soccer (n = 996) (verändert nach Loose et al, 2018, S.8)	60
Tabelle 9: Typische Verletzungssituationen im Fußball (verändert nach VBG, 2018, S.87)	64
Tabelle 10: Richtungswechsel- und Agilitätsübungen für unterschiedliche Leistungsstufen (Nimphius, 2016, S.221)	90
Tabelle 11: Einschätzung der Verletzungsprävention durch den Athletiktrainer (verändert nach Gonzalez-Balzar, 2007, S. 91)	94
Tabelle 12: Stellung von Präventionsstrategien im bayerischen Leistungsfußball (Loose et al, 2018b, S.989).	95
Tabelle 13: Übersichtstabelle Präventionsprogramme (eigene Darstellung).....	96
Tabelle 14: Die Anzahl der Spieler je Liga und Spielposition (eigene Daten).	104
Tabelle 15: Qualitative Bewegungsmerkmale des SideHop-Tests (verändert nach Keller & Kurz et al, 2016, S.141).	115
Tabelle 16: Alter und anthropometrische Daten der Testpersonen	128
Tabelle 17: LESS-Score Auswertungstabelle (verändert nach Moser & Bloch, 2015, S. 132)	130

Tabelle 18: Kategorieneinteilung der Sprungqualität des rechten und linken Beines; N=441	133
Tabelle 19: LESS-Kategorieneinteilung in den unterschiedlichen Spielklassen für das rechte und linke Bein	134
Tabelle 20: LESS MW - Vergleich der Ligen (MW \pm SD) für beide Beine und p-Wert von Varianzanalyse & T-Test	135
Tabelle 21: ANOVA: Zusammenhang von Risikoathleten (LESS-Score > 5) des rechten Beines und schlechter Bewegungsqualität in der Sagittalebene (Item 1,12,13,14,16), in der lateralen Rumpfstabilität (Item 6) sowie im Gesamteindruck (Item 17)	138
Tabelle 22: ANOVA: Zusammenhang von Risikoathleten (LESS-Score > 5) des linken Beines und schlechter Bewegungsqualität des initialen Knievalgus (Item 5), in der Sagittalebene (Item 12,13,14,16), in der lateralen Rumpfstabilität (Item 6) sowie im Gesamteindruck (Item 17)	138
Tabelle 23: Angegebene Vorverletzungen der teilnehmenden Stichprobe	148
Tabelle 24: LESS-Vergleich von Spielern mit Vorverletzungen mit dem LESS-Testwert 5	149
Tabelle 25: Verletzungshäufigkeiten nach dem Screeningtest 2015/16	155
Tabelle 26: LESS-MW Vergleich, abhängig von der Folgeverletzung	156
Tabelle 27: LESS-Scores in Verbindung mit Folgeverletzungen	156
Tabelle 28: Pre-, Posttest-Vergleich bei N = 182, bezogen auf die Items der sagittalen und der frontalen Ebene für beide Beine	169
Tabelle 29: Interventionseffekt auf die Items der sagittalen und frontalen Ebene beider Beine bei der IG	170
Tabelle 30: Pre-, Posttest-Vergleich der Items der sagittalen und frontalen Ebene beider Beine bei der KG	170
Tabelle 31: LESS-Mittelwertvergleich Pre- & Posttest im Teamdurschnitt (Differenz in Klammer)	172
Tabelle 32: LESS-Score - Pre-Postvergleich der Spieler mit hohem und geringen Verletzungsrisiko für das rechte Bein	174

Tabelle 33: LESS-Score - Pre-Postvergleich der Spieler mit hohem und geringen Verletzungsrisiko für das linke Bein.....	174
Tabelle 34: Vergleich der Verletzungsdaten von IG & KG in der Saison 2015/16.....	175
Tabelle 35: Vergleich der Verletzungsdaten von IG & KG in der Saison 2016/17.....	176
Tabelle 36: Vergleich der Verletzungsdaten von IG & KG über den gesamten Beobachtungszeitraum	177

Eidesstattliche Erklärung

Name/Anschrift

Birgit Fellner
Lotte-Branz-Str. 44
93055 Regensburg

Ehrenwörtliche Erklärung zu meiner Dissertation mit dem Titel: „Verletzungsprävention im leistungsorientierten Amateurfußball“

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Textpassagen, Daten, Bilder oder Grafiken sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungsbeziehungsweise Beratungsdiensten (Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere an Eides Statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Vor Aufnahme der obigen Versicherung an Eides Statt wurde ich über die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung belehrt.

Ort, Datum

Unterschrift

Unterschrift des die Versicherung an Eides Statt aufnehmenden Beamten

Anhang

Alle aufgeführten Anhänge sind auf dem beigefügten externen DVD-Datenträger einzusehen.

Anhang A: Studieninformationsschreiben für die Vereine

Anhang B: Trainerfragebogen zur Verletzungsprävention

Anhang C: Spielerfragebogen zur Verletzungsprävention

Anhang D: Pre-Test Check-Up-Fragebogen

Anhang E: Einverständniserklärung

Anhang F: Dokumentationsvorlage zur Verletzungsanalyse

Anhang G: Poster Präventionsprogramm

Anhang H: veröffentlichtes Booklet Präventionsprogramm

Anhang I: DVD Präventionsprogramm

Anhang J: Gesamtauswertung DropJump

Anhang K: Mittelwerte des LESS-Scores aller teilnehmenden Team