

AUS DEM LEHRSTUHL FÜR UNFALLCHIRURGIE

DIREKTOR: PROF. DR. DR. VOLKER ALT

DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN

DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Return to Play nach schweren Knieverletzungen
im Amateurfußball**

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizin

der

Fakultät für Medizin

der Universität Regensburg

vorgelegt von

Bianca Köppl

2025

AUS DEM LEHRSTUHL UNFALLCHIRURGIE

DIREKTOR: PROF. DR. DR. VOLKER ALT

DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN

DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Return to Play nach schweren Knieverletzungen
im Amateurfußball**

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizin

der

Fakultät für Medizin

der Universität Regensburg

vorgelegt von

Bianca Köppl

2025

Dekan:

Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. Werner Krutsch

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Johannes Bründl

Tag der mündlichen Prüfung

04.11.2025

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
Summary	7
1 Einleitung	10
1.1 Knieverletzungen im Fußball.....	10
1.1.1 Ruptur des vorderen Kreuzbandes.....	10
1.1.2 Ruptur des hinteren Kreuzbandes.....	12
1.2 Return to play (RTP)	12
1.2.1 RTP nach VKB-Ruptur	12
1.2.2 RTP nach HKB-Ruptur	14
1.3 Testprotokolle nach schweren Knieverletzungen.....	15
1.3.1 Back in Action - Testbatterie.....	15
1.3.2 Delaware - Oslo ACL Cohort Study.....	16
2 Fragestellung	17
3 Methodik	18
3.1 Studiendesign und Studienpopulation.....	18
3.2 Fragebogenkatalog zur Verlaufsdokumentation	20
3.2.1 International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form ...	20
3.2.2 Modifizierter Lysholm Knee Score	21
3.2.3 Modified Cincinnati Knee Rating System	22
3.2.4 Anterior Cruciate Ligament - Return to Sport after Injury Scale	22
3.2.5 12-Item Short Form Health Survey	23
3.3 RTP-Testbatterie nach schweren Knieverletzungen.....	24
3.3.1 Erhebung von Teilnehmerdaten, Aktivitätsniveau und Muskelumfängen	25
3.3.2 Einbeiniger Balance-Test	26
3.3.3 Tapping-Test	27

3.3.4	Beidbeiniger Drop Jump	29
3.3.5	Einbeiniger Hop for Distance	30
3.3.6	Einbeiniger Side Hop Test	32
3.3.7	Lateral Speed Chase	34
3.3.8	Kraftmessung	37
3.3.9	Limb Symmetry Index	39
3.3.10	Return-to-play-Kriterien	40
3.4	Leistungsdaten zu Saisonbeginn vor der Verletzung	41
4	Ergebnisse	42
4.1	Auswertung des Fragebogenkatalogs	42
4.1.1	Teilnahme am Fragebogenkatalog	42
4.1.2	Resultate der Funktions- und Symptomfragebögen	43
4.1.3	Psychologischer Faktor der Rehabilitation	46
4.1.4	Körperliche und mentale Gesundheit	47
4.2	Auswertung der RTP-Testbatterie	49
4.2.1	Beschwerdebild sowie Aktivitätsniveau am RTP-Testtag	49
4.2.2	Ergebnisse der einzelnen Sporttests der RTP-Testbatterie	51
4.2.3	Return-to-play-Score	61
4.3	Return to play und 5-Jahres-Follow-Up	63
4.4	Vergleich mit Vorverletzungstest	65
5	Diskussion	67
5.1	Beurteilung des Fragebogenkatalogs	68
5.1.1	Entwicklung der subjektiven Kniefunktion im Rehabilitationsverlauf	68
5.1.2	Psychologische Bereitschaft und ihre Bedeutung für das RTP	69
5.2	Bewertung der RTP-Testbatterie	70
5.2.1	Aussagekraft und Vergleich der RTP-Testbatterie	70

5.2.2	Differenzierte Sprunganalyse in der RTP-Testung.....	73
5.2.3	Spezifische RTP-Tests anhand des fußballerischen Leistungsprofils.....	74
5.2.4	Kraftdefizite als persistierende Herausforderung	76
5.2.5	Spielklassenabhängige Unterschiede in der RTP-Testung	78
5.3	Vergleich der Vor-Verletzungs- und RTP-Ergebnisse.....	79
5.4	Stärken und Limitationen des Studiendesigns	80
5.4.1	Umfang sowie Verlaufsdokumentation des Fragebogenkatalogs	80
5.4.2	Herausforderungen der RTP-Testung	81
5.4.3	Kritik am LSI-Wert in der RTP-Analyse	81
5.4.4	Potenzial der Subgruppenanalyse im Amateurfußball	82
5.5	Fazit	83
6	Literaturverzeichnis.....	84
7	Abkürzungsverzeichnis.....	98
8	Eidesstattliche Erklärung zur Dissertation	100

Zusammenfassung

Hintergrund: Kreuzbandrupturen stellen im Fußball schwerwiegende Verletzungen dar, welche unter anderem mit einer langen Rehabilitationsphase, Einschränkung des Leistungsniveaus sowie erhöhtem Risiko für zukünftige Verletzungen einhergehen. Der Zeitpunkt zur Rückkehr zum Sport (RTP) gilt als wichtige Entscheidung über die sportliche Zukunft des Fußballers. Insbesondere im Amateurbereich fehlen hierzu Entscheidungshilfen.

Methodik: Insgesamt nahmen 38 männliche Fußballspieler aus den höchsten, bayerischen Amateurligen (Regionalliga Bayern, Bayernligen Nord und Süd, Landesligen Nordwest, Nordost, Südwest, Südost und Mitte) mit vorderer oder hinterer Kreuzbandruptur während der Saisons 2014/15 – 2015/16 an der Studie teil. Es erfolgte die mehrfache Abfrage eines Fragenbogenkatalogs zu festgelegten Zeitpunkten. Der Fragebogenkatalog beinhaltete den International Knee Documentation Committee Score (IKDC), den modifizierten Lysholm Knee Score (mLKS), den Modified Cincinnati Knee Rating System (mCKRS), die Anterior Cruciate Ligament – Return to Sport after Injury Scale (ACL-RSI) und den 12-Item Short Form Health Survey (SF-12). Zudem absolvierten 30 Teilnehmer die Return-to-play-Testbatterie nach mindestens sechs Monaten nach der Verletzung bzw. operativen Versorgung. Die Sporttestung bestand aus sieben spezifischen Übungen, dem einbeinigen Balance-Test (1BT), dem Tapping-Test (TT), dem zweibeinigen Drop Jump (2DJ), dem einbeinigen Hop for Distance (HFD), dem einbeinigen Side Hop Test (SHT), dem Lateral Speed Chase (LSC) sowie einer isokinetischen Kraftmessung des M. quadriceps und der ischiokruralen Muskulatur.

Ergebnisse: Anhand der erhobenen physischen Fragebögen konnte über einen Zeitraum von zwölf Monaten eine zunehmende Verbesserung der Kniefunktion und der damit verbundenen Beschwerden der gesamten Studienpopulation festgestellt werden. Der durchschnittliche IKDC-Score aller Teilnehmenden stieg von 64,4 zu Beginn der Erhebung (m0) auf 87,0 nach zwölf Monaten (m12). Im Gegensatz dazu zeigte die psychologische Komponente im Verlauf der Rehabilitation eine

schwankende Entwicklung mit einer zunehmenden positiven Anpassung (ACL-RSI: m0 = 72,4; m6 = 64,0; m12 = 75,1).

Der durchschnittliche RTP-Score betrug 2,4 (SD 1,5). Die RTP-Kriterien wurden am häufigsten in den Sporttests TT und 2DJ erfüllt, während die Teilnehmenden insbesondere Defizite in der Messung der Extensions- und Flexionskraft aufwiesen. Vier von 30 Testteilnehmern erfüllten alle RTP-Kriterien zum Zeitpunkt des Tests, im Durchschnitt 8,2 Monate nach der Verletzung oder Operation. Insgesamt kehrten 89,5 % der Teilnehmenden zum Sport zurück, wobei eine kürzere RTP-Dauer mit besseren RTP-Scores assoziiert war. Allerdings erlitten 38,7 % der Teilnehmenden eine weitere schwere Knieverletzung. Zudem reduzierte die Mehrheit entweder ihr Spielniveau (41,9 %) oder beendete ihre fußballerische Karriere vollständig (38,7 %) im Laufe der folgenden fünf Jahre nach der Verletzung.

Schlussfolgerungen: Die Studie zeigt vielversprechende Ansätze durch die umfassende Erhebung gesundheitsbezogener, körperlicher und psychischer Faktoren von Fußballspielern nach schweren Knieverletzungen wie einer VKB- oder HKB-Ruptur und ermöglicht eine detaillierte Verlaufsdokumentation. Die aktuelle Testbatterie wie auch vorhandene Testkonzepte zum RTP nach Knieverletzungen leiden jedoch unter eingeschränkter Vorhersagekraft zur Bestimmung des optimalen Zeitpunktes des RTP. Eine kritische Auseinandersetzung mit der begrenzten Vorhersagekraft bestehender RTP-Tests und das hohe Rerupturrisiko verlangen nach der Entwicklung eines multifaktoriellen und aussagekräftigeren RTP-Testkonzepts, das die komplexen Anforderungen des Fußballs berücksichtigt und langfristige Folgen von Kreuzbandverletzungen adäquat einbezieht.

Summary

Background: Rupture of cruciate ligaments are serious injuries in soccer, associated with long rehabilitation periods, decreased performance levels, and an increased risk of future injuries. The timing of return to play (RTP) is considered a crucial decision affecting the athlete's future in soccer. Particularly in the amateur domain, there is a lack of decision-making aids.

Methodology: A total of 38 male soccer players from the highest Bavarian amateur leagues (Regionalliga Bayern, Bayernligen Nord und Süd, Landesligen Nordwest, Nordost, Südwest, Südost and Mitte) with either anterior or posterior cruciate ligament ruptures during the seasons 2014/15 – 2015/16 participated in the study. A catalogue of questionnaires was asked several times at predetermined intervals. The questionnaire included the International Knee Documentation Committee Score (IKDC), the Modified Lysholm Knee Score (mLKS), the Modified Cincinnati Knee Rating System (mCKRS), the Anterior Cruciate Ligament – Return to Sport after Injury Scale (ACL-RSI), and the 12-Item Short Form Health Survey (SF-12). Additionally, 30 participants underwent the return-to-play test battery at least six months after injury or surgery. The sports testing consisted of seven specific exercises: the single-leg balance test (1BT), the tapping test (TT), the double-legged drop jump (2DJ), the single-leg hop for distance (HFD), the single-leg side hop test (SHT), the Lateral Speed Chase (LSC), and an isokinetic strength measurement of the quadriceps and hamstring muscles.

Results: Based on the physical questionnaires, an increasing improvement in knee function and the associated symptoms was observed in the entire study population over a period of twelve months. The average IKDC score of all participants rose from 64.4 at the beginning of the survey (m0) to 87.0 after twelve months (m12). In contrast, the psychological component showed a fluctuating development over the course of rehabilitation with an increasing positive adjustment (ACL-RSI: m0 = 72.4; m6 = 64.0; m12 = 75.1).

The average RTP-score was 2.4 (SD 1.5). The RTP criteria for the TT and 2DJ sports tests were most frequently fulfilled, whereas the participants showed the greatest deficits in the measurement of extension and flexion strength. Four out of 30 test participants met all RTP criteria at the time of testing, on average 8.2 months after injury or surgery. Overall, 89.5% of participants returned to sport, with shorter RTP time associated with better RTP scores. However, 38.7% of the participants suffered another serious knee injury. In addition, the majority either reduced their level of play (41.9%) or ended their soccer career completely (38.7%) over the following five years after the injury.

Conclusions: The study shows promising approaches by comprehensively recording health-related, physical and psychological factors of football players after serious knee injuries such as ACL or PCL rupture, allowing detailed documentation of progress. However, the current test battery as well as existing test concepts for RTP after knee injuries suffer from limited predictive power for determining the optimal time of RTP. A critical review of the limited predictive power of existing RTP tests and the high risk of re-rupture calls for the development of a multifactorial and more meaningful RTP test concept that considers the complex demands of football and adequately incorporates the long-term consequences of ACL injuries.

1 Einleitung

1.1 Knieverletzungen im Fußball

Fußball ist eine der beliebtesten Sportarten weltweit (Dvorak et al. 2000). Neben körperlicher Fitness, Kraft und Schnelligkeit benötigen die Sportler spielspezifische Fertigkeiten, wie Ballkontrolle, Dribblings, Torabschlüsse als auch eine Spielübersicht. Während eines 90-minütigen Spieles wird der Sportler auf unterschiedliche Weisen gefordert. Durch kurze, intensive Phasen mit Sprints, Tacklings, Tempo- und Richtungswechseln, aber auch ruhigeren Abschnitten ist der Leistungsanspruch an einen Fußballer sehr hoch (Reilly et al. 2000, Stølen et al. 2005, Barnes et al. 2014). Für den sportlichen Erfolg einer Mannschaft spielen sowohl die individuelle Leistung des Fußballers als auch die Zusammenarbeit im Team eine wichtige Rolle, wobei Verletzungen die Teamperformance sowie den Mannschaftserfolg beeinflussen können (Eirale et al. 2013, Häggglund et al. 2013). Wie bei jeder anderen Sportart ist das Fußballspielen auch mit einem Verletzungsrisiko verknüpft. Ein Profifußballer der 1. oder 2. Bundesliga in Deutschland erleidet durchschnittlich 2,46 Verletzungen pro Saison, vor allem an der unteren Extremität. Die verletzungsreichste Körperregion stellt dabei der Oberschenkel mit 25,0% aller Verletzungen dar. Mit 15,2% ist das Kniegelenk die 2. häufigste Lokalisation von Verletzungen (Klein et al. 2022). In der Saison 2019/2020 ergab sich eine mittlere Ausfallzeit von 12,7 Tagen bis zur Rückkehr ins Training pro Verletzung für Profifußballer der 1. und 2. Bundesliga (Klein et al. 2022). Knieverletzungen sind häufig verantwortlich für längere Ausfallzeiten von über vier Wochen (Faude et al. 2009). Art und Ausmaß der Knieverletzungen können stark variieren. Man unterscheidet im klinischen Alltag insbesondere zwischen Frakturen im Kniebereich sowie Band- und Meniskusverletzungen, wobei eine besondere Rolle den Kreuzbandverletzungen zukommt.

1.1.1 Ruptur des vorderen Kreuzbandes

Das vordere Kreuzband (VKB) ist entscheidend für die Funktion des Kniegelenkes. Hierbei fungiert das VKB insbesondere als Stabilisator der Tibia gegen die anteriore Translation. In Zusammenarbeit mit dem konträr verlaufenden hinteren Kreuzband (HKB) besteht zudem eine Rotationsstabilität im Kniegelenk. Durch zahlreiche

Mechanorezeptoren stellt das VKB außerdem einen wichtigen Faktor in der Kinematik und Propriozeption des Kniegelenkes dar (Petersen et Tillmann 2002).

Obwohl VKB-Rupturen in den deutschen Profiligen mit einem Anteil von 0,5% aller Verletzungen in der Saison 2016/17 selten waren, stellen sie aufgrund der langen Ausfallzeit sowie aufwendigen Rehabilitation für jeden Fußballer eine katastrophale Diagnose dar (Luig et al. 2018). Im akuten Zustand äußert sich eine VKB-Ruptur meist mit Stabilitätsverlust, Funktionseinschränkung des Kniegelenkes sowie typischen Verletzungsbeschwerden wie Schmerzen und Schwellung. Daneben können VKB-Rupturen aber auch langfristige Auswirkungen für den Sportler haben. Hierbei stehen vor allem das erhöhte Risiko einer weiteren Knieverletzung wie auch die Entwicklung einer Gonarthrose im Fokus (Drawer et Fuller 2001, Waldén et al. 2006, Koch et al. 2021). Weiterhin konnten körperliche Beeinträchtigungen, insbesondere infolge von Knie- oder Knöchelverletzungen, als häufigster Grund für die Beendigung einer Profikarriere im Fußball festgestellt werden (Koch et al. 2021). Mehrere Spielsituationen konnten im Fußball bereits als risikoreich für eine VKB-Ruptur identifiziert werden. Vor allem Situationen ohne bzw. mit indirektem Kontakt führten im italienischen Profifußball zu VKB-Rupturen (Della Villa et al. 2020). Auch im deutschen Profifußball waren 48% der VKB-Rupturen im Zeitrahmen von 2014-2017 durch einen indirekten Kontakt sowie 28% ohne Gegnerkontakt verursacht (Luig et al. 2018). Als häufige Spielsituationen wurden Verdrehungen des Kniegelenkes nach Kollisionen mit dem Gegenspieler, Landungen nach einem Kopfball oder Sprung, Richtungswechsel sowie Bewegungen während des Pressings oder Tackling wie Grätschen und Ausfallschritte benannt (Waldén et al. 2015, Luig et al. 2018, Della Villa et al. 2020). Vorherrschendes Verletzungsmuster stellte dabei eine erhöhte Valgusbelastung auf das Kniegelenk dar (Della Villa et al. 2020). Nur knapp 30% der VKB-Rupturen in den deutschen Profiligen in der Saison 2016/17 lagen als isolierter Verletzung vor. Bei ungefähr 70% der VKB-Rupturen wurde zudem eine Begleitverletzung, wie eine Meniskusläsion, eine Seitenbandverletzung oder beides, festgestellt (Luig et al. 2018).

Unabhängig von den Begleitverletzungen ist die Wiederherstellung der Kniestabilität sowie -funktion für die Rückkehr zum Fußball, zum ursprünglichen Spielniveau und zur Vermeidung von weiteren Verletzungen sowie Folgeschäden wie Arthrose entscheidend (Sanders et al. 2016). Die Therapie der Wahl stellt nach wie vor die

VKB-Rekonstruktion mit einem autologen Sehnentransplantat dar (Petersen et al. 2013, Waldén et al. 2016).

1.1.2 Ruptur des hinteren Kreuzbandes

Das hintere Kreuzband (HKB) wird beim Sport deutlich seltener verletzt als das VKB. Laut der 10-Jahres-Studie von Majewski et al. lag der Anteil an VKB-Rupturen bei über 20% der Knieverletzungen, während HKB-Läsionen nur 0,65% betrugten (Majewski et al. 2006). Verkehrsunfällen sind für fast die Hälfte aller HKB-Rupturen ursächlich. Etwa 40% der HKB-Rupturen sind sportbedingt, von denen wiederum ca. 25% auf Fußball zurückzuführen sind (Schulz et al. 2003). Als ursächlich wird eine nach hinten gerichtete Kraft auf das gebeugte Knie wie beispielsweise ein direkter Anprall des Gegners in Kontaktsportarten oder eine sogenannte „Dashboard-Verletzung“ bei Autounfällen beschrieben (Schüttler et al. 2017). Klinisch äußert sich eine HKB-Ruptur meist durch eine schmerzhafte, insuffiziente Knieflexion, Hämatome, Schmerzen in der Kniekehle sowie Kontusionen an der proximalen Tibia, selten werden Stabilitätseinschränkungen beschrieben (Schüttler et al. 2017). Die Therapie einer HKB-Ruptur kann sowohl konservativ als auch operativ erfolgen und ist abhängig von möglichen Begleitverletzungen, der klinischen Einschränkung als auch einem chronischen Verlauf. Grundsätzliches Ziel der HKB-Therapie stellt wie bereits bei der VKB-Ruptur die Wiederherstellung der Stabilität und Funktion des Kniegelenkes dar (Schüttler et al. 2017).

1.2 Return to play (RTP)

Nach einer Sportverletzung lautet die erste Frage der meisten Athleten: „Wann kann ich wieder am Sport teilnehmen?“ (Ardern et al 2016). Die Antwort hierauf ist komplex, da der Zeitpunkt für die Rückkehr zum Training oder zum Wettkampf, auch bekannt als Return to play (RTP) von verschiedenen Faktoren wie Verletzungsart, beteiligten Strukturen, Schweregrad und der individuellen Genesung sowie Rehabilitation abhängt.

1.2.1 RTP nach VKB-Ruptur

In den Medien wird häufig eine Ausfallzeit nach einer VKB-Ruptur von etwa sechs Monaten angegeben (Grillenberger 2018, Epp et Mayer 2022). Laut Kvist können

Patienten normalerweise ab zwei bis drei Monaten nach einer VKB-Rekonstruktion wieder leichten Sport betreiben und nach sechs Monaten zu Sportarten mit Schnitt- und Sprungbewegungen zurückkehren (Kvist 2004). Diese allgemeine Aussage trifft jedoch keine Einschätzung darüber, inwiefern die individuelle Bereitschaft des Sportlers zur Rückkehr auf den Fußballplatz auch vorhanden ist.

Nach einer VKB-Rekonstruktion befindet sich das Sehnen transplantat zunächst in einem Umbauprozess, der bis zu zwei Jahre dauern kann (Janssen et al. 2011). Eine zweijährige Pause vom Sport ist für die meisten Fußballer undenkbar. Es könnte schlichtweg das Karriereende für den betroffenen Spieler bedeuten. Aus diesem Grund muss das Knie zum Zeitpunkt des RTP muskulär-funktionell stabilisiert sein, um das VKB-Transplantat in seiner Funktion zu unterstützen und eine Reruptur zu vermeiden (Petersen et al. 2018). Hierbei ist die hohe Rate an Rerupturen nach einer VKB-Verletzung zu beachten. Vor allem in den ersten beiden Jahren nach der VKB-Rekonstruktion liegt die Inzidenz einer weiteren VKB-Ruptur fast sechsmal höher als in einer gesunden Vergleichsgruppe (Paterno et al. 2014, Sandon et al. 2020).

Die durchschnittliche Zeit zur Rückkehr zum Training und zum Spiel betrug für Profifußballer in Europa laut Waldén et al. 6,6 bzw. 7,4 Monate (Waldén et al. 2016). In der Major League Soccer (USA) benötigten die Fußballer $10 \pm 2,8$ Monaten für die sportliche Rückkehr (Erickson et al. 2013). Eine Analyse in den deutschen Fußball-Bundesligen ergab eine mittlere RTP-Zeit bis zum Mannschaftstraining von 241 Tagen bei isolierter VKB-Ruptur. Bei Begleitverletzungen verlängerte sich die Ausfallzeit in Abhängigkeit von den verletzten Strukturen (Luig et al. 2018).

Die Rückkehr zum Sport ist jedoch nicht für alle Fußballer von Erfolg geprägt. Ardern et al. berichteten von einer RTP-Quote bei Studienteilnehmer aus diversen Sportarten von 81%, wobei 65% zu ihrem Vor-Verletzungs-Niveau zurückkehrten und lediglich 55% auf Wettbewerbsniveau in ihrer Sportart erneut teilnahmen (Ardern et al. 2014). In der Sportart Fußball wurden RTP-Raten zwischen 72% und 98% beschrieben (Brophy et al. 2012, Erickson et al. 2013, Zaffagnini et al. 2014, Waldén et al. 2016, Krusch et al. 2019, Manojlovic et al. 2024). Im Laufe der Zeit sinkt die Teilnahme am Fußballspiel bei den VKB-Verletzten ab. In der Arbeit von Waldén et al. spielten über 90% der Befragten nach einem Jahr wieder Fußball, während nach drei Jahren nur noch 65% auf höchstem Niveau aktiv waren (Waldén et al. 2016). Auch bei Brophy et al. schafften zu Beginn der Studie 72% der Teilnehmer ihr RTP,

nach durchschnittlich sieben Jahren nach VKB-Rekonstruktion spielte nur noch die Hälfte der damaligen Sportrückkehrer (36% der Gesamtteilnehmer) noch Fußball (Brophy et al. 2012). Auch in der deutschen Bundesliga konnte Krutsch et al. diesen Verlauf bestätigen, so feierten 98% der Fußballer ihr Comeback nach VKB-Ruptur, während nach drei Jahren lediglich 55% der Teilnehmer noch in derselben Liga aktiv waren (Krutsch et al. 2019).

Zusammenfassend bedeutet eine VKB-Ruptur eine lange Ausfallzeit, ein erhöhtes Verletzungsrisiko sowie einen möglichen Abfall des Spielniveaus bis hin zum Karriereende für einen Fußballer. Der individuelle Zeitpunkt für das RTP sollte demzufolge sorgfältig gewählt werden, um Risiken zu minimieren und eine optimale sportliche Zukunft zu gewährleisten.

1.2.2 RTP nach HKB-Ruptur

In der Literatur finden sich nur begrenzt Berichte zum fußballspezifischen RTP nach HKB-Rupturen, weshalb im Folgenden auf die allgemeine Rückkehr zur sportlichen Aktivität nach einer HKB-Ruptur eingegangen wird.

Bei konservativer Therapie konnte eine durchschnittliche Rückkehr ins sportartenspezifische Training und in den Wettbewerbssport nach 10,6 bzw. 16,4 Wochen erreicht werden (Agolley et al. 2017). Über 90% der Studienteilnehmer konnten zwei Jahre nach der Verletzung ihren Sport (Rugby, Fußball und andere Sportarten) auf demselben oder sogar einem höheren Niveau ausüben. Auch nach fünf Jahren nach der Verletzung konnten immer noch knapp 70% ihr Sportniveau halten oder steigern, über 80% nahmen weiterhin an Wettbewerben teil (Agolley et al. 2017). Nach operativer Behandlung der HKB-Ruptur konnten 87% der zuvor sportbetreibenden Patienten wieder am Sport aktiv teilnehmen. Allerdings wechselte über ein Drittel der Teilnehmer von Ahrend et al. die Hauptsportart nach der Verletzung und das Aktivitätsniveau wurde insgesamt reduziert. Insbesondere im Fußball nahm der Anteil der aktiven Spieler nach der Verletzung um 69% ab. Auch andere Sportarten mit Schnitt- und Drehbewegungen des Kniegelenkes wie Handball, Basketball und Tennis wurden von einem Großteil der zuvor aktiven Sportler aufgegeben, während Low-Impact-Sportarten wie Nordic Walking, Fitness und Gymnastik einen Zuwachs verzeichneten (Ahrend et al. 2016). Sowohl nach operativer als auch konservativer Behandlung der HKB-Ruptur ist eine Rückkehr zum Sport möglich.

1.3 Testprotokolle nach schweren Knieverletzungen

Die Entscheidung über den Zeitpunkt zur Rückkehr eines Sportlers zum Fußball nach einer Kreuzband-Verletzung stellt eine herausfordernde Aufgabe für Ärzte, Trainer und die Sportler selbst dar (Zaffagnini et al. 2015). Es finden sich unterschiedliche Ansätze zur Bewertung des RTP. Über mehrere Jahrzehnte hinweg galt die Rehabilitationszeit als entscheidendes Kriterium. In der Übersichtsarbeit von Burgi et al. stellte die Rehabilitationszeit mit einem Vorkommen von 85% in über 200 eingeschlossenen Studien das mit Abstand am häufigsten verwendete RTP-Kriterium dar. In 42% der Studien war sie sogar der einzige maßgebliche Faktor für die Freigabe zum RTP (Burgi et al. 2019). Seit den 90er Jahren wurden klinische Untersuchungen, Kraft- und Sprungtests sowie Patientenberichte in die RTP-Bewertung integriert (Burgi et al. 2019). Verschiedene Konzepte wurden entwickelt, die neben dem zeitlichen Aspekt auch subjektive und objektive Kriterien wie Selbsteinschätzungsfragebögen als auch Funktions-, Sprung- und Krafttests in die Entscheidungsfindung einbeziehen (Gustavsson et al. 2006, Neeter et al. 2006, Herbst et al. 2015, Hildebrandt et al. 2015, Grindem et al. 2016, Kyritsis et al. 2016, Gokeler et al. 2017, Toole et al. 2017). Die Testprotokolle, beispielsweise die „Back in Action“-Testbatterie oder „Delaware - Oslo ACL Cohort Study“, variieren im Aufbau, Testzeitpunkt und in der Bewertungsskala.

1.3.1 Back in Action - Testbatterie

Die Testbatterie „Back in Action“ wurde in der Pilot-Studie von Herbst et al. zur Beurteilung der funktionellen Eigenschaften nach einer VKB-Rekonstruktion herangezogen. Mithilfe von sieben Sporttests wurden die neuromuskulären und koordinativen Fähigkeiten geprüft. Die Ergebnisse wurden in fünf Kategorien unter Berücksichtigung des Alters und Geschlechts anhand der Daten von über 400 gesunden Probanden eingeordnet (Herbst et al. 2015, Hildebrandt et al. 2015). Ziel war es, eine sichere Rückkehr zum Sport zu gewährleisten. Um diesen Anspruch gerecht zu werden, sollte ein Sportler mindestens „normal“ in allen Tests erreichen. Bei Wettbewerbssportarten mit einem hohen Risiko wie Fußball oder Ski alpin musste der Wert „gut“ in allen Bereichen erzielt werden. Zusätzlich wurde der Limb Symmetry Index (LSI) für die Bestimmung des Zeitpunktes des Return to sports (RTS), Synonym für RTP, verwendet. Hierfür war ein LSI-Wert von über 90% bei

betroffenem dominantem Bein bzw. von über 80% bei Verletzung des nicht-dominanten Beines entscheidend. Bei der ersten Testung, etwa 5,6 Monaten nach der VKB-Rekonstruktion, erfüllten nur elf von 69 Teilnehmern (15,9%) die RTS-Kriterien. Keiner der Sportler schaffte zu diesem Zeitpunkt die Voraussetzungen zur Wettbewerbs-Rückkehr. Auch bei der zweiten Testung, nach etwa acht Monate nach der Operation, wurden lediglich zwölf Teilnehmer (17,4%) für die Rückkehr zum Sport als bereit erklärt, wobei ein Sportler die Kriterien zur Rückkehr zum Wettbewerbssport erzielte. Vor allem der LSI stellte bei beiden Testzeitpunkten den limitierenden Faktor dar. In der Studie sind keine Langzeitergebnisse zu erneuten Verletzungen der Teilnehmer vorhanden (Herbst et al. 2015).

1.3.2 Delaware - Oslo ACL Cohort Study

Die Delaware-Oslo-Studie ermittelte die RTS-Fähigkeit aus fünf Sporttestungen und zwei Fragebögen zur Selbsteinschätzung. Für die Rückkehr zum Sport wurde eine Erfüllung aller Kriterien mit einem Wert von über 90 gefordert. Von den 74 Teilnehmern, die vor der Verletzung Level I-Sportarten wie Fußball, Handball oder Basketball betrieben, konnten nur 18 diese Kriterien zum Testzeitpunkt erfüllen. Eine Art Bestätigung der fehlenden RTS-Bereitschaft zum Testzeitpunkt zeigt sich insofern, da das RTS der Teilnehmer im Mittel erst 2,3 Monate nach der Testung erfolgte. Zudem konnte ein erhöhtes Verletzungsaufkommen bei den Sportlern ohne RTS-Freigabe im Gegensatz zu denen mit erfüllten RTS-Kriterien beobachtet werden. Dies zeigt eindrücklich auf, welche Bedeutung RTS-Kriterien in der Entscheidungsfindung zur sicheren Rückkehr zum Sport nach einer VKB-Verletzung haben können (Grindem et al. 2016).

2 Fragestellung

Fußballspieler sind bei der Ausführung ihres Sportes einem gewissen Verletzungsrisiko ausgesetzt. Besonders schwere Knieverletzungen wie Kreuzbandrupturen sind mit einer langen Rehabilitationsphase, einem hohen Risiko für erneute Verletzungen und negativen Auswirkungen auf die sportliche Karriere sowie Kniefunktion assoziiert. Um die Gefahren einer weiteren Kreuzbandruptur zu minimieren und die beste Ausgangslage für das fußballerische Comeback zu schaffen, ist der Zeitpunkt zur Rückkehr zum Sport, das sogenannte Return to play, ein entscheidender Faktor. Speziell im Amateurbereich ist der verletzte Sportler oft selbst gefordert, seine Rehabilitation voranzutreiben. Im Gegensatz zum professionellen Fußball ist das betreuende Team aus Mediziner, Physiotherapeuten und Athletiktrainern überschaubar und die Intensivität der Betreuung vergleichsweise gering.

Ziel dieser Arbeit ist es, durch sportliche Tests und Fragebögen die Rehabilitation von kreuzbandverletzten Amateurfußballern zu betrachten sowie eine Einschätzung über die RTP-Bereitschaft mit möglichst geringem Risiko für erneute Verletzungen anhand des RTP-Scores zu evaluieren. Dabei stellen sich folgende Fragen:

- (1) Wie verändert sich die Selbsteinschätzung der Kniefunktion und der psychologischen Situation der Teilnehmer im Laufe der Rehabilitation nach einer VKB- oder HKB-Ruptur?
- (2) Welche Aussagekraft hat der in dieser Studie absolvierte RTP-Test über die Bereitschaft zur Rückkehr zum Sport? Bei welchen Sporttests zeigen sich Defizite der Leistungsfähigkeit und der Funktionalität des Kniegelenkes der kreuzbandverletzten Teilnehmer?
- (3) Inwiefern beeinflusst die Ligazugehörigkeit die RTP-Ergebnisse und somit die Leistungsfähigkeit nach einer VKB- oder HKB-Ruptur? Welche Differenzen finden sich?
- (4) Gibt es Unterschiede der Leistungsfähigkeit der Teilnehmer während des Rehabilitationsprozesses nach einer Kreuzbandverletzung basierend auf ihrem Leistungsniveau vor der Verletzung?

3 Methodik

3.1 Studiendesign und Studienpopulation

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und der Rehabilitation im Amateurfußball nach einer Kreuzbandruptur wurden ein Fragenkatalog, bestehend aus fünf Fragebögen, und eine Testbatterie, welche sechs Sporttests und eine Kraftmessung umfasste, konzipiert.

Die Studienpopulation (s. Tabelle 1) besteht ausschließlich aus männlichen Fußballerspielern, die folgende Kriterien erfüllten:

- (1) Sie spielten in der Saison 2015/16 in einer der höchsten bayrischen Amateurligen, der Regionalliga Bayern, den Bayernligen Nord und Süd oder den Landesligen Nordwest, Nordost, Südwest, Südost und Mitte
- (2) Sie erlitten eine schwere Knieverletzung im Sinne einer VKB- oder HKB-Ruptur während der Saisons 2014/15 – 2015/16

Da die Studienpopulation rein aus männlichen Teilnehmern besteht, wird auf die Anpassung der Personenbezeichnungen verzichtet.

Die Identifikation Fußballer mit schweren Knieverletzungen erfolgte mithilfe einer Online-Analyse der fußballbezogenen Websites des bayrischen Fußballverbandes (BFV) und FuPa - das regionale Fußballportal. Insgesamt entschieden sich 38 Spieler für die Teilnahme an dieser Studie. Mithilfe der Online-Analyse konnten präzise Daten zur Rückkehr zum Wettbewerb ermittelt werden, wobei dies als erstmalige Teilnahme an einem Fußballspiel nach der Kreuzbandverletzung definiert wurde. Dadurch konnten die exakten Zeitpunkte für das RTP identifiziert werden.

Insgesamt nahmen 38 Fußballer an der Studie teil. Es wurden 44,2% der Fragebogenkataloge ausgefüllt und 30 Teilnehmer absolvierten den RTP-Test.

Im Rahmen des 5-Jahres-Follow-Up wurden die Teilnehmer hinsichtlich ihrer aktuellen fußballerischen Spielaktivität sowie erneuten Kreuzband-Verletzungen telefonisch oder per E-Mail befragt. Konnten Sportler nicht persönlich erreicht werden, wurde mittels Internetrecherche (z.B. Fupa, BFV und transfermarkt.de) Auskünfte über die weitere sportliche Karriere sowie Verletzungshistorie gesammelt.

Tabelle 1 Anthropometrische und fußballerische Daten der Spieler (Angaben in absoluten Zahlen bzw. Mittelwert (SD); * = fehlende Angaben einzelner Spieler

	Gesamt	Landesliga	Bayernliga	Regionalliga
Teilnehmerzahl	38	20	10	8
Alter bei Verletzung in Jahren	24,4 (4,2) *	25,2 (4,6)	23,4 (2,6)	23,5 (4,3) *
Größe in cm	180,3 (7,2) *	176,9 (6,0) *	184,6 (6,2) *	183,3 (7,6) *
Gewicht in kg	78,1 (7,8) *	76,1 (7,7) *	81,1 (8,4) *	78,9 (5,9) *
Spielposition				
- Torwart	3	1	1	1
- Abwehr	17	7	6	4
- Mittelfeld	12	9	1	2
- Sturm	6	3	2	1
Verletzung: VKB/HKB	36 / 2	19 / 1	10 / 0	7 / 1
Therapie				
- operativ	33	18	8	7
- konservativ	4 *	1*	2	1
- Zeit zw. Verletzung und OP in Tagen	49,3 (58,0)	59,7 (71,9)	39,1 (37,2)	32,0 (21,3)
Studienteilnahme				
- Beteiligung an Fragebogenkataloge	44,2% 30	47,0% 14	44,0% 8	37,5% 8
- RTP-Test	8	6	2	0
- kein RTP-Test				
Betrachtung der RTP-Test-Teilnehmer				
Zeit zw. Verletzung/OP und RTP-Test in Tagen	249,2 (78,5)	227,9 (61,3)	224,5 (25,2)	311,0 (109,4)
Dominante Seite: Rechts/Links/Beidbeinig	21 / 7 / 2	12 / 2 / 0	5 / 2 / 1	4 / 3 / 1
Verletzte Seite Rechts/Links	19 / 11	10 / 4	5 / 3	4 / 4

3.2 Fragebogenkatalog zur Verlaufsdokumentation

Der Fragebogenkatalog besteht aus fünf etablierten Fragebögen, dem International Knee Documentation Committee Score (IKDC), dem modifizierten Lysholm Knee Score (mLKS), dem Modified Cincinnati Knee Rating System (mCKRS), der Anterior Cruciate Ligament – Return to Sport after Injury Scale (ACL-RSI) und dem 12-Item Short Form Health Survey (SF-12). Die Erhebung des Fragenkataloges erfolgte zu fünf Untersuchungszeitpunkten, zum Verletzungszeitpunkt (m0), nach drei (m3), sechs (m6), neun (m9) sowie zwölf Monaten (m12) nach der Verletzung. Hierfür erhielten die Teilnehmer per E-Mail einen Link zur Online-Bearbeitung der Fragebögen. Für die Beantwortung hatten die Teilnehmer drei Monate Zeit, danach wurde der Fragebogen gesperrt und der nächste Zeitraum aktiv. Ziel war es, den zeitlichen Verlauf der Rehabilitation nach einer VKB- oder HKB-Ruptur darzustellen.

3.2.1 International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form

Der IKDC wurde von einem Team aus international führenden Kniespezialisten zur Dokumentation und Beurteilung von Erkrankungen und Verletzungen des Kniegelenks von 1987 bis 1998 entwickelt (Irrgang et al. 2001). Aufgrund seiner bestätigten Reliabilität und Validität wurde er zur allgemeinen Funktions- und Symptomeinschätzung des Kniegelenks in den Fragenkatalog aufgenommen (Irrgang et al. 2001, Higgins et al. 2007, Wera et al. 2014). Der IKDC ermöglicht eine Selbsteinschätzung der Knieverletzung durch den Patienten anhand von insgesamt 19 Fragen zu Veränderungen der Symptome (sieben Fragen), der Alltagsaktivitäten (zehn Fragen) und der sportlichen Aktivität (zwei Fragen). Zur Auswertung wurden die Punktwerte aller Antworten summiert, mit Ausnahme der Antwort auf Frage 18 („Funktionsfähigkeit vor der Knieverletzung“). Dies ergab einen Punktzahlbereich von 87 Punkten mit einer Spanne von minimal 18 und maximal 105 Punkten. Die erreichte Punktzahl wurde mithilfe der folgenden Formel in eine Skala von 0 bis 100 umgerechnet. Zur Berechnung mussten mindestens 16 der 18 Fragen beantwortet sein. Bei fehlenden Antworten wurden die IKDC-Berechnung angepasst, indem die niedrigste mögliche Punktzahl der jeweiligen Frage verwendet wurde und der Punktzahlbereich entsprechend den fehlenden Punktwerten modifiziert wurde. Ein IKDC-Ergebnis von 100 steht für komplette Symptommfreiheit und uneingeschränkte

Kniefunktion, während ein IKDC-Ergebnis von 0 auf maximale Symptomatik und Funktionsunfähigkeit hinwies (Irrgang et al. 2001).

$$\text{IKDC} = \frac{\text{erreichter Punktwert} - \text{niedrigste mögliche Punktzahl}}{\text{Punktzahlbereich}} \times 100$$

In der Literatur finden sich normative IKDC-Werte von $89,1 \pm 17,5$ in der Altersgruppe 18 bis 24 Jahre bzw. $88,9 \pm 6,3$ in der Altersgruppe 25 bis 34 für eine vergleichbares Teilnehmerkollektiv (Anderson et al. 2006). In der aktuellen Studie nahmen Sportler im Alter von 17,6 bis 35,5 Jahren teil. Um die Interpretation der Resultate zu vereinheitlichen, wurde eine normale Kniefunktion bei einem IKDC-Score von 89 oder höher angenommen. Weiterhin wurde der „Patienten-akzeptable Symptom-Status“ (PASS) von Muller et al. anhand des IKDC definiert. Der PASS beschreibt einen Symptomstatus, welcher vom Patienten als akzeptabel bzw. tolerierbar eingestuft wird, obwohl die Kniefunktion noch nicht optimal ist und noch Restbeschwerden vorherrschen. Anhand einer Studienpopulation mit über 250 Patienten, welche in den zurückliegenden fünf Jahren eine VKB-Rekonstruktion in den erhielten, wurde die PASS-Schwelle mit einem IKDC-Wert von 75,9 (Sensitivität 0,83, Spezifität 0,96) festgelegt (Muller et al. 2016). Anhand des normativen IKDC-Wertes sowie der PASS-Schwelle erfolgte die Klassifizierung der individuellen Teilnehmerangaben zur genaueren Differenzierung und Auswertung der IKDC-Ergebnisse.

Der IKDC wurde in verschiedenen Sprachen, darunter auch Deutsch, auf der Website der “American Orthopaedic Society of Sports Medicine” veröffentlicht (<https://www.sportsmed.org>, Irrgang et al. 2001).

3.2.2 Modifizierter Lysholm Knee Score

Der Lysholm Score wurde 1982 zur Beurteilung von Knieverletzungen, insbesondere von Bänderverletzungen wie der VKB-Ruptur, entwickelt (Lysholm et Gillquist 1982). In den folgenden Jahren wurde der Fragebogen zum mLKS, einem Mittel zur Selbsteinschätzung des klinischen Beschwerdebildes, modifiziert. Seitdem etablierte sich der mLKS als valider und häufig genutzter Score für die Rehabilitation sowie Einschätzung von Verletzungen und Erkrankungen des Kniegelenks (Tegner et Lysholm 1985, Marx et al. 2001, Briggs et al. 2009). Der mLKS umfasst acht Fragen, die verschiedene Aspekte wie Hinken, Unterstützungsbedarf, Schmerzen, Instabilität,

Sperren, Schwellung, Treppensteigen und Kniebeugung beinhalten. Jede Antwort erhält einen vordefinierter Punktwert, welche addiert werden und als Summe anhand des Punktzahlbereiches von 0 bis 100 Punkte eingeordnet werden. Ein Ergebnis von 0 Punkte signalisiert eine größtmögliche Beeinträchtigung des Patienten, während 100 Punkte für eine fehlende Beeinträchtigung stehen. Auf dieser Grundlage können Rückschlüsse auf die Kniefunktion und den Rehabilitationsstand des Patienten gezogen werden. Neben der Erhebung der Mittelwerte, Standardabweichungen sowie des zeitlichen Verlaufes wurden die individuellen Ergebnisse der Teilnehmer anhand des von Briggs und Kollegen erhobenen normativen Lysholm-Knee-Scores von 94 eingeteilt (Briggs et al. 2009). Der Lysholm Knee Score wurde 2011 von Wirth et al. ins Deutsche übersetzt und als vergleichbarer Fragebogen der englischsprachigen Originalversion bezüglich Validität und Test-Retest-Reliabilität bestätigt (Wirth et al. 2011).

3.2.3 Modified Cincinnati Knee Rating System

Der mCKRS wurde 1990 als postoperativer Fragebogen nach einer VKB-Rekonstruktion entwickelt und stellt eine Modifikation des 1989 veröffentlichten Cincinnati Knee Rating System CKRS dar (Noyes et al. 1989, Shelbourne et Nitz 1990). Der mCKRS beinhaltet acht Fragen, wobei insgesamt 100 Punkte erzielt werden können. Die Punkte setzen sich gleichermaßen aus dem aktuellen Aktivitätslevel des Teilnehmers, z.B. Gehen, Laufen und Treppensteigen, sowie aus klinischen Symptomen wie Schmerzen, Instabilität und Schwellung zusammen. Eine Punktzahl von 100 deutet auf eine normale, ausgezeichnete Kniefunktion hin, während niedrigere Punktwerte auf eine eingeschränkte Kniefunktion hinweisen. Der niedrigste erreichbare Punktwert beträgt sechs Punkte und definiert die am meisten eingeschränkte und somit schlechteste Kniefunktion (Shelbourne et Nitz 1990). Ziel des mCKRS ist es, das funktionelle Outcome im Rehabilitationsverlauf nach der VKB-Ruptur und Rekonstruktion durch subjektive Einschätzung der Teilnehmer zu erfassen.

3.2.4 Anterior Cruciate Ligament - Return to Sport after Injury Scale

Neben der körperlichen Rehabilitation ist die psychologische Bereitschaft zur Rückkehr zum Sport nach einer VKB-Verletzung von entscheidender Bedeutung.

Angst vor erneuten Verletzungen oder fehlendes Vertrauen in das verletzte Kniegelenk gehörten zu den häufigsten Gründen für ein gescheitertes RTP zu ihrem ursprünglichen Aktivitäts- und Leistungsniveau zurück (Kvist et al. 2005, Ardern et al. 2014). Um die psychologischen Aspekte für die Rückkehr zum Sport nach einer VKB-Ruptur und -Rekonstruktion zu untersuchen, wurde der ACL-RSI entwickelt (Webster et al. 2008). Mittels zwölf Fragen reflektiert der Teilnehmer seine mentale Situation in Anbetracht der Sportrückkehr, seiner Emotionen, seines sportlichen Selbstvertrauens sowie seiner persönlichen Risikoeinschätzung hinsichtlich einer erneuten Verletzung. Die Antworten werden auf einer visuellen Analogskala von 0-100 abgebildet. Hierbei steht 0 für maximales negatives Empfinden, fehlendes Selbstvertrauen und eine ungünstige Risikoeinschätzung, wohingegen 100 höchste positive Emotionen, starkes Selbstvertrauen und eine günstige Risikobewertung symbolisiert. Der ACL-RSI wurde mittels untenstehender Formel berechnet (Webster et al. 2008). Der ACL-RSI wurde 2014 ins Deutsche übersetzt und wird als Prädiktionsparameter zur Entscheidungsfindung zur Rückkehr zum Sport angesehen (Müller et al. 2014).

$$\text{ACL - RSI} = \frac{\text{erreichte Gesamtpunktzahl}}{12}$$

3.2.5 12-Item Short Form Health Survey

Der SF-12 ist ein verkürzter Fragebogen zur Erfassung des allgemeinen Gesundheitsstatus basierend auf dem Short Form 36 Health Survey (SF-36). Sowohl die physische als auch die mentale Gesundheit werden mithilfe zwölf Fragen abgebildet. Zwei Fragen decken jeweils die physische Funktion, physisch-bedingte Rollenfunktion, emotional-bedingte Rollenfunktion und mentale Gesundheit ab. Mit jeweils einer Frage werden die Gesundheitsskalen allgemeine Gesundheitswahrnehmung, körperliche Schmerzen, Vitalität und soziale Funktion repräsentiert (Ware et al. 1995, Ware et al. 1996). Mithilfe des vorgegebenen Bewertungsalgorithmus wurden die physische Komponente (PCS) und die mentale Komponente (MCS) der allgemeinen Gesundheitsvorstellung berechnet. Jede Antwort entspricht einer festgelegten Gewichtung, die sich auf beide Bewertungsskalen auswirkt. Zum Beispiel wirken sich die Antworten der Kategorien „physische Funktion“, „physisch-bedingte Rollenfunktion“, „körperlicher Schmerz“ und „allgemeine Gesundheitswahrnehmung“ auf den PCS negativ und den MCS positiv

aus, während die Antworten in den Kategorien „mentale Gesundheit“, „emotional-bedingte Rollenfunktion“, „Vitalität“ und „soziale Funktion“ den PCS positiv und den MCS negativ beeinflussen. Ursprünglich wurde der SF-12 anhand einer Normalbevölkerung der Vereinigten Staaten von Amerika standardisiert, sodass beide Bewertungsskalen, PCS und MCS, zum vereinfachten Vergleich einen Mittelwert von 50 und eine Standardabweichung von zehn aufwiesen (Ware et al. 1995). In der Studie von Gandek et al. wurde der SF-12 international sowie unter anderem in einer Bevölkerungsgruppe von über 1200 Deutschen im Alter von 18 bis 44 Jahren ermittelt. Folglich ergaben sich standardisierte Mittelwerte des PCS von $52,5 \pm 6,3$ sowie des MCS von $52,1 \pm 7,8$ für eine deutsche Normalbevölkerung in der Altersklasse der teilnehmenden Fußballer (Gandek et al. 1998). Die Ergebnisse der Teilnehmer wurden entsprechend dieser Werte eingeordnet. Hierbei stimmte der Gesundheitszustand des Teilnehmers bei einem PCS von 52,5 bzw. einem MCS von 52,1 mit dem der Normalbevölkerung überein. Lagen die Ergebnisse des Teilnehmers über den Mittelwerten der Normalbevölkerung, wurde sein Gesundheitszustand als überdurchschnittlich gewertet, lagen sie darunter, wurde sein Gesundheitszustand als unterdurchschnittlich eingeordnet.

3.3 RTP-Testbatterie nach schweren Knieverletzungen

Insgesamt absolvierten 30 der 38 teilnehmenden Fußballer (14 Landesliga-, acht Bayernliga- und acht Regionalligaspieler) die Testbatterie „Return to play“ (RTP-Test) im Testzentrum der Athleticum+ GmbH in Straubing. Die Testung fand frühestens nach einer Rehabilitationszeit von sechs Monaten nach der Verletzung bzw. der VKB-Rekonstruktion statt. Im Durchschnitt absolvierten die Teilnehmer den RTP-Test 249 Tagen (8,2 Monate) nach der Verletzung bzw. der VKB-Rekonstruktion. Zunächst erfolgte eine Voruntersuchung mit Messung der Knie- und Muskelumfänge der unteren Extremität, Abfrage allgemeiner Informationen zum Teilnehmer sowie Bearbeitung von zwei klinischen Fragebögen zum aktuellen Rehabilitationsstand. Nach einem 10-minütigen Aufwärmprogramm auf dem Fahrrad oder Laufband wurde mit der Durchführung des RTP-Testes begonnen. Dieser bestand aus den folgenden sieben Sporttests, einbeiniger Balance-Test (1BT), Tapping-Test (TT), zweibeiniger Drop Jump (2DJ), einbeiniger Hop For Distance (HFD), einbeiniger Side Hop Test

(SHT), Lateral Speed Chase (LSC) sowie einer isokinetischen Kraftmessung des M. quadriceps und der ischiokruralen Muskulatur (M. biceps femoris, M. semitendinosus, M. semimembranosus). Mithilfe des RTP-Tests sollte eine Bewertung der sportartenübergreifenden und fußballspezifischen Fähigkeiten, Identifikation von Leistungsdefiziten als auch eine objektive Entscheidungsfindung über ein mögliches Return-to-play ermöglicht werden.

3.3.1 Erhebung von Teilnehmerdaten, Aktivitätsniveau und Muskelumfängen

Der Teilnehmer erhielt drei Fragebögen zum Ausfüllen, den Fragebogen zu allgemeinen Informationen zum Patienten und zur Verletzung, den mLKS (s. 2.2.2) sowie die Tegner Aktivitätsskala. Im Fragebogen zur allgemeinen Information zum Teilnehmer wurden anthropometrische und fußballerische Daten wie Körpergröße, Gewicht, Spielniveau, -position, dominante und verletzte Beinseite sowie aktuelle Verletzungen, erfolgte Therapie, anhaltende Beschwerden und Funktionseinschränkungen erfasst. Die Tegner Aktivitätsskala wurde 1985 als Ergänzung zum mLKS entwickelt. Mithilfe von elf vordefinierten Aktivitätsgraden und den dazugehörigen Beschreibungen sollte die körperliche bzw. sportliche Aktivität des Patienten nach Kreuzbandverletzung anhand einer Skala von 0 bis 10 eingeordnet werden. Die niedrigste physische Aktivität wurde mit 0 definiert, während der höchstmögliche Aktivitätsgrad mit 10 beschrieben wurde (Tegner et Lysholm 1985). Der Teilnehmer sollte den aktuellen, den Vor-Verletzungs- sowie auch den Ziel-Aktivitätsgrad anhand dieser Beschreibungen angeben. Zusammen mit dem mLKS gilt die Tegner Aktivitätsskala als valides Instrument, Erkenntnisse über die Funktionsfähigkeit als auch die körperliche Aktivität des Teilnehmers zu erhalten (Briggs et al. 2009). Als „Tegner-G“ wurde er 2013 in deutscher Form und als valider und zuverlässiger Fragebogen entsprechend dem Original publiziert (Wirth et al. 2013). Anschließend erfolgte eine Umfangsmessung der Kniegelenke, der Ober- und Unterschenkel anhand vordefinierter Messpunkte zur ersten Einschätzung einer möglichen Knieschwellung oder muskulärem Ungleichgewicht:

- Kniegelenk: Auf Höhe des Gelenkspaltes
- Wade: 15 cm unterhalb des Gelenkspaltes
- Oberschenkel I (OS I): 10 cm oberhalb des Gelenkspaltes
- Oberschenkel II (OS II): 20 cm oberhalb des Gelenkspaltes

3.3.2 Einbeiniger Balance-Test

Der 1BT wurde in Anlehnung an den „one-leg stability test“ von Hildebrandt et al. zur Beurteilung der Balance, Propriozeption und Haltungsstabilität des Sportlers in die RTP-Testbatterie aufgenommen (Hildebrandt et al. 2015). Der Teilnehmer stand mit einem Bein auf der MFT Challenge Disc (MFT Bodyteamwork GmbH, Kirchberg, Österreich), während das 2. Bein in der Luft ohne Bodenkontakt gehalten wurde (s. Abbildung 1 und Abbildung 2). Entsprechend der Gewichtsverlagerungen schwenkte die MFT Challenge Disc und registrierte die Bewegungen sowie den Körperschwerpunkt des Teilnehmers während der Testdurchführung kontinuierlich. Am Computerbildschirm wurde die Position der MFT Challenge Disc visualisiert, sodass der Sportler anhand einer Zielscheiben-Grafik seine Bewegung, dargestellt durch einen grünen Punkt, nachverfolgen konnte (s. Abbildung 3). Nach einem Startsignal begann die 15-sekündige Aufzeichnung.



Abbildung 1: Durchführung des einbeinigen Balance-Tests, Ansicht von der Seite

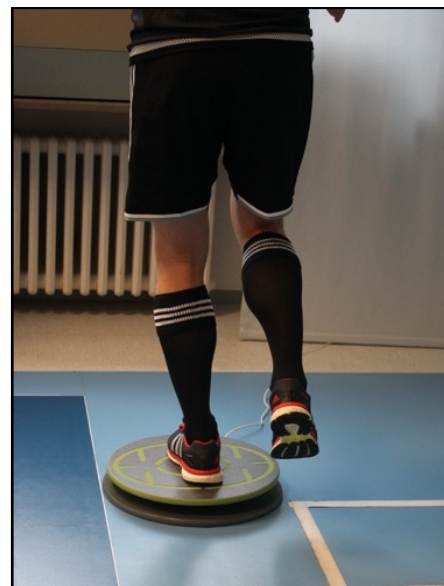


Abbildung 2: Durchführung des einbeinigen Balance-Tests, Ansicht von hinten

Anhand der Punktwerte entsprechend der Zielscheiben-Grafik wurde ein Mittelwert berechnet (s. Abbildung 3). Ziel war es, möglichst ruhig und zentral den Körperschwerpunkt über der MFT Challenge Disc zu halten. Es wurde mit dem nicht-verletzten Bein begonnen, danach erfolgte die Testung der verletzten Extremität.

Pro Seite hatte der Teilnehmer je zwei Versuche. Eine Balance-Score von 1,0 stellte dabei das am besten mögliche Testergebnis dar.

Tabelle 2 Einteilung der absoluten Werte des 1BT, adaptiert nach Hildebrandt et al. 2015

Balance-Score	Bewertung
< 2,00	Sehr gut
2,00 – 2,30	Gut
2,31 – 3,20	Mittel
3,21 – 3,60	Schwach
> 3,60	Sehr schwach

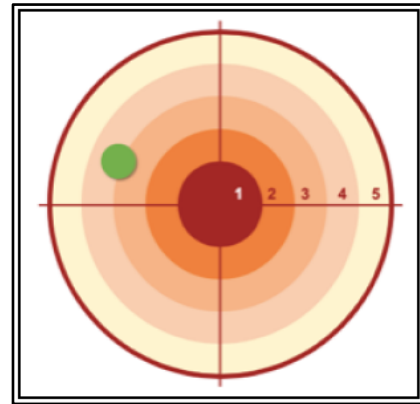


Abbildung 3: Zielscheiben-Grafik der MFT Challenge Disc

Je näher der 1BT-Score am Punktwert 1,0 war, desto höher wurde die Balance-Fähigkeit, Stabilität und Haltungskontrolle des Teilnehmers eingeschätzt. Für die Auswertung wurde der beste der beiden Versuche, d.h. der niedrigste 1BT-Score, pro Seite gewertet. In Anlehnung an die Ergebnisse von Hildebrandt et al. wurden die Ergebnisse in fünf Bewertungsstufen eingeteilt (Hildebrandt et al. 2015, s. Tabelle 2). Zudem wurde der Limb Symmetry Index LSI in Prozent mittels nachfolgender Formel bestimmt.

$$LSI_{Balance} = \frac{\text{niedrigster 1BT – Score der **nicht – verletzten** Seite}}{\text{niedrigster 1BT – Score der **verletzten** Seite}} \times 100$$

3.3.3 Tapping-Test

Der TT wurde in Anlehnung an vergleichbare Testformate entwickelt (Ferrauti et al. 2009, Krauss 2011). Der TT gibt Auskünfte über die Schnelligkeit, die Ausdauer und die neuromuskuläre Koordination des Teilnehmers (Schnelligkeit und Agilität – www.vbg.de). Das Tapping entspricht im Wesentlichen einem Sprint auf der Stelle, bei dem die Knie nicht hoch angehoben werden und die Füße nahe an der Kontaktfläche verbleiben, um eine möglichst hohe Frequenz erreichen zu können. Der Teilnehmer befand sich hierfür mittig auf einer zweigeteilten Kraftmessplatte zur Registrierung der jeweiligen Bodenkontakte (s. Abbildung 4). Nach einem Startsignal versuchte der Teilnehmer, eine höchstmögliche Frequenz an alternierenden

Schritten auf der Stelle zu erreichen. Ein Verlassen der Kraftmessplatte oder Überschreiten der Mittellinie führte zu einer fehlerhaften Auswertung, weshalb dies als Fehlversuch gewertet wurde. Die Testung dauerte insgesamt 15 Sekunden und wurde zweimal hintereinander mit dazwischenliegender Erholungspause durchgeführt.

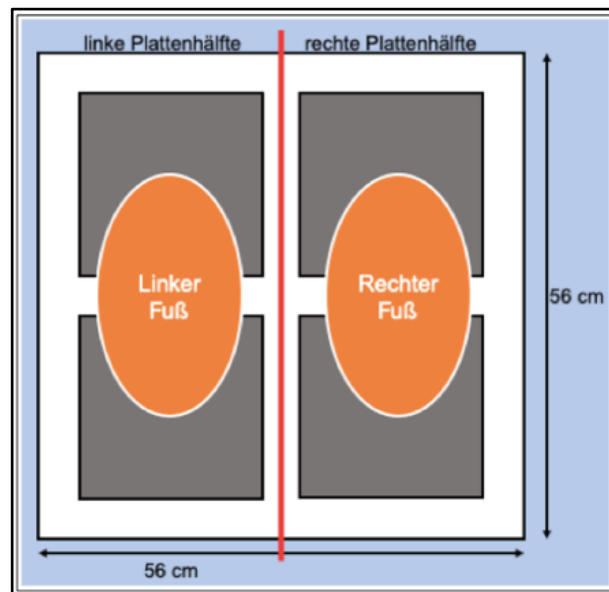


Abbildung 4: Skizzenhafte Darstellung des Aufbaus des TT

Die Auswertung beinhaltete die Parameter Tappingfrequenz [Hz], Bodenkontaktzeit (BKZ) [ms] und Tappingkoeffizient (Voss et al. 2007). Die BKZ entsprach dem Durchschnittswert aus den jeweiligen Kontaktzeiten des linken und des rechten Beines. Der Tappingkoeffizient ergab sich aus der Division von Frequenz und Kontaktzeit multipliziert mit 100 (s. nachfolgende Formel).

$$\text{Tappingkoeffizient} = \frac{\text{Frequenz}}{\text{Bodenkontaktzeit}} \times 100$$

Zudem wurde der LSI als Verhältnismaß der Extremitäten aus den mittleren BKZ in Prozent berechnet (s. nachfolgende Formel).

$$LSI_{BKZ, \text{Tapping}} = \frac{\text{mittlere BKZ der } \textbf{nicht} - \textbf{verletzten Seite}}{\text{mittlere BKZ der } \textbf{verletzten Seite}} \times 100$$

Anhand der Beurteilungs- und Orientierungswerte der VBG (Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg, Deutschland) wurden die Leistungen der Studienteilnehmer analysiert (Return-to-Competition – www.vbg.de, s. Tabelle 3).

Tabelle 3 Einteilung der Tappingfrequenz, Bodenkontaktzeit und Tappingkoeffizient adaptiert an die Bewertungstabelle der VBG (www.vbg.de)

Tapping-frequenz	BKZ	Tapping-koeffizient	Bewertung
> 15 Hz	< 70 ms	> 20	Ausgezeichnet (A)
13 - 15 Hz	70 - 85 ms	17,5 - 20	Sehr gut (SG)
12 - 13 Hz	85 - 100 ms	15 - 17,5	Gut (G)
10 - 12 Hz	100 - 125 ms	12 - 15	Mittelmäßig (M)
< 10 Hz	> 125 ms	< 12	Schlecht (S)

3.3.4 Beidbeiniger Drop Jump

Der 2DJ ist einer von drei Sprungtests in der „Return to play“-Testbatterie. Zur Ausführung des 2DJ begab sich der Sportler auf eine 30cm hohe Stufe. Die Ausgangsposition stellte dabei ein beidbeiniger, schulterbreiter Stand mit Zehen nach vorne zeigend dar. Aus dieser Haltung sollte der Teilnehmer mit beiden Beinen von der Erhöhung nach vorne auf die im Boden integrierte Kraftmessplatte springen. Nach der Landung sollte der Teilnehmer so schnell und hoch wie möglich senkrecht nach oben springen, anschließend musste er erneut auf der Kraftmessplatte landen (s. Abbildung 5 und Abbildung 6). Der Abstand zwischen der Erhöhung und der Kraftmessplatte betrug 50% der Körpergröße des Teilnehmers. Dem Teilnehmer wurde geraten, die BKZ möglichst gering zu halten sowie den 2. Sprung so kraftvoll und explosionsartig wie möglich auszuführen. Das Testdesign orientierte sich dabei an der „Sprung-Lande-Aufgabe“ aus der „JUMP-ACL Studie“ von Padua und Kollegen (Padua et al. 2009). Der Teilnehmer hatte mehrere Versuche zur Verfügung, um sich an das Testformat heranzutasten. Die drei Testdurchführungen mit der kürzesten BKZ wurden in die Auswertung zur Bestimmung der mittleren BKZ [s], der mittleren Sprunghöhe [cm] und des mittleren Reactive Strength Index (RSI)

[m/s] aufgenommen. Der RSI definiert sich hierbei als der Quotient aus der Sprunghöhe in Meter durch die Bodenkontaktzeit in Sekunden.

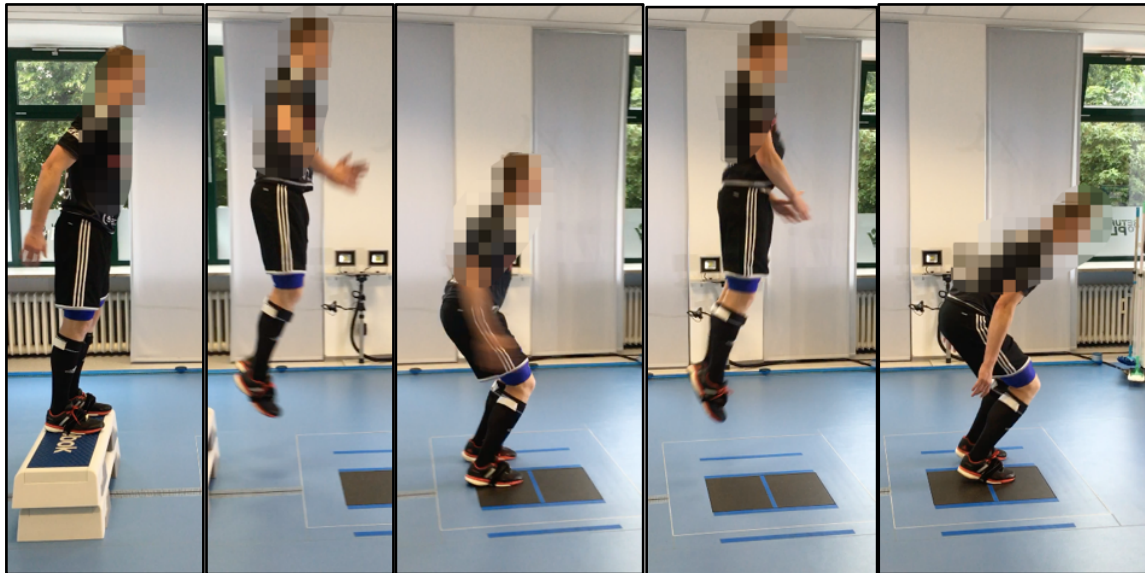


Abbildung 5: Durchführung des 2DJ, Ansicht von der Seite



Abbildung 6: Durchführung des 2DJ, Ansicht von vorne

3.3.5 Einbeiniger Hop for Distance

Bereits 1986 beschrieben Tegner et al. einen einbeinigen Sprung als Leistungstest zur Evaluation einer Dysfunktion nach einer VKB-Verletzung (Tegner et al. 1986). Der HFD wurde in einer Serie mit weiteren drei Sprungtestungen als zuverlässiger

und valider Messwert zur Leistungsbeurteilung nach VKB-Rekonstruktion eingestuft (Reid et al. 2007). Zudem stelle der HFD einen der stärksten prädiktiven Parameter in Bezug zum RTS dar (Müller et al. 2015). Beim HFD springt der Teilnehmer aus dem Stand auf einem Bein so weit wie möglich nach vorne, wobei eine sichere und stabile Landung auf demselben Bein sowie Haltung der Landeposition für mindestens zwei Sekunden für die korrekte Ausführung erforderlich waren (s. Abbildung 7 und Abbildung 8). Ein Versuch galt als ungültig, wenn das Schwungbein oder ein anderer Körperteil den Boden bei der Landung berührte, ein Zwischensprung zum Ausbalancieren erfolgte oder das Gleichgewicht nach der Landung nicht gehalten werden konnte. Zuerst wurde der HFD mit dem gesunden Bein, anschließend mit dem verletzten Bein durchgeführt. Der Teilnehmer konnte abseits der Testwertung den Ablauf proben und hatte danach bis zu fünf Versuche pro Seite zur Verfügung. Als gesprungene Distanz wurde die Strecke von der Schuhspitze beim Absprung bis zur Ferse bei der Landung in Zentimeter gemessen. Die höchste Sprungdistanz pro Seite ging in die Beurteilung als absoluter Wert ein. Zudem wurde der LSI des HFD [%] anhand der maximalen Sprungdistanz berechnet (s. nachfolgende Formel).

$$LSI_{HFD} = \frac{\text{max. Distanz der } \textit{verletzten} \text{ Seite}}{\text{max. Distanz der } \textit{nicht - verletzten} \text{ Seite}} \times 100$$



Abbildung 7: Durchführung des HFD, Ansicht von der Seite

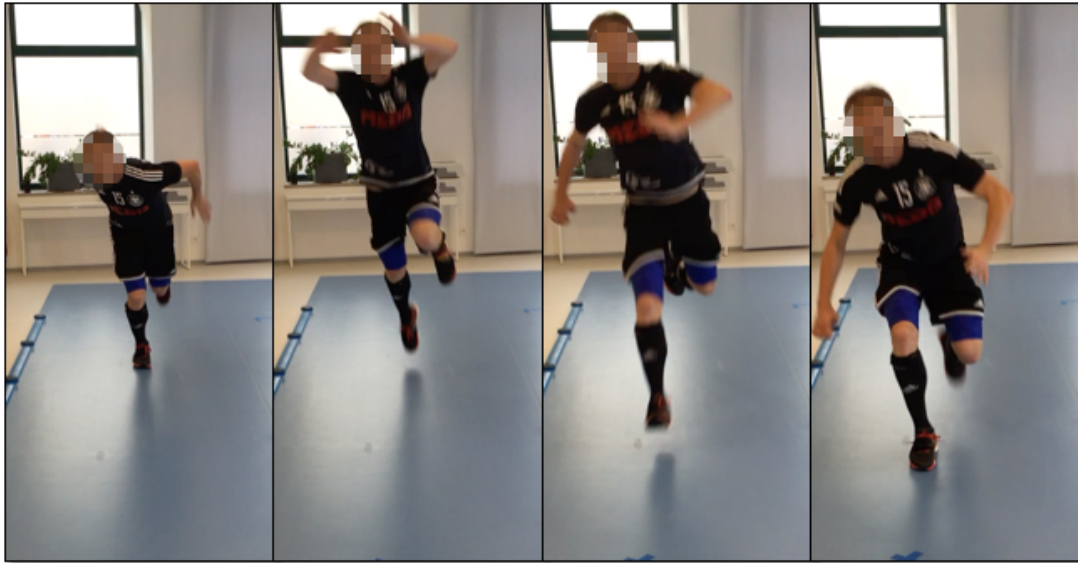


Abbildung 8: Durchführung des HFD, Ansicht von vorne

3.3.6 Einbeiniger Side Hop Test

Der SHT erweiterte die RTP-Testbatterie um eine Testungsdurchführung mit seitlicher Sprungbewegung. Das Testdesign orientierte sich an den SHT-Protokollen von Itoh et al. und Gustavsson et al. (Itoh et al. 1998, Gustavsson et al. 2006). Zwei Tapes wurden als Markierungen am Boden angebracht, wobei das 1. Tape sich entlang der Kante der Bodenkraftmessplatte und das 2. Tape parallel dazu im Abstand von 30cm befand (s. Abbildung 9). Die Startposition stellte ein einbeiniger Stand mit Position der lateralen Fußkante entlang der Außenseite des 2. Tapes dar. Der SHT begann nach dem 1. Sprung über die Tapes auf die Kraftmessplatte. Der Sprung zur Kraftmessplatte wurde als „Hinsprung“ definiert. Der 1. Kontakt mit der Kraftmessplatte wurde als „Startpunkt“ der Testdurchführung registriert. Danach erfolgte der „Rücksprung“ weg von der Kraftmessplatte über die beiden Tapes in die Ausgangsposition. Der SHT bestand aus zehn aufeinanderfolgenden Sprüngen, je ein Hin- und Rücksprung. Der 10. Kontakt mit der Kraftmessplatte beendete den SHT (s. Abbildung 9). Begonnen wurde mit der gesunden Extremität. Bei einer Landung im Bereich zwischen den Tape-Markierungen musste der SHT-Versuch aufgrund der falschen Ausführung sowie der fehlenden Registrierung des Sprunges als ungültig gewertet werden. Ziel war es, die Sprungsequenz schnell, sicher und korrekt auszuführen. Für die Auswertung wurde die Testdurchführung mit der schnellsten Gesamtzeit analysiert und die Parameter Gesamtzeit (GZ) [s], mittlere BKZ [s] und

mittlere Flugzeit (FZ) [s] bestimmt. Außerdem wurde der LSI der BKZ [%] als Vergleichsinstrument der unteren Extremitäten berechnet (s. nachfolgende Formel).

$$LSI_{BKZ, SHT} = \frac{\text{kürzeste, mittlere BKZ der \textit{nicht} - verletzten Seite}}{\text{kürzeste, mittlere BKZ der \textit{verletzten} Seite}} \times 100$$

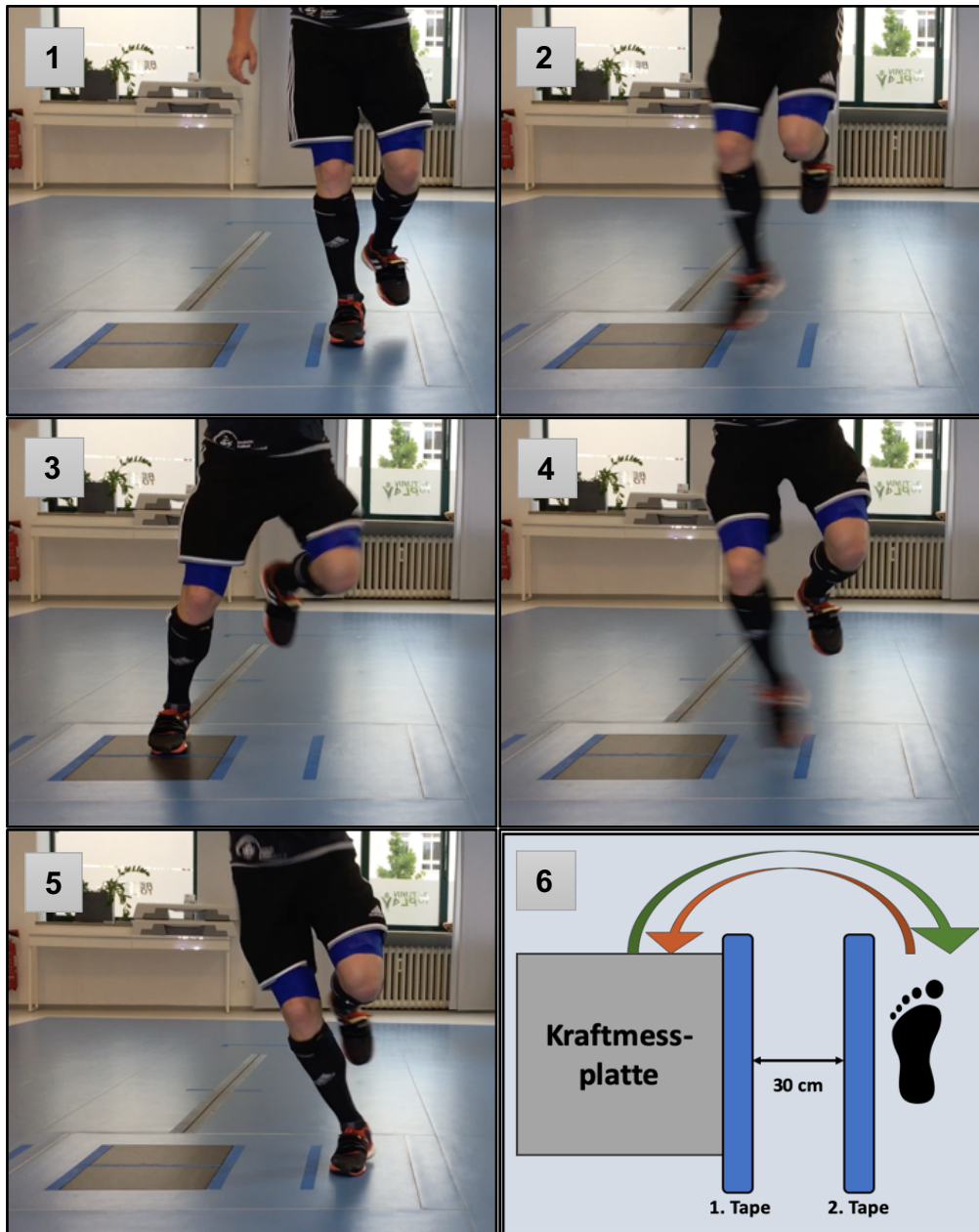


Abbildung 9: Durchführung des SHT, Ansicht von vorne (Bild 1-5), sowie schematische Testdarstellung (Bild 6)

3.3.7 Lateral Speed Chase

Richtungswechsel, Dreh- und Schnittbewegungen spielen eine entscheidende Rolle im Verletzungsmechanismus der VKB-Ruptur (Alentorn-Geli et al. 2009, Xie et al. 2013, Montgomery et al. 2018). Die Beurteilung von Richtungswechseln sollte laut Achenbach et al. fester Bestandteil in Testbatterien zur Evaluation des RTP sein (Achenbach et al. 2019). In der RTP-Testbatterie wurde der LSC mithilfe des SpeedCourt® System von GlobalSpeed GmbH (Hemsbach, Deutschland) als Testinstrument zur Bewertung lateraler Richtungswechsel eingefügt. Die Verwendung des SpeedCourt® System als valides Instrument zur Bewertung multidirektionaler Richtungswechsel nach einer VKB-Verletzung wurde bereits in Studien belegt (Bartels et al. 2016, Düking et al. 2016). Das Hauptziel des LSC bestand darin, eine realitätsnahe und fußballspezifische Belastung zu simulieren, um eine bestmögliche Testung des verletzten wie auch des gesunden Kniegelenkes in Anbetracht der Risikofaktoren der VKB-Ruptur zu ermöglichen. Für den LSC wurden die Kontaktplatten 8 und 9 als laterale Endpunkte sowie die Hauptkontaktplatte in der Mitte, bestehend aus vier Feldern, als Mittelpunkt verwendet. Die mittlere Kontaktplatte umfasste eine Fläche von 56 x 56 cm, die äußeren Platten von 30,5 x 30,5 cm. Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Hauptkontaktplatte und dem äußeren Rand der lateralen Kontaktplatte betrug jeweils 170,5cm. Das Testdesign wurde dem Teilnehmer über einen großen Monitor in Augenhöhe sowie parallel zur Testplattform schematisch dargestellt (s. Abbildung 10 und Abbildung 11).

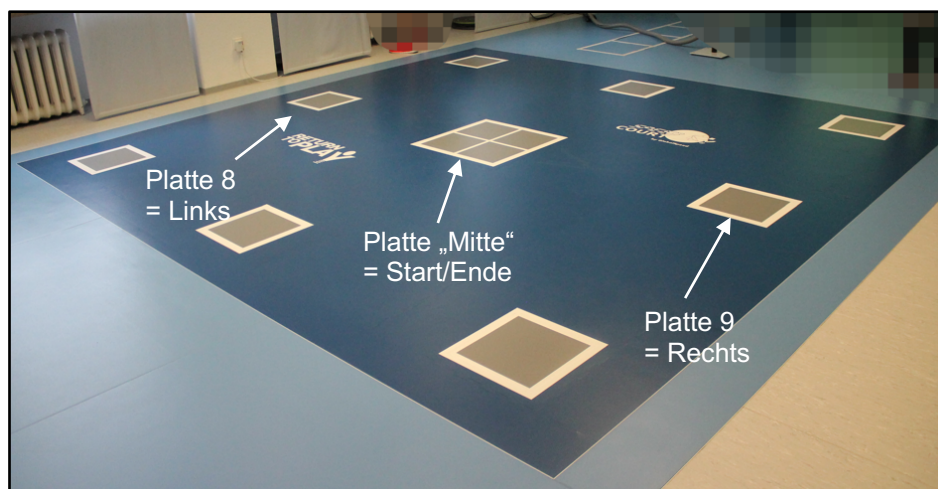


Abbildung 10: SpeedCourt® System von GlobalSpeed GmbH (Hemsbach, Deutschland)

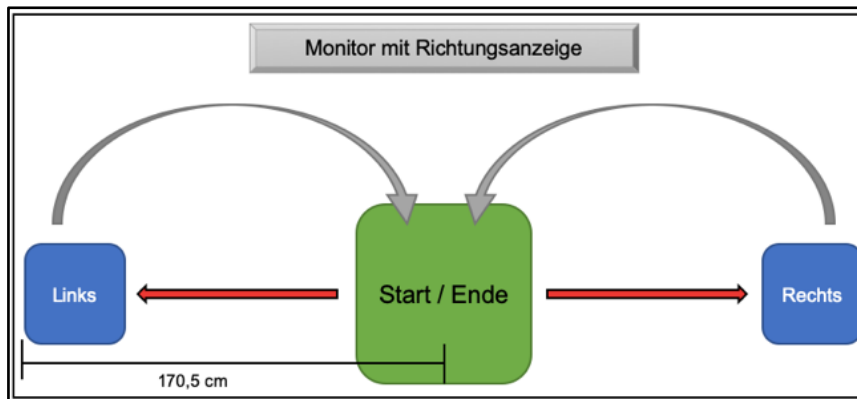


Abbildung 11: Skizzenhafte Darstellung des Testaufbaus des LSC

Der Teilnehmer startete auf der Hauptkontaktplatte (s. Abbildung 11: grünes Feld) und begann den Test auf ein Startsignal. Über den Monitor wurde die als nächstes zu erreichende Kontaktplatte und somit die Laufrichtung angezeigt. Der Teilnehmer musste zuerst zu eine der äußeren Kontaktplatten (s. Abbildung 11: blaue Flächen) laufen und diese berühren. Hierbei reichte eine Berührung mit nur einem Fuß zur Registrierung aus. Nach Registrierung der Kontaktplatte leuchtete das nächste Ziel auf dem Monitor auf. Hierbei musste der Teilnehmer nach einer äußeren Kontaktplatte immer zur Mitte zurück (s. Abbildung 11: graue Pfeile). Dies wurde dem Sportler vor dem Test bereits mitgeteilt, um die Daten des Richtungswechsels unabhängig von der mentalen Reaktionsfähigkeit zu erfassen. Dagegen konnte nach Berührung der Hauptkontaktplatte sowohl eine Richtungsvorgabe nach rechts oder links angezeigt werden, sodass die geistige Reaktionsfähigkeit des Teilnehmers gefordert wurde. Die Testdurchführung wird in den folgenden Abbildungen dargestellt (s. Abbildung 12). Insgesamt musste der Teilnehmer 49 Platten in einer festgelegten, jedoch für den Teilnehmer unbekannten Reihenfolge berühren. Hierbei wurde eine ausgeglichene Belastung durch gleich häufige Richtungswechsel nach rechts und links sichergestellt. Die äußeren Kontaktplatten mussten jeweils zwölfmal und die mittlere Kontaktplatte insgesamt 25-mal berührt werden, wobei die Mitte wurde als „Start-“ und „Endpunkt“ der Testdurchführung zählte. Doppelaktivierungen der äußeren Kontaktplatten, zum Beispiel „Mitte – rechts – Mitte – rechts – Mitte“, wurden pro Seite 3-mal in den Testablauf integriert. Dadurch wurden unter anderem die Konzentration und Reaktion des Teilnehmers auf unerwartete Situationen, welche im Fußballspiel üblich sind, geprüft. Ziel war eine möglichst schnelle Durchführung des LSC, wofür die Teilnehmer je zwei Versuche hatten.



Abbildung 12: Durchführung des LSC, Ansicht von vorne

Für die LSC-Auswertung wurde die GZ für die Testdurchführung und die Kontaktzeiten auf den äußeren Kontaktplatten analysiert. Hierbei wurde die schnellste GZ [s] der beiden Versuche gewertet, diese gab bereits erste Auskünfte über die Agilität, Schnelligkeit und Wendigkeit des Teilnehmers. Eine kürzere GZ deutete auf eine bessere sportliche Leistung hin. Dagegen konnte mangelnde Schnelligkeit und Reaktionsfähigkeit des Teilnehmers, aber auch ein fehlerhafter Richtungswechsel zur nicht-angezeigten Seite ursächlich für eine lange GZ sein. Bei der Messung der Kontaktzeiten auf den äußeren Kontaktplatten konnte aufgrund der festgelegten Rückkehr von der äußeren Platte zur Mitte das Hauptaugenmerk auf die Belastbarkeit des Kniegelenkes, die Agilität und Schnelligkeit des Teilnehmers gelegt werden. Eine schnelle Kontaktzeit wurde als Anzeichen für gute Belastbarkeit und Vertrauen des Sportlers in sein Kniegelenk gewertet, während eine langsame Kontaktzeit auf Unsicherheiten und geringe Agilität hindeutete. Für die Auswertung wurden jeweils die mittleren Kontaktzeiten des besten Testdurchganges basierend auf der schnellsten GZ verwendet. Die Kontaktzeiten wurden entsprechend dem Kontakt mit der jeweiligen außenstehenden Extremität auf der Platte in „nicht-verletzt“ und „verletzt“ definiert und in Sekunden angegeben. Dies bedeutete bei Verletzung des rechten Kniegelenks die Einteilung der Kontaktzeit der rechten, äußeren Platte als „verletzt“ und die Kontaktzeit der linken, äußeren Platte als „nicht-verletzt“. Für den Leistungsvergleich wurde zudem der LSI [%] aus den Durchschnittswerten der lateralen Kontaktzeiten berechnet (s. nachfolgende Formel).

$$LSI_{Kontaktzeit,LSC} = \frac{\text{mittlere Kontaktzeit der } \textbf{nicht – verletzten Seite}}{\text{mittlere Kontaktzeit der } \textbf{verletzten Seite}} \times 100$$

3.3.8 Kraftmessung

Nach einer VKB-Rekonstruktion konnten Kraftdefizite im Vergleich zu Kontrollgruppen bis zu fünf Jahre nach einer Operation nachgewiesen werden (Petersen et al. 2014). Die Muskelkraftmessung kann daher ein wichtiger Indikator für den richtigen Zeitpunkt des RTP sein. In der aktuellen Testbatterie wurde die Kraftmessung als Abschlusstest nach den Sprung- und Agilitätstestungen angesetzt. Hierzu wurde das BTE Primus RS von BTE Technologies (Hannover, Deutschland) verwendet. Damit sich der Teilnehmer bei der Kraftausübung nicht vom Messhebel wegdrücken kann, wurde dieser auf einem Spezialstuhl, welcher am Messgerät

befestigt war, festgeschnallt. Es wurde mit der Kraftmessung des M. quadriceps begonnen. Dazu wurde der Unterschenkel des Teilnehmers unterhalb einer gepolsterten Rolle mit einem Riemen am Messhebel befestigt (s. Abbildung 13 links). Nach einem Startsignal sollte der Teilnehmer eine maximal kraftvolle Streckung im Kniegelenk mit Kraftübertragung durch den Unterschenkel auf die Rolle durchführen. Anschließend erfolgte die Kraftmessung der ischiokruralen Muskulatur, indem der Unterschenkel oberhalb der Rolle befestigt und der Teilnehmer zur maximal kraftvollen Beugung im Kniegelenk aufgefordert wurde (s. Abbildung 13, rechts). Der Messhebel sowie die Rolle wurden am Gerät so positioniert, sodass eine maximale Kraftübertragung erfolgen konnte. Hierzu wurde der Hebel bei der Messung der Extensoren in 60° Knieflexion und bei der Messung der Flexoren in 90° Knieflexion eingestellt. Der Messhebel mit Rolle war bei beiden Untersuchungen fest, sodass keine Bewegung des Unterschenkels möglich war und eine reine Kraftmessung erfolgen konnte. Eine Messung dauerte drei Sekunden und es wurde das Drehmoment in Nm berechnet. Die Extensionskraft spiegelte dabei die Stärke des M. quadriceps und die Flexionskraft die Stärke der ischiokruralen Muskulatur wider. Pro Beinseite erfolgten je drei Messungen der Flexions- und Extensionskraft, wobei mit der nicht-verletzten Seite begonnen wurde.

Aus den Maximaldrehmomenten der drei Versuche wurde pro Beinseite das mittlere Extensions- sowie Flexionsdrehmoment der Teilnehmer berechnet. Zum Vergleich der Extremitäten wurde der LSI der Extension sowie der Flexion bestimmt (s. untenstehende Formeln).

$$LSI_{Flexion,Kraft} = \frac{\text{mittleres Drehmoment der } \textbf{verletzten} \text{ Seite}}{\text{mittleres Drehmoment der } \textbf{nicht} - \textbf{verletzten} \text{ Seite}} \times 100$$

$$LSI_{Extension,Kraft} = \frac{\text{mittleres Drehmoment der } \textbf{verletzten} \text{ Seite}}{\text{mittleres Drehmoment der } \textbf{nicht} - \textbf{verletzten} \text{ Seite}} \times 100$$

Zudem wurde pro Beinseite das Verhältnis zwischen des mittleren Flexionsdrehmomentes und dem mittleren Extensionsdrehmomentes in Form der Hamstrings-Quadriceps-Ratio (H/Q-Ratio) dargestellt (s. nachfolgende Formel).

$$H/Q\text{-Ratio} = \frac{\text{mittleres Flexionsdrehmoment (Hamstrings) [Nm]}}{\text{mittleres Extensionsdrehmoment (M. quadriceps) [Nm]}}$$



Abbildung 13: Messung des Extensionsdrehmoments (links) und des Flexionsdrehmoments (rechts)

3.3.9 Limb Symmetry Index

Der LSI stellt Vergleich der Leistungen zwischen dem verletzten Bein und dem nicht-verletzten Bein dar und ermöglicht als Vergleichsinstrument eine Einteilung und Beurteilung der Ergebnisse der Teilnehmer. Die genauen Berechnungen der testabhängigen LSI-Parameter wurden bei den Sporttests und der Kraftmessung beschrieben. Der errechnete Prozentwert spiegelte dabei den Leistungsvergleich der Extremitäten wider. Ein Wert von 100% bedeutete einen seitengleiches Leistungsniveau. Werte unter 100% zeigten Defizite, während Werte über 100% auf eine gesteigerte Leistung im verletzten Bein hinwiesen. In der Literatur wird überwiegend ein LSI-Wert von über 90% als ausreichendes Bestehenskriterium für die Rückkehr zu Sportarten mit Schwenk-, Schnitt- und Drehbewegungen angesehen (Gustavsson et al. 2006, Neeter et al. 2006, Ageberg et al. 2008, Thomeé et al. 2011, Gokeler et al. 2017, Herrington et al. 2021). Jedoch finden sich auch Forderungen nach höheren LSI-Werten von beispielsweise 100% als Mindestanforderung vor der Rückkehr zu Kontaktsportarten (Thomeé et al. 2011).

Aufgrund weitgehender Übereinstimmung der Ansichten diverser Autoren wurde in der aktuellen Studie der LSI-Grenzwert von 90% festgelegt. Das bedeutet, ein LSI-Wert von mehr oder gleich 90% galt als „Gut“, während ein LSI-Wert unter 90% als „Schlecht“ in Hinblick auf die Rückkehr zum Sport gewertet wurde (s. Tabelle 4).

Tabelle 4 Einteilung und Wertung des LSI

LSI	Wertung
$\geq 90,0 \%$	Gut
$< 90,0 \%$	Schlecht

3.3.10 Return-to-play-Kriterien

Für jede der acht Aufgaben der Testbatterie wurde mit Ausnahme der Kraftmessung jeweils ein Parameter als RTP-Kriterium festgelegt. Bei der Kraftmessung wurden sowohl die Messung der Extensoren als auch der Flexoren als eigenständiges RTP-Kriterium in die Bewertung einbezogen (s. Tabelle 5). Bei Erfüllung des Kriteriums erhielt der Teilnehmer für dieses keinen Punkt. Bei Nicht-Erfüllen wurde das Kriterium mit einem Punkt gewertet. Die Summe dieser Bewertungspunkte der RTP-Kriterien ergab den Return-to-play-Score (RTP-Score), wobei die Teilnehmer einen RTP-Score von null bis neun Punkten erreichen konnten. Wenn ein Sporttest nicht durchgeführt wurde, wurde das zugehörige Kriterium als nicht erfüllt gewertet.

Der RTP-Score sollte als Hilfsmittel zur Einschätzung des fußballerischen RTP des Teilnehmers dienen. Bei niedrigem Punktwert des RTP-Scores wurde eine gute Funktion und Stabilität des Kreuzband-verletzten Knies aufgrund geringer Defizite angenommen. Je mehr Leistungsdefizite und -asymmetrien der Extremitäten vorhanden waren, desto höher fiel der RTP-Score aus. Ein hoher RTP-Score könnte mit einer fehlenden RTP-Fähigkeit zum Untersuchungszeitpunkt und einem mutmaßlich erhöhtem Verletzungsrisiko bei vorzeitiger Rückkehr assoziiert sein. Um diese These zu prüfen, wurde die RTP-Fähigkeit in gut (0 Punkte), mittel (1-3 Punkte) und schlecht (≥ 4 Punkte) eingestuft sowie mit den Daten des 5-Jahres-Follow-Up zu weiteren schweren Knieverletzungen als auch dem Spielniveau verglichen.

Tabelle 5 RTP-Kriterien und deren Bewertung; E = erfüllt, NE = nicht-erfüllt

Test	Kriterium	Bewertung
Balance	LSI (Balance) $\geq 90,0\%$	E = 0; NE = 1
Tapping	LSI (BKZ) $\geq 90,0\%$	E = 0; NE = 1
2DJ	RSI-Mittelwert $\geq 1,00$ m/s	E = 0; NE = 1
HFD	LSI (weiteste Distanz, HFD) $\geq 90,0\%$	E = 0; NE = 1
SHT	LSI (BKZ, SHT) $\geq 90,0\%$	E = 0; NE = 1
LSC	LSI (Wendezeit, LSC) $\geq 90,0\%$	E = 0; NE = 1
Kraft (Flexion)	LSI (Flexoren) $\geq 90,0\%$	E = 0; NE = 1
Kraft (Extension)	LSI (Extensoren) $\geq 90,0\%$	E = 0; NE = 1

3.4 Leistungsdaten zu Saisonbeginn vor der Verletzung

Zu Beginn der Saison 2015/2016 wurden bayernweit Fußballmannschaften zur Teilnahme der Partnerstudie zur Verletzungsprävention im Amateurfußball eingeladen. Bestandteile der Sporttestung der Präventionsstudie waren unter anderem der einbeinige Balance-Test, der beidbeinige Drop Jump und der Side Hop Test auf dem Sportgelände des jeweiligen Vereines. Fünf der Kreuzband-verletzten Fußballer der aktuellen Arbeit nahmen vor ihrer Knieverletzung an der Präventionsstudie teil (Ausnahme: SHT – vier Teilnehmer). Daraus ergab sich die Möglichkeit, die Testergebnisse vor der Verletzung mit den Leistungen des RTP-Tests im Rehabilitationszeitraum nach der VKB-Ruptur bzw. deren Rekonstruktion zu vergleichen. Die Resultate der Sportler wurden separat ausgewertet und verglichen. Hierbei wurden die Parameter, welche als RTP-Kriterium des jeweiligen Tests ausgewählt wurden, analysiert.

4 Ergebnisse

4.1 Auswertung des Fragebogenkatalogs

4.1.1 Teilnahme am Fragebogenkatalog

Die verwendeten Fragebögen wurden je nach Abfragezeitpunkt und Art des Fragebogens von zwölf bis zu 20 Teilnehmern gültig ausgefüllt (s. Tabelle 6 und Abbildung 14). Teilweise wurden Fragebögen nicht im Abfragezeitraum oder mit fehlenden Antworten abgegeben, sodass diese als ungültig klassifiziert wurden. Im Verlauf der Datenerfassung zeigte sich die Partizipationsbereitschaft zu den Zeitpunkten m6 und m12 deutlich höher als zu den übrigen Zeitpunkten.

Tabelle 6 Gültige Fragebögen in den jeweiligen Subgruppen entsprechend der Ligazugehörigkeit

Fragebogen	Liga	m0	m3	m6	m9	m12
IKDC	Landesliga	5	8	10	6	10
	Bayernliga	6	5	6	2	6
	Regionalliga	3	1	3	6	4
mLKS	Landesliga	5	7	12	5	9
	Bayernliga	6	5	5	2	6
	Regionalliga	3	1	3	6	4
mCKRS	Landesliga	5	6	11	6	9
	Bayernliga	6	5	6	2	6
	Regionalliga	3	1	3	6	4
ACL-RSI	Landesliga	5	7	11	6	8
	Bayernliga	6	5	6	2	6
	Regionalliga	3	1	3	6	4
SF-12	Landesliga	3	7	11	6	9
	Bayernliga	6	5	4	2	5
	Regionalliga	3	1	3	6	4

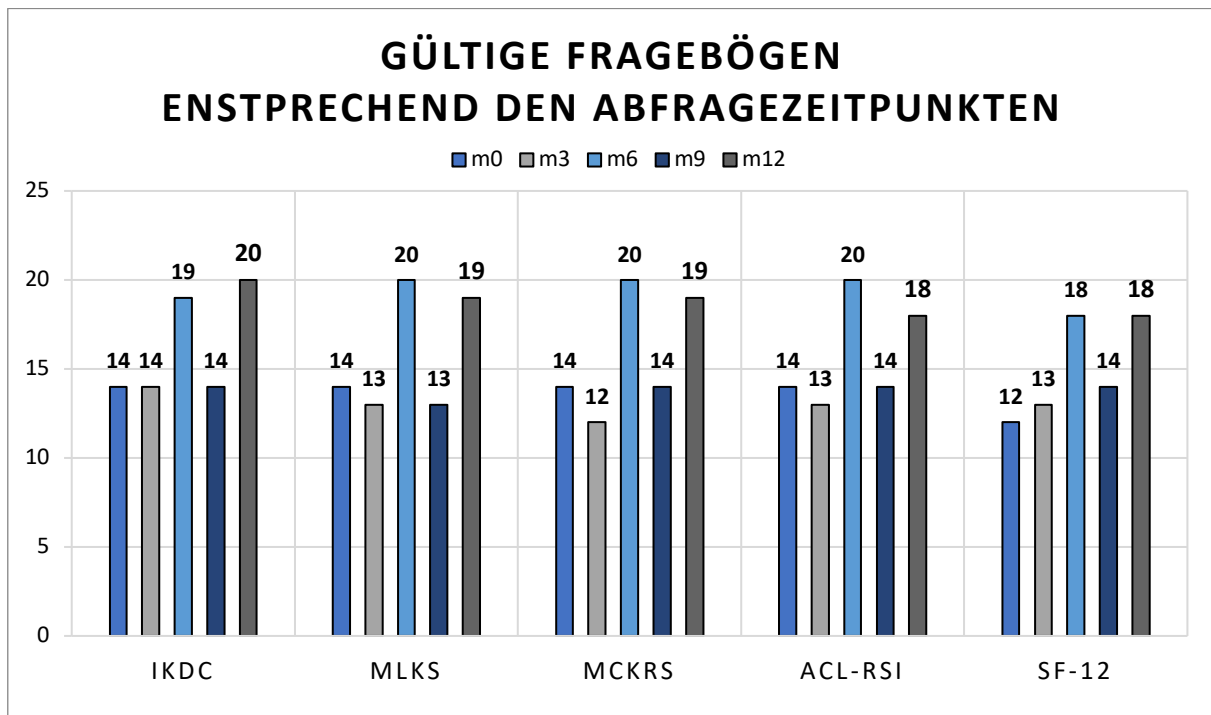


Abbildung 14: Teilnahme am Fragenkatalog in absoluten Teilnehmerzahlen

4.1.2 Resultate der Funktions- und Symptomfragebögen

Die Fragebögen IKDC, mLKS und mCKRS repräsentieren die individuelle Selbsteinschätzung zum Funktionsstatus und Symptomatik des Kniegelenkes.

Insgesamt zeigten sich die IKDC-Werte im Verlauf von m0 bis m12 ansteigend. Der IKDC-m0-Wert betrug im Gesamtdurchschnitt 64,4 (Standardabweichung (SD) 16,6), während der IKDC-m12-Wert im Gesamtdurchschnitt bei 87,0 (SD 15,2) lag. Dies deutete auf eine Verbesserung der Kniefunktion innerhalb der zwölfmonatigen Rehabilitationszeit hin (s. Abbildung 15). Weiterhin wurden die individuellen Leistungen der Teilnehmer anhand der PASS-Schwelle von Muller et al. 2016 sowie den normativen Daten von Anderson et al. eingeteilt (Anderson et al. 2006, Muller et al. 2016). Zum Verletzungszeitpunkt konnten 21% bzw. 7% der Teilnehmer die geforderten IKDC-Werte für die PASS-Schwelle bzw. die Normalbevölkerung erreichen. Während der Rehabilitation konnten diese Anteile sukzessive gesteigert werden. Jedoch zeigte sich weiterhin eine Einschränkung der Kniefunktion bei 40% der Teilnehmer im Vergleich mit einer Normalbevölkerung nach zwölfmonatiger Rehabilitation (s. Tabelle 7).

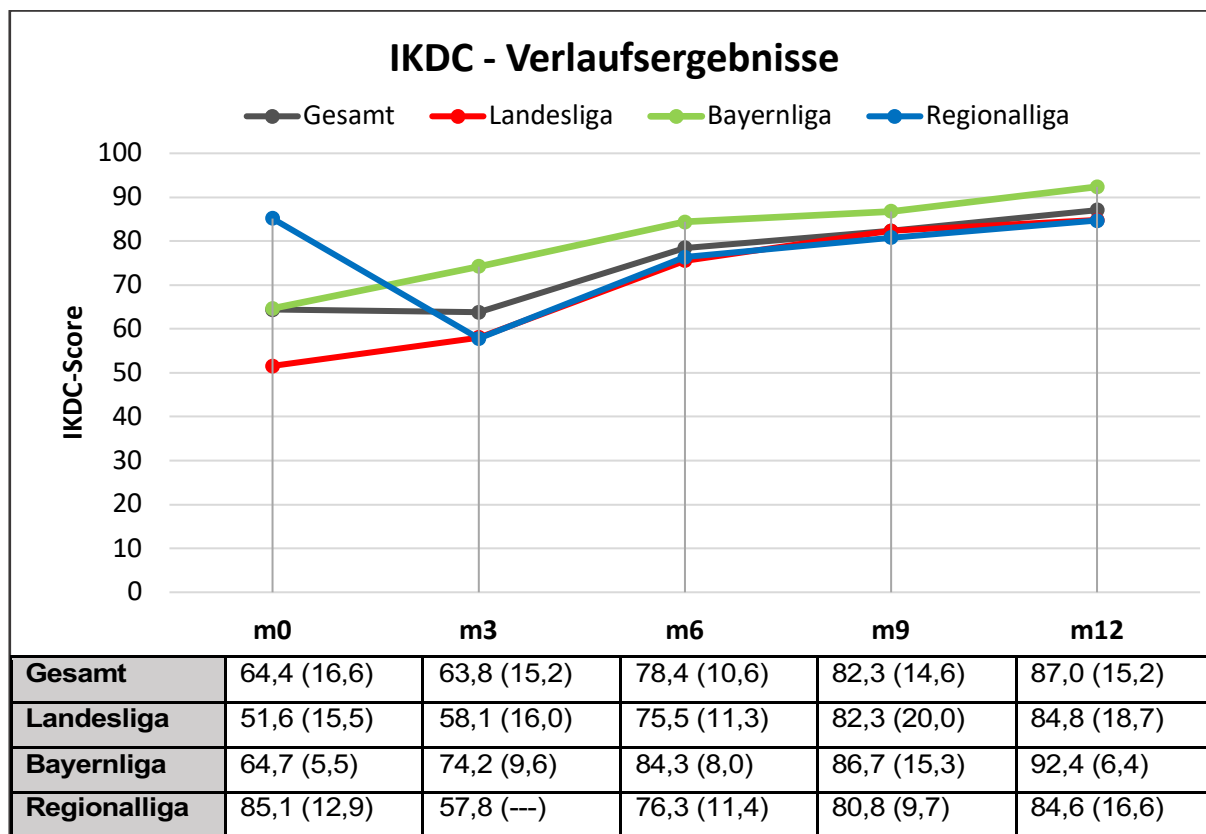


Abbildung 15: Verlaufsergebnisse des IKDC (Mittelwerte, Standardabweichung (SD) in Klammern)

Tabelle 7 Einteilung der Teilnehmerergebnisse anhand der PASS-Schwelle bzw. des normativen IKDC-Wertes in absoluten Zahlen und in Prozent

	PASS-Schwelle $\geq 75,9$		Normative IKDC-Wert $\geq 89,0$	
	erreicht	in %	erreicht	in %
m0	3 von 14	21,4%	1 von 14	7,1%
m3	3 von 14	21,4%	0 von 14	0,0%
m6	11 von 19	57,9%	4 von 19	21,1%
m9	11 von 14	78,6%	4 von 14	28,6%
m12	17 von 20	85,0%	12 von 20	60,0%

Die Verlaufsergebnisse des mLKS spiegelten im Wesentlichen die Resultate des IKDC wider, wobei im Vergleich der durchschnittliche m0-Wert bei 77,3 (SD 15,0) hoch lag. Während der Rehabilitation zeigte sich ebenfalls eine sukzessive Zunahme der Punktwerte des mLKS, hierbei wurde der höchste Anstieg im Intervall zwischen den Abfragezeitpunkten m3 und m6 erreicht (s. Abbildung 16). Zudem

erfolgte die Einteilung der individuellen Teilnehmerergebnisse anhand des normativen LKS-Scores von 94. Vergleichbar zum IKDC erreichte ebenfalls fast die Hälfte der Teilnehmer den geforderten Grenzwert für eine „normale“ Kniefunktion entsprechend den normativen Daten nach zwölfmonatiger Rehabilitation nicht (Briggs et al. 2009, s. Tabelle 8).

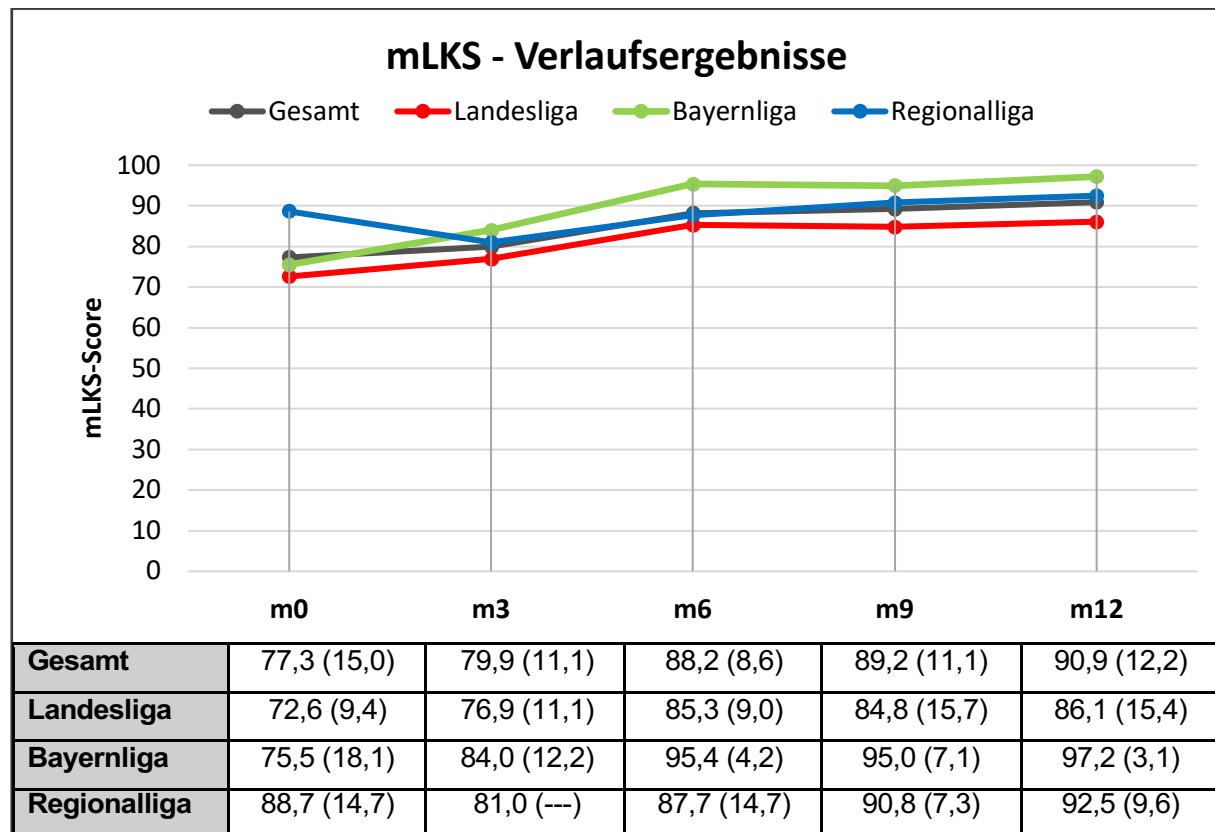


Abbildung 16: Verlaufsergebnisse des mLKS (Mittelwerte, SD in Klammern)

Tabelle 8 Einteilung der Teilnehmerergebnisse anhand des normativen LKS-Wertes in absoluten Zahlen und in Prozent

	Normativer LKS-Score ≥ 94	
	erreicht	in %
m0	3 von 14	21,4%
m3	2 von 13	15,4%
m6	6 von 20	30,0%
m9	5 von 13	38,5%
m12	10 von 19	52,6%

Die Auswertung des mCKRS ergab similäre Ergebnisse zum mLKS und bestätigt die stetige Funktionsbesserung als auch Symptomreduktion im Kniegelenk während der Rehabilitationsphase nach einer schweren Knieverletzung (s. Abbildung 17).

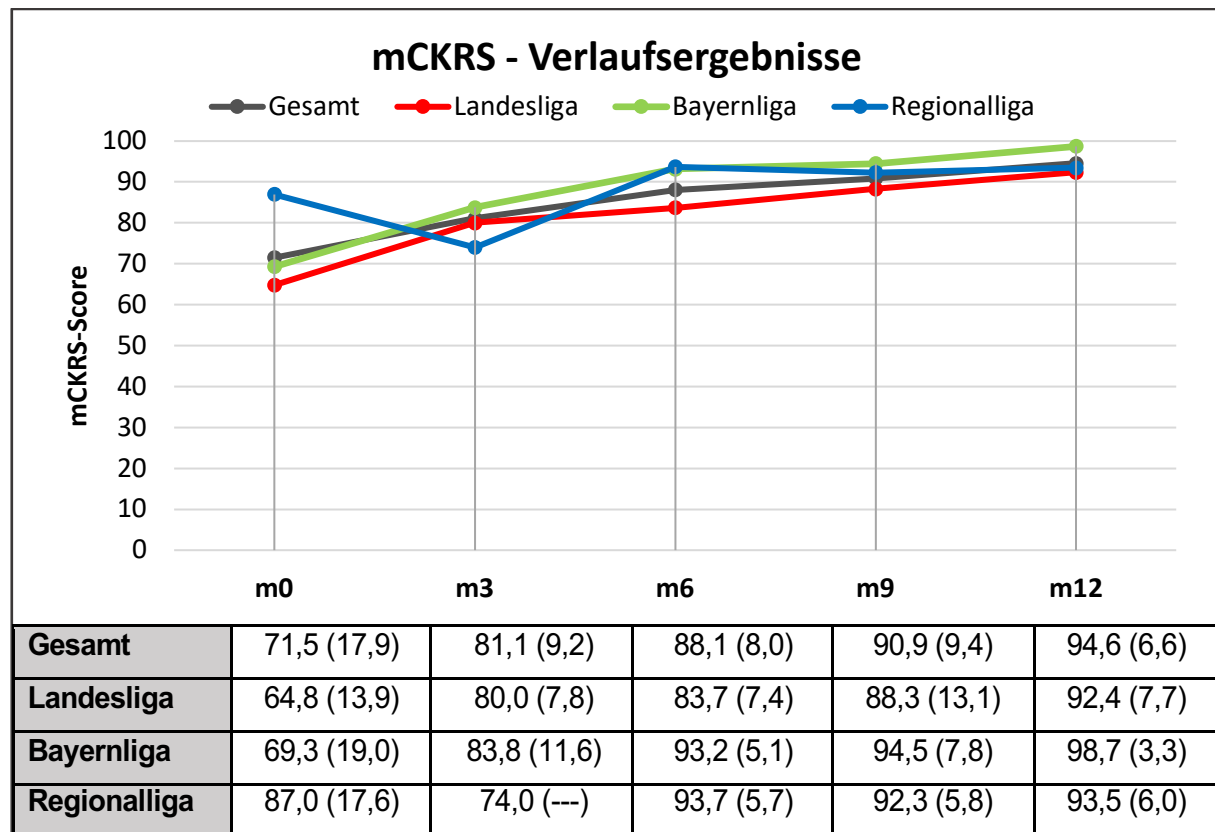


Abbildung 17: Verlaufsergebnisse des mCKRS (Mittelwerte, SD in Klammern)

4.1.3 Psychologischer Faktor der Rehabilitation

Anhand der Ergebnisse des ACL-RSI können Rückschlüsse auf die psychologische Bereitschaft während der Rehabilitation nach einer schweren Knieverletzung gezogen werden. Zum Zeitpunkt der Verletzung (m0) lag der mittlere ACL-RSI-Wert bei 72,4. Anschließend nahm der Durchschnittswert zunächst ab und stieg im Verlauf wieder konstant an. Im Vergleich lag der durchschnittliche m12-Wert mit 75,1 Punkten nur leicht höher als der m0-Wert. In den Subgruppen variierten die Verläufe und Durchschnittswerte voneinander (s. Abbildung 18).

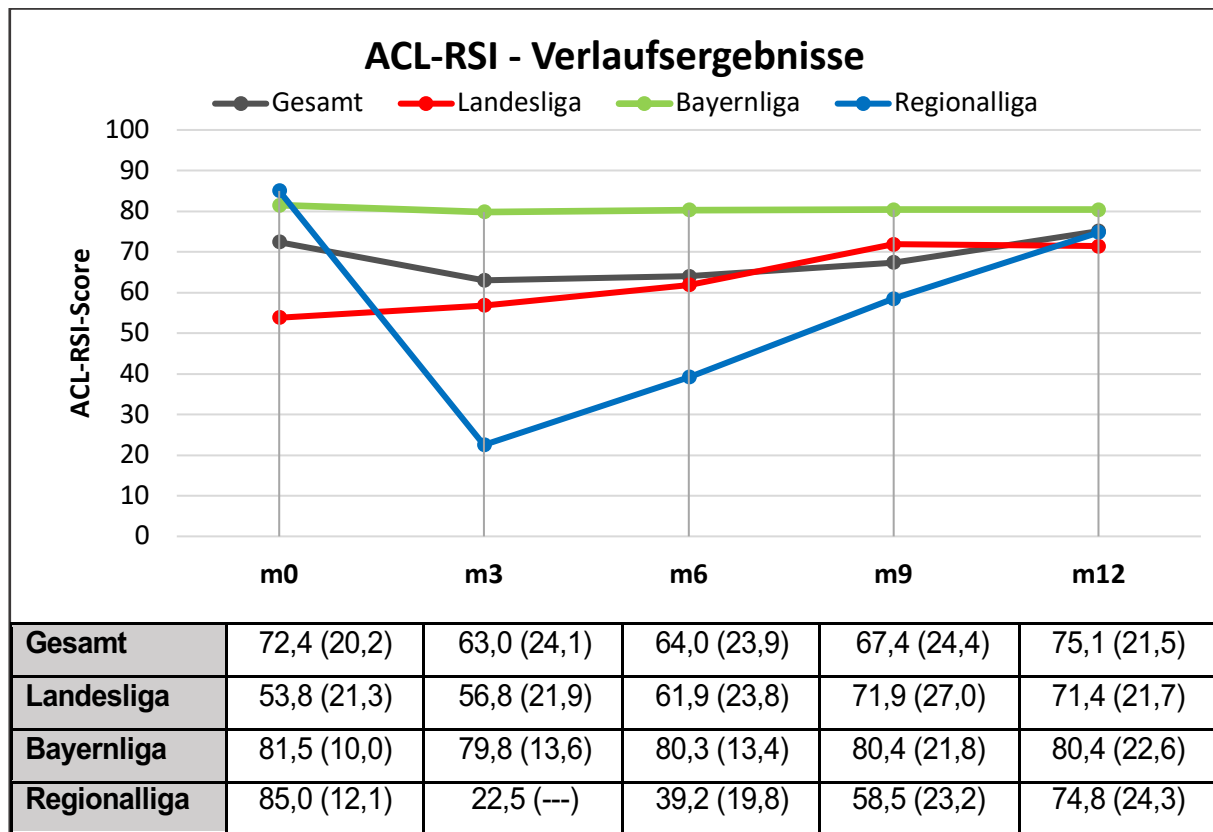


Abbildung 18: Verlaufsergebnisse des ACL-RSI (Mittelwerte, SD in Klammern)

4.1.4 Körperliche und mentale Gesundheit

Mithilfe des SF-12 konnte sowohl die körperliche als auch mentale Gesundheit der Teilnehmer im Vergleich evaluiert werden. Zum Zeitpunkt der Verletzung betrugen die Durchschnittswerte des PCS und MCS 46,83 (SD 10,02) bzw. 48,29 (SD 10,02) Punkte. In den darauffolgenden Monaten konnten Steigerungen auf beiden Gesundheitsskalen beobachtet werden. Der PCS erreichte seinen höchsten Durchschnittswert zum Abfragezeitpunkt m12, während der MCS seinen Spitzenwert zum Zeitpunkt m6 erzielte (s. Abbildung 19 und Abbildung 20). Zudem erfolgte eine Klassifizierung der individuellen PCS- und MCS-Werte anhand der Werte einer deutschen Normbevölkerung (Gandek et al. 1998, s. Tabelle 9 und Tabelle 10). Zum Zeitpunkt der Verletzung zeigte sich die körperliche Gesundheit anhand der PCS-Werte von über 40% der Studienteilnehmer im Vergleich zur Normalbevölkerung deutlich eingeschränkt. Im Verlauf konnte eine stetige Verbesserung festgestellt werden, wobei die Mehrheit der Studienteilnehmer ihre körperliche Gesundheit nach zwölfmonatiger Rehabilitation als vergleichbar mit der Normalbevölkerung

einschätzten. Die mentale Komponente wies zu Beginn der Verletzung ein breiter gestreutes Ergebnisfeld der individuellen MCS-Werten auf. Während der Rehabilitation zeigte sich ein Wandel zur überwiegenden Übereinstimmung der mentalen Komponente mit der Normalbevölkerung (s. Tabelle 9 und Tabelle 10).

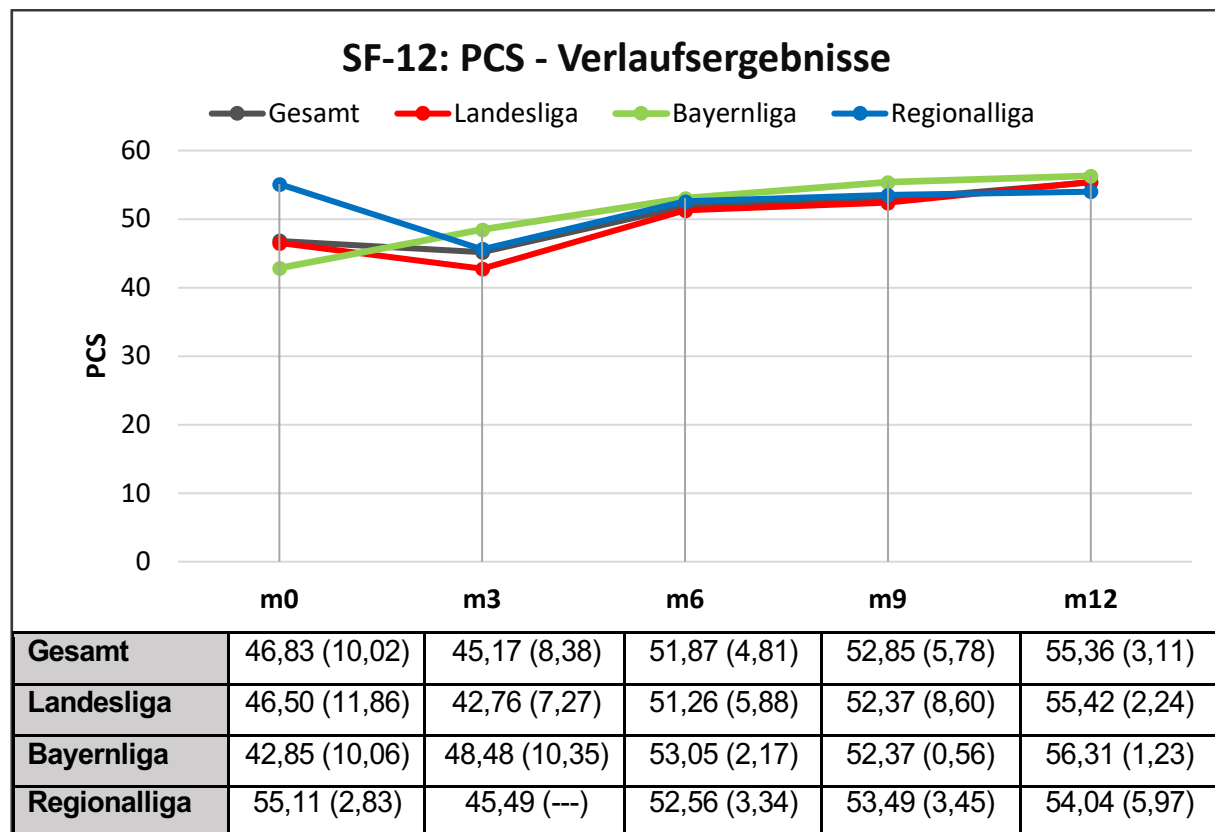


Abbildung 19: Verlaufsergebnisse des PCS des SF-12 (Mittelwerte, SD in Klammern)

Tabelle 9 Einteilung der individuellen PCS-Werte der Teilnehmer entsprechend den Normwerten einer deutschen Bevölkerung (s. Gandek et al. 1998; Absolute Zahlen, prozentualer Anteil an der Studienpopulation in Klammern)

	PCS-Werte				
	-2SD	-1SD	Z-Score	+1SD	+2SD
m0	5 (41,7%)	0 (0%)	7 (58,3%)	0 (0%)	0 (0%)
m3	3 (23,1%)	4 (30,8%)	6 (46,2%)	0 (0%)	0 (0%)
m6	1 (5,6%)	1 (5,6%)	16 (88,9%)	0 (0%)	0 (0%)
m9	1 (7,1%)	0 (0%)	13 (92,9%)	0 (0%)	0 (0%)
m12	0 (0%)	1 (5,6%)	16 (88,9%)	1 (5,6%)	0 (0%)

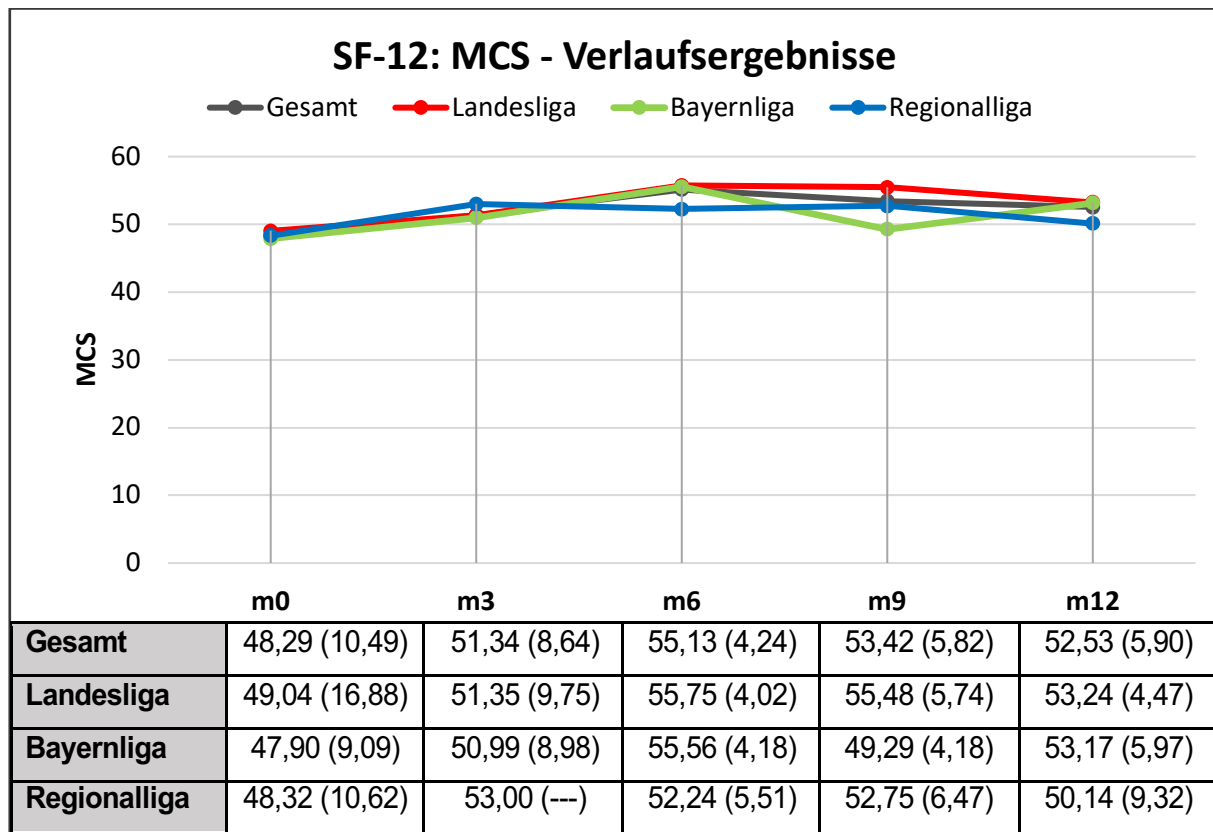


Abbildung 20: Verlaufsergebnisse des MCS des SF-12 (Mittelwerten, SD in Klammern)

Tabelle 10 Einteilung der individuellen MCS-Werte der Teilnehmer entsprechend den Normwerten einer deutschen Bevölkerung (s. Gandek et al. 1998; absolute Zahlen, prozentualer Anteil an der Studienpopulation in Klammern)

	MCS-Werte				
	-2SD	-1SD	Z-Score	+1SD	+2SD
m0	2 (16,7%)	1 (8,3%)	7 (58,3%)	2 (16,7%)	0 (0%)
m3	1 (7,7%)	1 (7,7%)	11 (84,6%)	0 (0%)	0 (0%)
m6	0 (0%)	0 (0%)	16 (88,9%)	2 (11,1%)	0 (0%)
m9	0 (0%)	1 (7,1%)	12 (85,7%)	1 (7,1%)	0 (0%)
m12	0 (0%)	1 (5,6%)	15 (83,3%)	2 (11,1%)	0 (0%)

4.2 Auswertung der RTP-Testbatterie

4.2.1 Beschwerdebild sowie Aktivitätsniveau am RTP-Testtag

Zu Beginn der RTP-Testung wurden allgemeine Daten zum Teilnehmer und dessen aktueller Verletzungssituation erfasst. Insbesondere wurden anhaltende

Beschwerden, Schmerzen, Instabilität sowie Funktionseinschränkungen abgefragt. Aufgrund unvollständiger Informationen einzelner Teilnehmer beziehen sich die Angaben zur allgemeinen Beschwerdesituation auf 25 Teilnehmer. Von den Teilnehmern berichteten 52,0% von anhaltenden Beschwerden im verletzten Knie, die entweder bei Belastung oder bei der Ausführung bestimmter Bewegungen auftraten. Weiterhin äußerten 70,8% der Teilnehmer Schmerzen im verletzten Knie zu haben und ordneten diese anhand einer Schmerzskala von 1-10 (1 = minimaler Schmerz; 10 = stärkster vorstellbarer Schmerz) bei einer mittleren Schmerzstärke von 2,1 ein (SD 1,3). Zudem berichteten 66,7% der Teilnehmer von einer Instabilität im verletzten Knie, welche sie anhand einer Skala von 1-10 (1 = minimale Instabilität; 10 = stärkste vorstellbare Instabilität) einen durchschnittlichen Instabilitätsgrad von 2,8 (SD 1,8) zuwiesen. Insgesamt berichteten 54,2% der Teilnehmer, keinerlei Funktionseinschränkung in ihrem verletzten Knie zu empfinden, während 45,8% der Teilnehmer Funktionsdefizite wie reduzierten Bewegungsumfang, Schwierigkeiten beim Knien oder Hocken, Beeinträchtigung durch Schmerzen oder Instabilität und Leistenprobleme äußerten.

In der Auswertung des mLKS und der Tegner Aktivitätsskala am RTP-Testtag gaben die Teilnehmer zwar einen hohen, durchschnittlichen mLKS-Wert an, beklagten aber das erniedrigte Aktivitätsniveau im Vergleich zum Vor-Verletzungs-Niveau sowie zu ihrem Ziel-Niveau (s. Tabelle 11).

In der Kniegelenksmessung wurde eine Spannbreite von +1,0 bis -1,6cm festgestellt, hierbei wies die ungefähr die Hälfte der Teilnehmer (52,0%) einen größeren Umfang des verletzten Kniegelenkes im Seitenvergleich auf, während 28,0% einen verringerten und 20,0% einen identischen Umfang zeigten. Im Mittel konnte einer Verringerung des Oberschenkel- sowie Unterschenkel-Umfanges des verletzten Beines im Seitenvergleich gemessen werden. Die Umfangsdifferenzen der Wadenmuskulatur variierten zwischen +1,5 und -1,5 cm und am Oberschenkel zwischen +0,5 und -3,0 cm (OS I) bzw. +1,5 bis -6,0 cm (OS II) (s. Tabelle 12). Insgesamt wiesen 60,0% der Teilnehmer am Wadenmesspunkt auf der verletzten Seite einen kleineren Muskelumfang auf, am Oberschenkel zeigten sogar 88,0% (OS I) bzw. 84,0% (OS II) einen reduzierten Muskelumfang auf.

Tabelle 11 mLKS und Tegner Aktivitätsskala zum Zeitpunkt der RTP-Testung (Mittelwerte, SD in Klammern)

	mLKS	Tegner Aktivitätsskala		
		Vor Verletzung	Aktuell	Ziel
Gesamt	92,4 (6,4)	9,2 (0,4)	6,3 (1,7)	9,2 (0,4)
Landesliga	91,7 (6,7)	9,2 (0,4)	5,7 (1,5)	9,2 (0,4)
Bayernliga	93,5 (6,7)	9,0 (0,0)	6,4 (1,8)	9,0 (0,0)
Regionalliga	93,0 (6,1)	9,3 (0,5)	7,4 (1,6)	9,3 (0,5)

Tabelle 12 Umfangsdifferenzen des verletzten Beines im Vergleich zum nicht-verletzten Bein (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Umfangsdifferenzen in [cm]			
	Kniegelenk	Wade	OS I	OS II
Gesamt	0,1 (0,7)	-0,4 (0,9)	-1,4 (0,9)	-1,6 (1,8)
Landesliga	0,0 (0,7)	-0,6 (0,5)	-1,2 (1,0)	-2,0 (2,1)
Bayernliga	0,0 (1,1)	-0,2 (1,1)	-1,5 (0,7)	-0,4 (1,0)
Regionalliga	0,5 (0,4)	-0,2 (1,2)	-1,8 (0,9)	-1,9 (1,7)

4.2.2 Ergebnisse der einzelnen Sporttests der RTP-Testbatterie

Teilnahme am RTP-Test nach Sporttest

Insgesamt absolvierten 30 Teilnehmer die RTP-Testung, wobei einzelne Teilnehmer bestimmte Sporttests nicht oder inkorrekt ausführten (s. Tabelle 13).

Tabelle 13 Teilnahme am jeweiligen Sporttest der RTP-Testung (1. Zahl = teilgenommen, 2. Zahl = nicht-teilgenommen/fehlerhafte Ausführung)

	Teilnahme an den einzelnen RTP-Sporttestungen						
	1BT	TT	2DJ	HFD	SHT	LSC	Kraft
Gesamt	30 / 0	28 / 2	30 / 0	29 / 1	27 / 3	30 / 0	30 / 0
Landesliga	14 / 0	13 / 1	14 / 0	14 / 0	13 / 1	14 / 0	14 / 0
Bayernliga	8 / 0	8 / 0	8 / 0	8 / 0	6 / 2	8 / 0	8 / 0
Regionalliga	8 / 0	8 / 0	8 / 0	7 / 1	8 / 0	8 / 0	8 / 0

Einbeiniger Balance-Test

Die Ergebnisanalyse des 1BT ergab einen durchschnittlichen Balance-Score von 3,05 auf der verletzten Seite sowie 3,00 auf der gesunden Seite. Der durchschnittliche LSI-Wert aller Teilnehmer lag bei 99,56% (SD 15,81), hierbei betrug der höchste gemessene LSI-Wert 130,14% und der niedrigste 70,11% (s. Tabelle 14). Insgesamt konnten 70% der Teilnehmer den LSI-Grenzwert von 90% erreichen (s. Abbildung 21).

Tabelle 14 Auswertung des 1BT (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Balance-Score		
	Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie	LSI (Balance) [%]
Gesamt	3,05 (0,66)	3,00 (0,69)	99,56 (15,81)
Landesliga	2,82 (0,66)	2,71 (0,68)	97,66 (19,05)
Bayernliga	3,56 (0,38)	3,49 (0,55)	98,14 (3,77)
Regionalliga	2,95 (0,65)	3,04 (0,61)	104,30 (11,71)

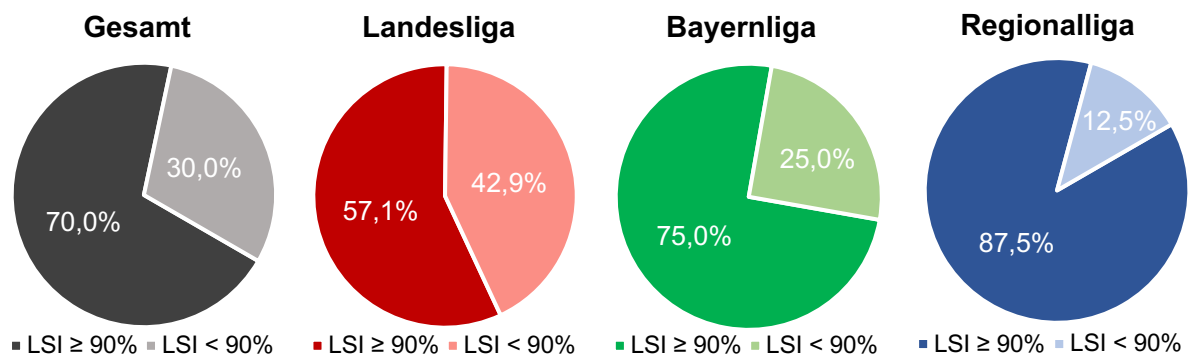


Abbildung 21: Erfüllung des RTP-Kriteriums des 1BT: LSI (Balance)

Entsprechend der Einteilung der individuellen Leistungen anhand der normativen Daten von Hildebrandt et al. (Hildebrandt et al. 2015, s. Tabelle 2) konnten etwa 16,7% der Teilnehmer mit dem verletzten Knie eine Wertung von „Sehr gut“ oder „Gut“ erzielen, während mit der nicht-verletzten Seite 20,0% diese Resultate erreichen konnten. Dagegen erhielten 46,7% bzw. 36,7% der Teilnehmer die Wertungen „Schwach“ bis „Sehr schwach“ für ihre Leistungen mit dem verletzten bzw. nicht-verletzten Bein. Bei Betrachtung der Subgruppen zeigten sich Unterschiede in der Verteilung der individuellen Leistungen. Insbesondere sticht der erhöhte Anteil an „sehr schwachen“ und „schwachen“ Leistungen in der Bayernliga

im Vergleich zur Gesamtgruppe und den Subgruppen hervor (s. Abbildung 22 und Abbildung 23).

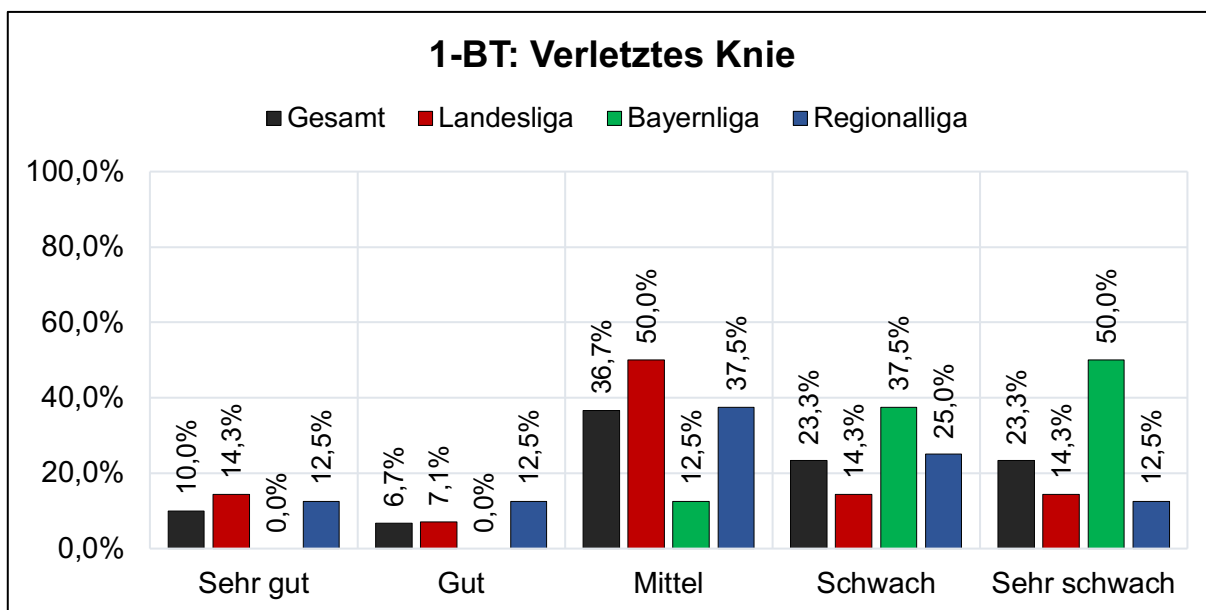


Abbildung 22: Einteilung der Balance-Scores der verletzten Seite anhand der normativen Daten von Hildebrandt et al. 2015, Angabe in Prozent

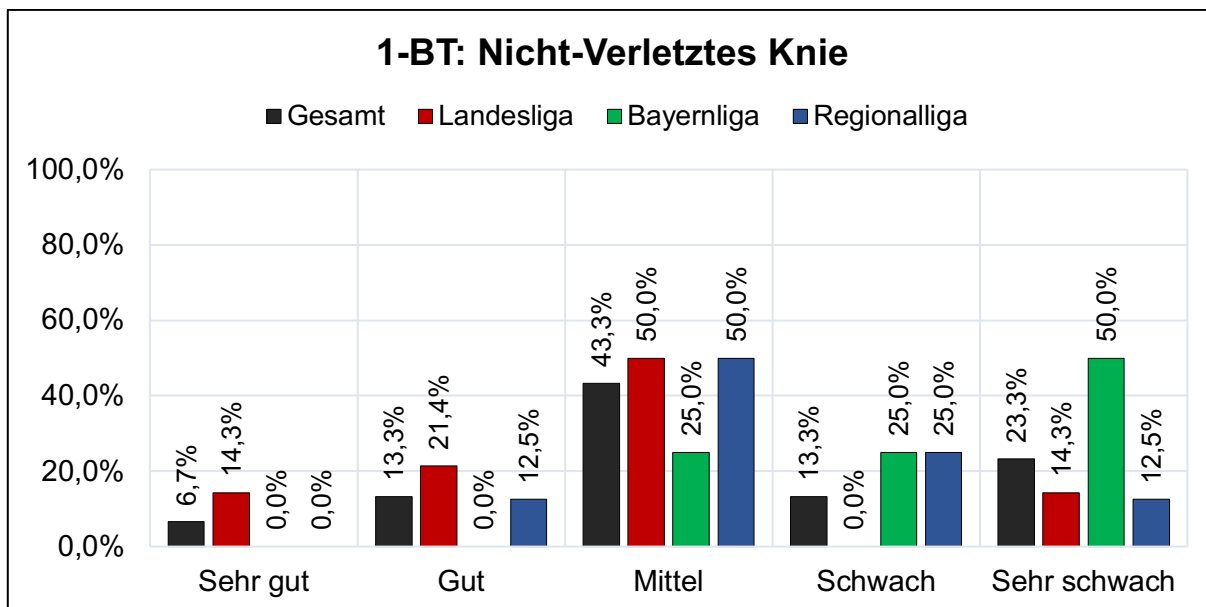


Abbildung 23: Einteilung der Balance-Scores der nicht-verletzten Seite anhand der normativen Daten von Hildebrandt et al. 2015, Angabe in Prozent

Tapping-Test

In der Gesamtgruppe zeigten sich eine Durchschnittswerte der Tappingfrequenz von 10,45 Hz, der BKZ von 99 ms sowie des Tappingkoeffizient von 10,75. In den Subgruppen unterschieden sich die Ergebnisse leicht zueinander. Der LSI der BKZ wurde als RTP-Kriterium für den TT ausgewählt und betrug in der Gesamtgruppe sowie in allen Subgruppen etwa 100% (s. Tabelle 15). In der individuellen Einteilung des LSI der BKZ erreichten 27 der 28 Teilnehmer den LSI-Grenzwert von 90% (s. Abbildung 24). Ein Landesliga-Spieler lag mit einem LSI-Wert von 87,7% unterhalb des Grenzwertes.

Tabelle 15 Auswertung des TT (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Tapping-Test			
	Tapping-frequenz [Hz]	Bodenkontakt-zeit [ms]	Tapping-koeffizient	LSI (BKZ, TT) [%]
Gesamt	10,45 (0,99)	99 (11)	10,75 (1,98)	100,0 (6,3)
Landesliga	10,09 (0,82)	99 (11)	10,41 (1,75)	101,3 (7,1)
Bayernliga	10,42 (1,06)	99 (9)	10,62 (2,02)	98,0 (5,9)
Regionalliga	11,04 (1,09)	98 (15)	11,51 (2,41)	99,8 (5,5)

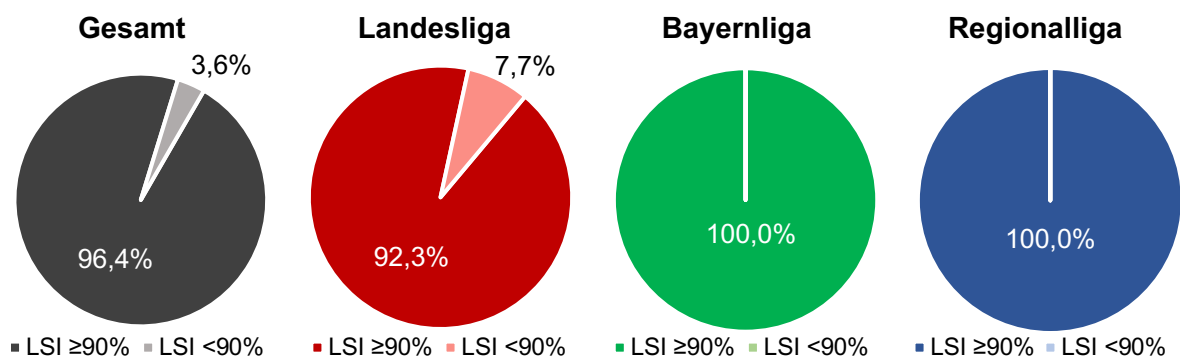


Abbildung 24: Erfüllung des RTP-Kriteriums des TT: LSI (BKZ)

Es erfolgte die Klassifizierung der individuellen Leistungen der Teilnehmer adaptiert an die Bewertungswerte der VBG (s. Tabelle 3). Hierbei zeigten sich vor allem in den Kategorien Tappingfrequenz und -koeffizient Leistungsdefizite mit mehrheitlich „mittelmäßigen“ bis „schlechten“ Ergebnissen der Teilnehmer (s. Abbildung 25, Abbildung 26 und Abbildung 27).

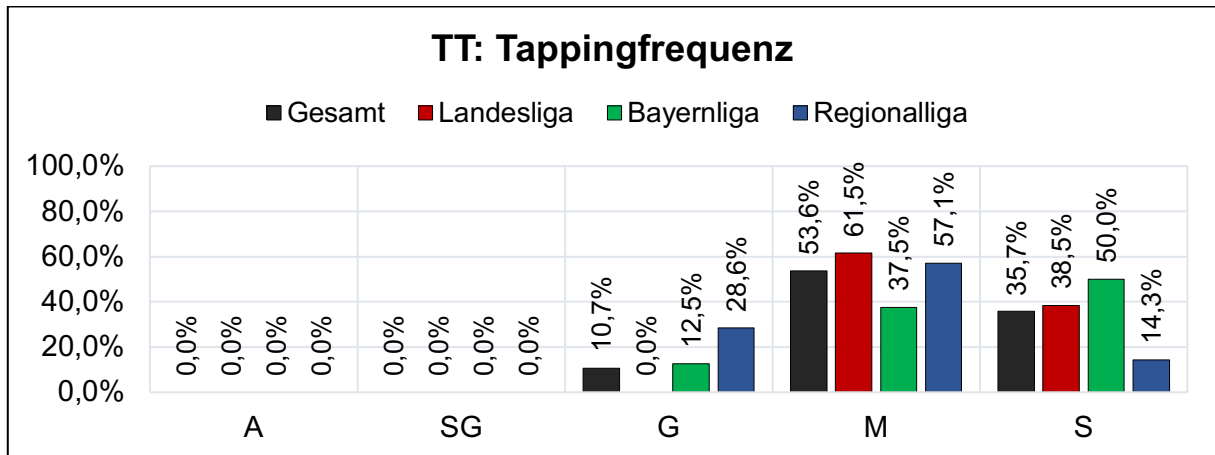


Abbildung 25: Einteilung der Tappingfrequenz adaptiert an die Bewertungstabelle der VBG (s. Tabelle 3), Angabe in Prozent

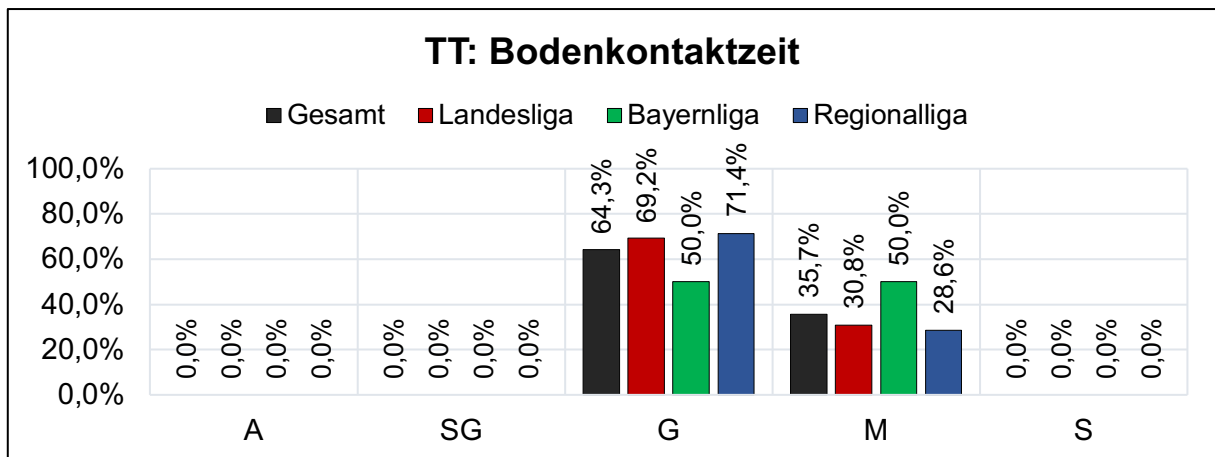


Abbildung 26: Einteilung der BKZ adaptiert an die Bewertungstabelle der VBG (s. Tabelle 3), Angabe in Prozent

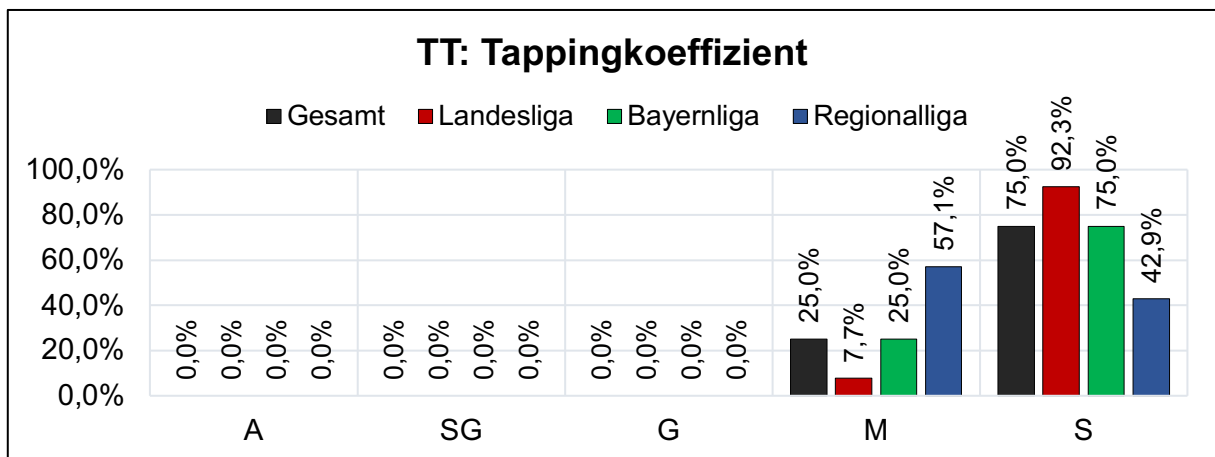


Abbildung 27: Einteilung des Tappingkoeffizienten adaptiert an die Bewertungstabelle der VBG (s. Tabelle 3), Angabe in Prozent

Beidbeiniger Drop Jump

Die Auswertung des 2DJ ergab für alle Teilnehmer Durchschnittswerte der BKZ von 0,322 s (SD 0,072), der Sprunghöhe von 40,1 cm (SD 6,7) sowie des RSI von 1,30 m/s (SD 0,33). Im Subgruppenvergleich zeigte sich unter anderem eine Erhöhung der Durchschnittswerte des RSI mit Steigerung des Leistungsniveaus in Abhängigkeit von der Spielklasse (s. Tabelle 16). Die deutliche Mehrheit der Teilnehmer konnte den RSI-Grenzwert von 1,00 m/s als RTP-Kriterium erreichen (s. Abbildung 28).

Tabelle 16 Auswertung des 2DJ (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Beidbeiniger Drop Jump		
	Mittlere BKZ [s]	Mittlere Sprunghöhe [cm]	Mittlerer RSI [m/s]
Gesamt	0,322 (0,072)	40,1 (6,7)	1,30 (0,33)
Landesliga	0,336 (0,057)	39,5 (5,5)	1,21 (0,22)
Bayernliga	0,300 (0,046)	39,7 (10,1)	1,34 (0,35)
Regionalliga	0,320 (0,105)	41,6 (3,5)	1,43 (0,40)

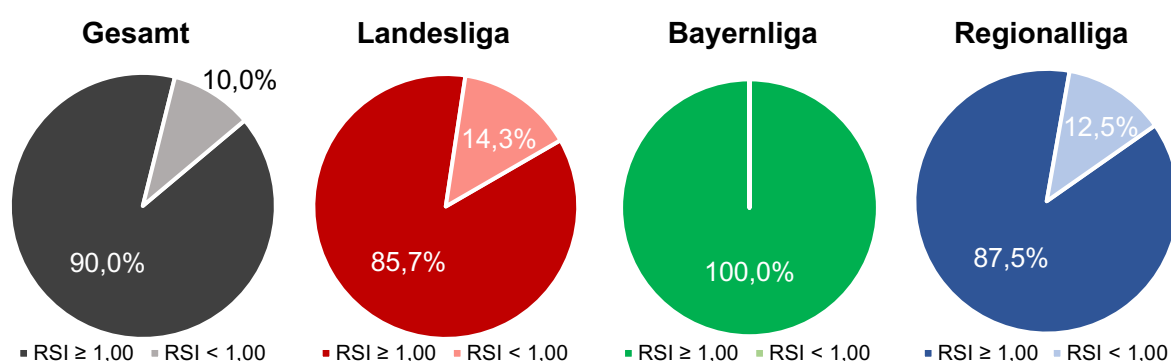


Abbildung 28: Erfüllung des RTP-Kriteriums des 2DJ: RSI

Einbeiniger Hop for Distance

Die erzielten Sprungdistanzen der einzelnen Teilnehmer variierten stark zueinander. Mit dem verletzten Bein betrug die maximale Sprungdistanz eines Teilnehmers 271,4 cm, während die minimale Distanz durch einen anderen Teilnehmer bei 118,3 cm lag. Ein vergleichbares Bild zeigte sich auf der gesunden Seite mit Sprungdistanzen zwischen 172,0 cm und 259,3 cm. Im Durchschnitt sprangen aller Teilnehmer mit der verletzten Seite eine Distanz von 193,7 cm. Die mittleren Sprungdistanzen mit dem nicht-verletzten Bein waren insgesamt weiter als mit dem verletzten Bein. Zudem

erzielten die Bayern- und Regionalligaspieler höhere Durchschnittswerte als die Landesligisten mit dem verletzten als auch gesunden Bein (s. Tabelle 17).

Tabelle 17 Auswertung der maximalen Distanz des HFD (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Einbeiniger Hop for Distance		
	Maximale Distanz [cm]		LSI (HFD) [%]
	Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie	
Gesamt	193,7 (27,8)	207,8 (19,0)	93,2 (9,9)
Landesliga	180,1 (26,0)	202,3 (14,9)	89,3 (12,1)
Bayernliga	207,3 (29,3)	212,7 (27,3)	97,5 (5,7)
Regionalliga	205,2 (12,1)	213,4 (9,1)	96,2 (4,3)

In der Einteilung der individuellen LSI-Werte konnten 70% der Teilnehmer den Grenzwert von gleich oder über 90% erreichen, während 30% das RTP-Kriterium nicht erfüllten. In den einzelnen Subgruppen zeigte sich eine davon abweichende Häufigkeitsverteilung (s. Abbildung 29).

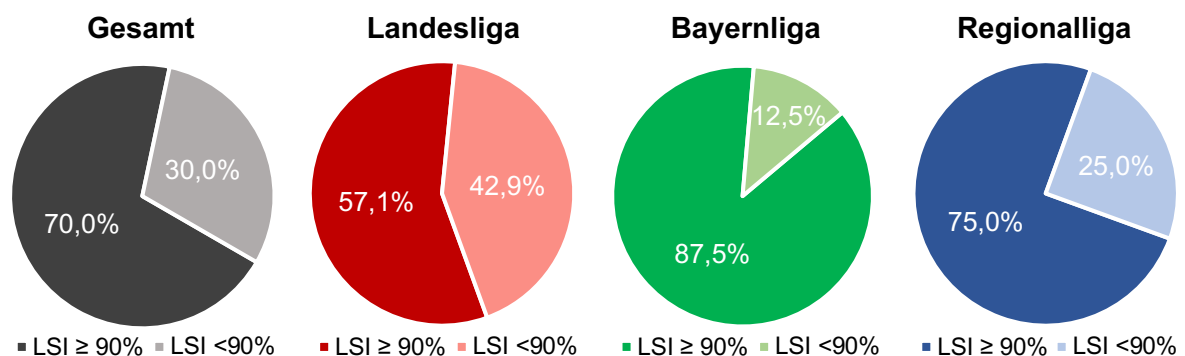


Abbildung 29: Erfüllung des RTP-Kriteriums des HFD: LSI (max. Distanz)

Einbeiniger Side Hop Test

Die zur Durchführung des SHT mit dem verletzten Knie benötigte Gesamtzeit belief sich im Mittel auf 8,38s. Im Vergleich dazu waren die Teilnehmer bei Ausführung mit der gesunden Seite durchschnittlich 200ms schneller. Je höher das Spielniveau lag, desto kürzere mittlere Gesamtzeiten erreichten die Teilnehmer in den jeweiligen Subgruppen. Weiterhin konnten Differenzen der Flugzeiten im Millisekunden-Bereich registriert werden, wobei die Teilnehmer minimal kürzere Flugzeiten mit der verletzten Seite erreichten (s. Tabelle 18). Dagegen erzielten die Teilnehmer mit der gesunden Seite kürzere Bodenkontaktzeiten als mit der verletzten Seite, wobei

Differenzen im Zehntelsekunden-Bereich gemessen wurden. Der durchschnittliche LSI-Wert der Bodenkontaktzeit betrug 94,9% (s. Tabelle 19). Zwei Drittel der Teilnehmer konnten den LSI-Grenzwert der Bodenkontaktzeit erreichen, während ein Drittel, insbesondere die Landesligisten, dies nicht bewältigten (s. Abbildung 30).

Tabelle 18 Auswertung der Gesamtzeit und der mittleren Flugzeit des SHT (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Einbeiniger Side Hop Test			
	Gesamtzeit [s]		Mittlere Flugzeit [s]	
	Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie	Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie
Gesamt	8,38 (1,03)	8,18 (0,85)	0,101 (0,018)	0,104 (0,022)
Landesliga	8,52 (0,83)	8,21 (0,46)	0,103 (0,013)	0,105 (0,017)
Bayernliga	8,38 (0,80)	8,41 (0,97)	0,102 (0,011)	0,109 (0,024)
Regionalliga	8,16 (1,38)	7,96 (1,15)	0,097 (0,027)	0,099 (0,025)

Tabelle 19 Auswertung der mittleren BKZ des SHT (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Einbeiniger Side Hop Test		
	Mittlere Bodenkontaktzeit [s]		LSI in [%]
	Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie	
Gesamt	0,248 (0,039)	0,233 (0,025)	94,9 (9,5)
Landesliga	0,255 (0,036)	0,237 (0,017)	94,3 (12,3)
Bayernliga	0,246 (0,039)	0,239 (0,030)	97,7 (6,3)
Regionalliga	0,239 (0,041)	0,222 (0,028)	93,6 (5,8)

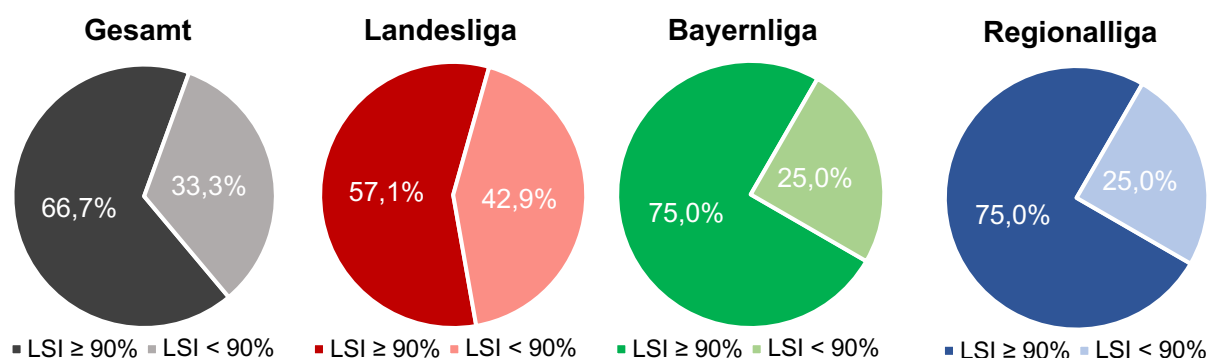


Abbildung 30: Erfüllung des RTP-Kriteriums des SHT: LSI (BKZ, SHT)

Lateral Speed Chase

Die durchschnittliche GZ für die Durchführung des LSC betrug 37,401s. Die schnellste GZ erhielt ein Landesliga-Spieler mit 26,733s, während ein Bayernliga-Spieler mit 49,273s am längsten für den LSC benötigte. Die mittleren Kontaktzeiten des Richtungswechsels auf den äußeren Platten waren auf der verletzten sowie auf der nicht-verletzten fast identisch mit 0,273s bzw. 0,275s. Die Landesligaspieler konnten schnellere Kontaktzeiten mit der verletzten Seite erreichen, während die Regionalligaspieler mit der nicht-verletzten Seite kürzere Kontaktzeiten erzielten. Dies spiegelte sich in den durchschnittlichen LSI-Werten wider (s. Tabelle 20).

Tabelle 20 Auswertung des LSC (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Lateral Speed Chase			
	Gesamtzeit [s]	Mittlere Kontaktzeiten [s]		LSI (Kontaktzeit) [%]
		Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie	
Gesamt	37,401 (4,407)	0,273 (0,055)	0,275 (0,064)	101,4 (14,3)
Landesliga	37,346 (4,390)	0,266 (0,058)	0,280 (0,055)	106,8 (14,9)
Bayernliga	38,653 (4,593)	0,290 (0,065)	0,296 (0,092)	101,0 (14,1)
Regionalliga	36,243 (3,884)	0,268 (0,031)	0,246 (0,015)	92,5 (8,9)

Das RTP-Kriterium des LSC, den LSI der Kontaktzeit, konnten zwei Drittel der Teilnehmer mit einem Wert über oder gleich 90% erfüllen. Die Quote der Landesligaspieler lag hierbei mit 85,7% am höchsten im Vergleich mit den anderen Spielklassen. In der Regionalliga-Gruppe erreichten dagegen nur 37,5% der den LSI-Grenzwert von 90% (s. Abbildung 31).

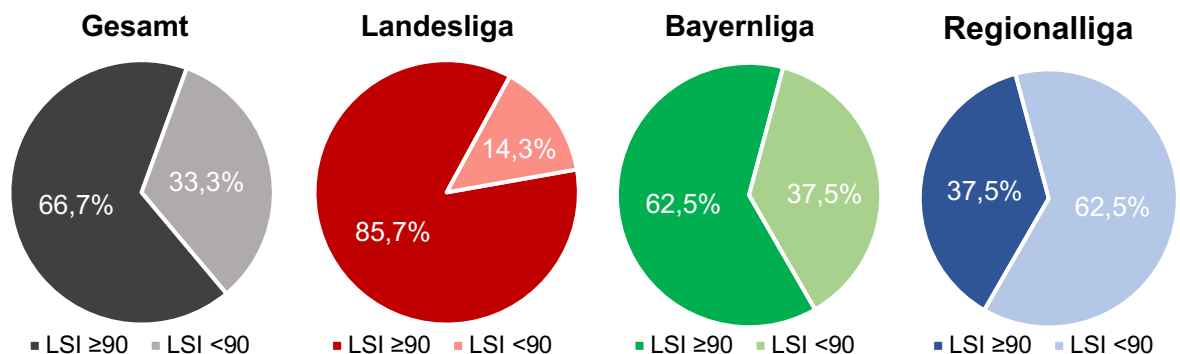


Abbildung 31: Erfüllung des RTP-Kriteriums des LSC: LSI (Kontaktzeit, LSC)

Kraftmessung

Die Durchschnittswerte der mittleren Extensions- und Flexionsdrehmomente betrugen auf der verletzten Seite 179,1 Nm bzw. 139,1 Nm, während sie sich auf der nicht-verletzten Seite auf 195,6 Nm bzw. 154,3 Nm beliefen (s. Tabelle 21 und Tabelle 22). Dies deutete auf eine stärkere Muskelkraft der Extensoren und Flexoren des Oberschenkels auf der gesunden als auf der verletzten Seite hin. Die Analyse der H/Q-Ratio ergab fast identische Durchschnittswerte auf beiden Extremitätenseiten (s. Tabelle 23).

Tabelle 21 Auswertung der Kraftmessung: Extension (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Kraftmessung		
	Mittleres Extensionsdrehmoment [Nm]		LSI (Extensoren) [%]
	Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie	
Gesamt	179,1 (26,1)	195,6 (22,7)	91,7 (9,8)
Landesliga	176,3 (28,8)	190,5 (26,3)	92,8 (11,0)
Bayernliga	174,5 (25,9)	198,3 (20,7)	88,0 (9,5)
Regionalliga	188,7 (17,8)	202,0 (14,2)	93,5 (7,9)

Tabelle 22 Auswertung der Kraftmessung: Flexion (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Kraftmessung		
	Mittleres Flexionsdrehmoment [Nm]		LSI (Flexoren) [%]
	Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie	
Gesamt	139,1 (32,0)	154,3 (34,2)	90,8 (12,4)
Landesliga	129,0 (34,8)	145,7 (33,8)	88,8 (12,9)
Bayernliga	147,9 (30,1)	165,3 (35,7)	90,6 (13,6)
Regionalliga	148,0 (22,1)	158,5 (29,0)	94,5 (11,0)

Tabelle 23 Auswertung der Hamstrings-Quadriceps-Ration (Mittelwerte, SD in Klammern)

	Hamstrings-Quadriceps-Ratio	
	Verletztes Knie	Nicht-verletztes Knie
Gesamt	0,78 (0,15)	0,79 (0,15)
Landesliga	0,73 (0,15)	0,76 (0,13)
Bayernliga	0,85 (0,13)	0,83 (0,16)
Regionalliga	0,79 (0,15)	0,79 (0,15)

Die RTP-Kriterien für die Extensions- sowie die Flexionskraft konnten von 50% bzw. 40% der Teilnehmer nicht erfüllt werden, hierbei stellte sich die Verteilung in den Subgruppen Landes-, Bayern- und Regionalliga weitestgehend vergleichbar dar (s. Abbildung 32 und Abbildung 33).

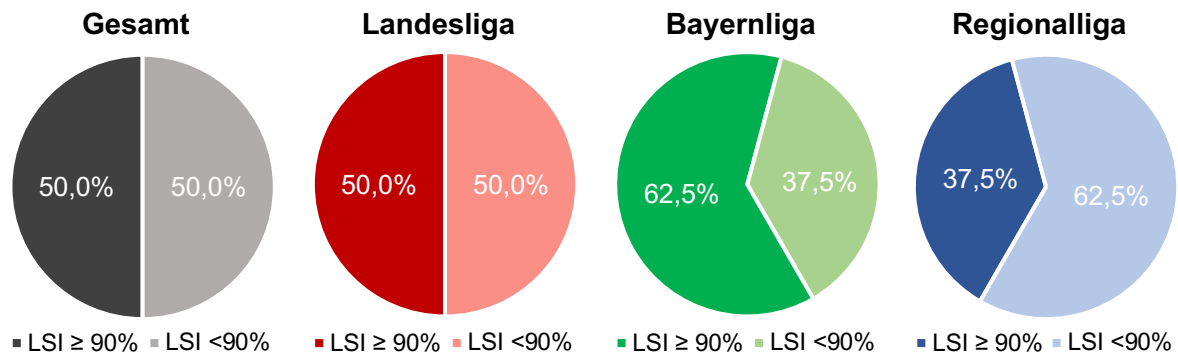


Abbildung 32: Erfüllung des RTP-Kriteriums der Extensionskraft: LSI (Extensoren)

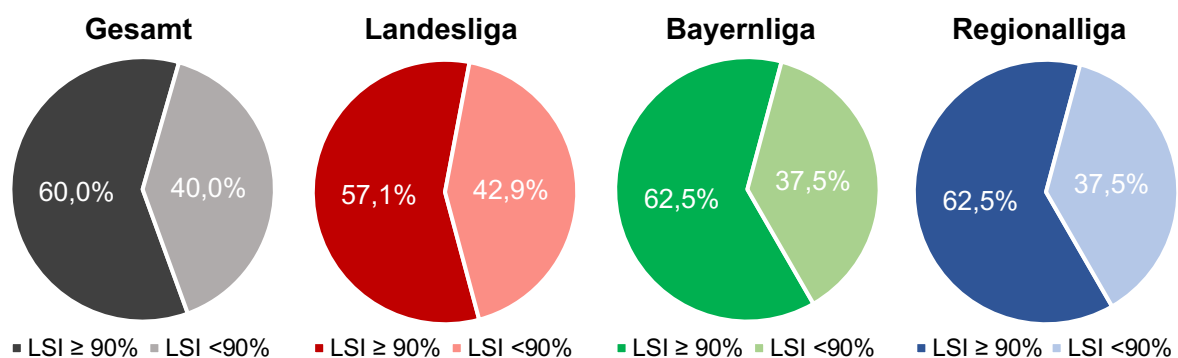


Abbildung 33: Erfüllung des RTP-Kriteriums der Flexionskraft: LSI (Flexoren)

4.2.3 Return-to-play-Score

Final erfolgte die Zusammenfassung aller RTP-Kriterien und Bestimmung des RTP-Scores der Teilnehmer zur Einschätzung der aktuellen Spielfähigkeit und zur Beurteilung der Gesamtsituation. Vier der 30 Teilnehmer (ein Regional-, zwei Bayern- und ein Landesligafußballer) absolvierten nicht alle Sporttests, hierfür wurde das entsprechende Kriterium als „nicht erfüllt“ gewertet.

Der durchschnittliche RTP-Score aller Teilnehmer betrug 2,4, wobei am häufigsten die Bewertung „Mittel“ erzielt wurde. In den einzelnen Spielklassen erreichten die Bayernliga-Spieler mit durchschnittlich 1,8 den „besten“ RTP-Score. Die Landes- sowie Regionalliga-Spieler erhielten durchschnittliche RTP-Scores von 2,6 bzw. 2,5 (s. Tabelle 24 und Abbildung 34). Die Teilnehmer erfüllten am häufigsten die RTP-

Kriterien des TT sowie des 2DJ und scheiterten am meisten an den Grenzwerten der Kraftmessungskriterien, Extensions- sowie Flexionskraft (s. Abbildung 35).

Tabelle 24 RTP-Score entsprechend der Gruppenzugehörigkeit (Mittelwerte, SD in Klammern) sowie dessen Verteilung (absolute Zahlen)

	RTP-Score	RTP-Score-Verteilung		
		Gut	Mittel	Schlecht
Gesamt	2,4 (1,5)	4	19	7
Landesliga	2,6 (1,7)	2	7	5
Bayernliga	1,8 (1,3)	2	5	1
Regionalliga	2,5 (1,0)	0	7	1

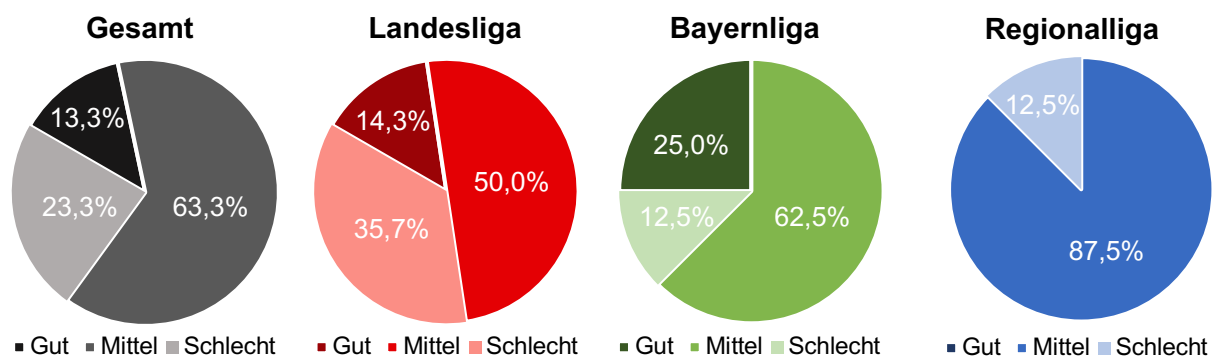


Abbildung 34: Bewertung und Einteilung der RTP-Scores

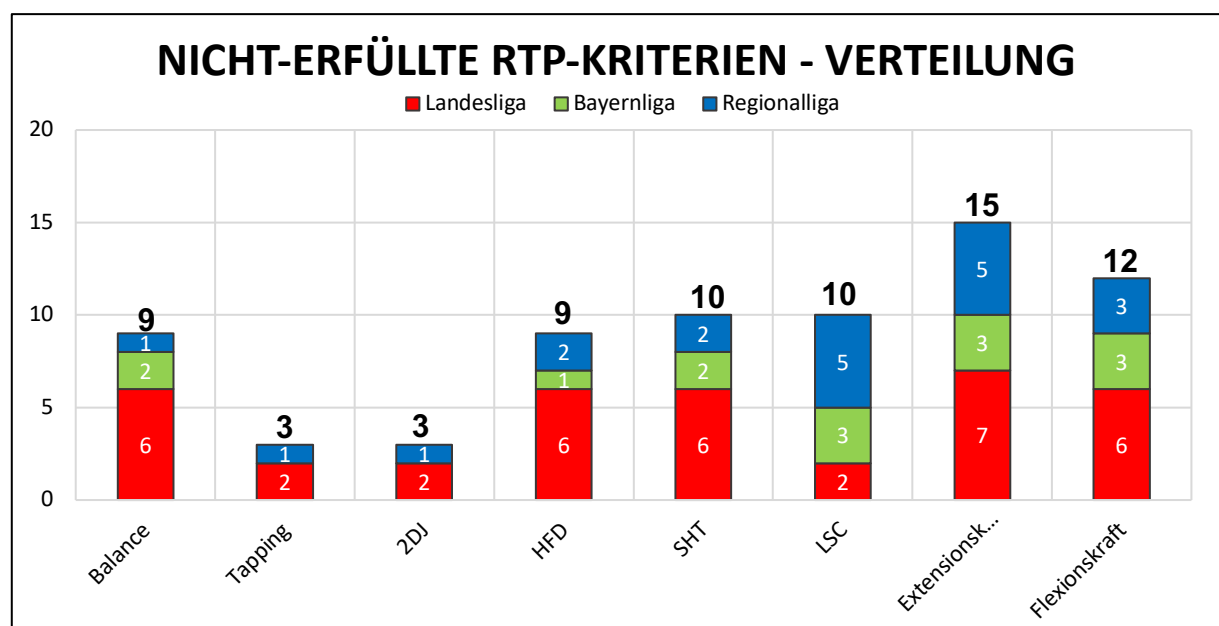


Abbildung 35: Anzahl der Nicht-Erfüllten-RTP-Kriterien des jeweiligen Sporttests in absoluten Zahlen (Gesamtanzahl oberhalb der Säulen)

4.3 Return to play und 5-Jahres-Follow-Up

Die Mehrheit der Teilnehmer (89,5%) konnte ihr RTP nach der Kreuzband-Verletzung erreichen. Für ihre fußballerische Rückkehr in den Spielbetrieb benötigten die Teilnehmer im Durchschnitt 375,3 Tage. Das schnellste RTP erreichte ein Bayerliga-Spieler mit 273 Tagen, während die längste RTP-Dauer aufgrund einer erneuten VKB-Ruptur innerhalb der Rehabilitationszeit 634 Tage betrug. Vier Spieler gaben die Sportart Fußball nach der Verletzung auf (s. Tabelle 25). Die Rehabilitationszeit bis zum RTP war bei den Teilnehmern mit besseren RTP-Scores durchschnittlich kürzer als bei denen mit schlechtem RTP-Score (s. Tabelle 26). Von zwei Regionalligaspielern und einem Bayernligaspieler mit RTP-Scores „mittel“ konnten die RTP-Zeiten nicht gewertet werden. Ein Regionalligaspieler legte bei HKB-Ruptur keine Spielpause ein, die anderen beiden Teilnehmer erlitten erneute VKB-Rupturen während der Rehabilitation.

Tabelle 25 RTP-Score entsprechend der Gruppenzugehörigkeit (Mittelwerte, SD in Klammern) sowie dessen Verteilung (absolute Zahlen)

Liga	Return to play aller Teilnehmer		
	RTP erreicht	Kein RTP	Zeit zw. Verletzung und RTP in Tagen
Gesamt	34 (89,5%)	4 (10,5%)	375,3 (90,1)
Landesliga	18 (90,0%)	2 (10,0%)	383,9 (86,4)
Bayernliga	9 (90,0%)	1 (10,0%)	367,3 (109,1)
Regionalliga	7 (87,5%)	1 (12,5%)	358,8 (81,4)

Tabelle 26 Return-to-play der RTP-Test-Teilnehmer (absolute Zahlen, prozentualer Anteil in Klammern bzw. Mittelwerte, SD in Klammern)

RTP-Score	Return to play der RTP-Testteilnehmer entsprechend RTP-Score		
	RTP erreicht	Kein RTP	Zeit zw. Verletzung und RTP in Tagen
Gut	4 (100,0%)	0 (0,0%)	315,3 (35,3)
Mittel	16 (84,2%)	3 (15,8%)	315,6 (106,9)
Schlecht	7 (100,0%)	0 (0,0%)	429,3 (98,4)

Im 5-Jahres-Follow-Up, das im Mittel nach $5,0 \pm 0,3$ Jahren erfolgte, wurden die Informationen zur Spielaktivität und Verletzungshistorie von 28 Teilnehmern (davon 25 RTP-Testteilnehmer) durch persönliche Angaben sowie von drei weiteren RTP-Teilnehmern durch Internetrecherche gesammelt. Die Mehrheit der Teilnehmer

(61,3%) setzte ihre fußballerische Karriere fort. Während das Spielniveau bei den meisten Teilnehmern abnahm, konnten zwei Teilnehmer das Liganiveau halten und zwei weitere Teilnehmer ihr Spielklasse erhöhen. Zudem waren zwei weitere Fußballer zum Zeitpunkt des Follow-Ups in ausländischen Ligen aktiv (2. österreichische Bundesliga, 5. Liga Tschechische Republik). Trotzdem beendeten 38,7% der Teilnehmer ihre fußballerische Karriere im Verlauf (s. Tabelle 27). Als Gründe für das Karriereende sowie für die Reduktion des Spielniveaus wurden die erlittenen Verletzungen, Sorge vor erneuten Verletzungen, Zeitmangel aufgrund familiärer oder beruflicher Verpflichtungen sowie das erreichte Lebensalter benannt. Weiterhin berichteten 38,7% der Teilnehmer, eine weitere schwere Knieverletzung im Sinne einer vorderen Kreuzbandruptur erlitten zu haben. Fünf Spieler wiesen nach fünf Jahren sogar mehr als zwei Kreuzbandverletzungen in ihrer Verletzungshistorie auf. Der Großteil der Teilnehmer zog sich nach der in der Studie erfassten Kreuzbandverletzung keine erneute schwere Knieverletzung innerhalb von fünf Jahren zu (s. Tabelle 27).

Tabelle 27 Daten des 5-Jahres-Follow-Up (absolute Zahlen, prozentualer Anteil in Klammern); Internetrecherche: www.transfermarkt.de, www.fupa.net

	5-Jahres-Follow-Up			
	Gesamt	Landesliga	Bayernliga	Regionalliga
Teilnahme				
▪ Persönlich	28 (73,7%)	14 (70,0%)	9 (90,0%)	3 (37,5%)
▪ Internet	3 (7,9%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	5 (62,5%)
▪ Keine Daten	7 (18,4%)	6 (30,0%)	1 (10,0%)	0 (0,0%)
Weitere Verletzung				
▪ VKB	12 (38,7%)	2 (14,3%)	5 (55,6%)	5 (62,5%)
▪ HKB	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
▪ keine	19 (61,3%)	12 (85,7%)	4 (44,4%)	3 (37,5%)
Aktuelles Spielniveau				
▪ Gleiche Liga	2 (6,5%)	1 (7,1%)	0 (0,0%)	1 (12,5%)
▪ Höher	2 (6,5%)	1 (7,1%)	0 (0,0%)	1 (12,5%)
▪ Niedriger	13 (41,9%)	6 (42,9%)	4 (44,4%)	3 (37,5%)
▪ International	2 (6,5%)	1 (7,1%)	0 (0,0%)	1 (12,5%)
▪ Karriereende	12 (38,7%)	5 (35,7%)	5 (55,6%)	2 (25,0%)

Von den RTP-Testteilnehmern waren 75,0% mit einem RTP-Score von „gut“, 58,8% mit einem RTP-Score von „mittel“ und 85,7% mit einem RTP-Score von „schlecht“ im Wettbewerbsfußball fünf Jahre nach der Kreuzbandverletzung noch aktiv. Insgesamt erlitten elf der 28 RTP-Testteilnehmer eine weitere VKB-Ruptur, von denen vor allem die Teilnehmer mit RTP-Score „mittel“ betroffen waren. Hierbei wurden unter weiterer VKB-Ruptur nicht zwischen einer Reruptur oder VKB-Ruptur auf der kontralateralen Seite unterschieden (s. Tabelle 28).

Tabelle 28 Daten des 5-Jahres-Follow-Up bezogen auf den RTP-Score (absolute Zahlen, *fehlende Angabe von 2 Teilnehmern, KE = Karriereende)

RTP-Score	5-Jahres-Follow-Up						
	weitere VKB-Verletzung		Fußballerische Aktivität				
	Ja	Nein	Aktive Liga			KE	Ausland
			höher	gleich	niedriger		
Gut	1	3	0	1	2	1	0
Mittel*	9	8	2	2	5	7	1
Schlecht	1	6	0	0	5	1	1

4.4 Vergleich mit Vorverletzungstest

Im Folgenden erfolgte der Vergleich der sportlichen Leistungen vor der Knieverletzung mit den Ergebnissen der RTP-Testbatterie einzelner Teilnehmer. Die Definition der Extremitäten in „verletzt“ und „nicht-verletzt“ wird entsprechend der zukünftigen Verletzung bereits im 1. Test vor der Verletzung übernommen. Fünf der 30 RTP-Teilnehmer (1x Landesliga, 1x Bayernliga, 3x Regionalliga) absolvierten zum Beginn der Saison 2014/15 den 1BT und den 2DJ, vier davon (1x Landesliga, 1x Bayernliga, 2x Regionalliga) führten auch den SHT durch. Insgesamt wurden in allen Tests unabhängig vom Individuum und von dessen Spielniveau unterschiedliche Ausgangswerte sowie Leistungsentwicklungen beobachtet (s. Tabelle 29, Tabelle 30 und Tabelle 31). In den folgenden Tabellen erfolgten Abkürzungen der Fußballligen wie folgt: LL für Landesliga, BL für Bayernliga und RL für Regionalliga

Tabelle 29 Vergleich der Balance-Scores des RTP-Tests mit vor der Verletzung

Spieler	Liga	KB	1BT – Balance-Score					
			Vor der Verletzung			RTP		
			Verletzt	Nicht-verletzt	LSI (vor)	Verletzt	Nicht-verletzt	LSI (RTP)
1	LL	VKB	3,57	3,11	87,1 %	2,09	2,72	130,1 %
2	BL	VKB	2,83	3,18	112,4 %	3,29	3,65	110,9%
3	RL	HKB	3,88	3,32	85,6%	3,62	4,14	114,4%
4	RL	VKB	1,92	3,37	175,5%	2,84	3,03	106,7%
5	RL	VKB	3,29	3,02	91,8%	2,92	2,88	98,6%

Tabelle 30 Vergleich der BKZ des SHT des RTP-Tests mit vor der Verletzung

Spieler	Liga	KB	SHT – BKZ					
			Vor der Verletzung			RTP		
			Verletzt	Nicht-verletzt	LSI (vor)	Verletzt	Nicht-verletzt	LSI (RTP)
1	LL	VKB	0,24	0,23	95,8 %	0,194	0,234	120,6 %
2	BL	VKB	0,22	0,22	100,0 %	0,201	0,201	100,0 %
3	RL	HKB	0,34	0,33	97,1 %	0,324	0,273	84,3 %
4	RL	VKB	0,34	0,28	82,4 %	0,267	0,242	90,6 %

Tabelle 31 Vergleich des RSI des 2-DJ des RTP-Tests mit vor der Verletzung

Spieler	Liga	KB	2DJ – RSI		
			Vor der Verletzung	RTP	Differenz
1	LL	VKB	1,78	1,51	- 0,27 (- 15,2%)
2	BL	VKB	1,16	1,31	+ 0,15 (+ 12,9%)
3	RL	HKB	0,91	1,48	+ 0,57 (+ 62,6%)
4	RL	VKB	1,13	1,27	+ 0,14 (+ 12,4%)
5	RL	VKB	1,32	0,83	- 0,49 (- 37,1%)

5 Diskussion

Die vorliegende Studie hat das Ziel, die unterschiedlichen Aspekte im Rehabilitationsverlauf nach einer schweren Knieverletzung im Sinne einer VKB- oder HBK-Ruptur aus Sicht der verletzten Fußballer zu evaluieren sowie die Bereitschaft zur Rückkehr zum Sport anhand einer sportartenspezifischen Testung im leistungsorientierten Amateurfußball zu beurteilen. Aufgrund der langen Rehabilitation, dem hohen Risiko für erneute Verletzungen sowie den Auswirkungen auf die sportliche Karriere ist ein Verständnis für den Rehabilitationsverlauf als auch eine aussagekräftige Einschätzung zur RTP-Fähigkeit notwendig.

Anhand der erhobenen physischen Fragebögen konnte über einen Zeitraum von zwölf Monaten eine ligaübergreifende Verbesserung der Kniefunktion und der damit verbundenen Symptome festgestellt werden. Der durchschnittliche IKDC-Score aller Teilnehmenden stieg von 64,4 zu Beginn der Erhebung (m0) auf 87,0 nach zwölf Monaten (m12). Im Gegensatz dazu zeigte die psychologische Komponente im Verlauf der Rehabilitation eine schwankende Entwicklung mit einer zunehmenden positiven Anpassung (ACL-RSI: m0 = 72,4; m6 = 64,0; m12 = 75,1).

Die deutliche Mehrheit der Teilnehmer (86,6%) wies zum Zeitpunkt der RTP-Testung Leistungsdefizite auf, hierbei wurden vor allem Kraftdefizite der Knieextensoren und -flexoren als Hauptproblempunkte nachgewiesen. Nur vier Teilnehmer erfüllten alle RTP-Kriterien und bestanden somit den aktuellen RTP-Test. In diversen, bestehenden Testkonzepten wurden ebenfalls niedrige Bestehensquoten von 3,2% bis 24,3% berichtet (Grindem et al. 2016, Gokeler et al. 2017, Welling et al. 2018, Webster et Hewett 2019, Webster et Feller 2020). Trotz dieser niedrigen Erfolgsquote kehrten 89,5% der Teilnehmer zum Sport zurück, wobei die RTP-Zeit bei besseren RTP-Scores kürzer war. In der Literatur finden sich RTP-Raten von 77 bis 98% für professionelle Fußballspieler (Erickson et al. 2013, Zaffagnini et al. 2014, Walden et al. 2016, Krutsch et al. 2019). Allerdings erlitten 38,7% der Teilnehmer eine weitere schwere Knieverletzung im Laufe der folgenden fünf Jahre nach der Verletzung. Zudem reduzierte der Großteil der Teilnehmer ihr Spielniveau (41,9%) oder beendete sogar die fußballerische Karriere (38,7%) im gleichen Zeitraum.

Im Spielklassenvergleich erzielten die Bayernligaspieler den besten RTP-Score mit 1,8, während die Regionalliga- und Landesligaspieler mit 2,5 bzw. 2,6 niedrigere Scores erreichten. Der durchschnittliche RTP-Score betrug 2,4 (SD = 1,5). Sowohl die Bayernliga- als auch die Regionalligaspieler erreichten in mehreren Sporttests die höchsten Bestehensquoten (sechs bzw. vier von acht RTP-Tests), wohingegen die Landesligaspieler die größten Defizite verzeichneten.

5.1 Beurteilung des Fragebogenkatalogs

5.1.1 Entwicklung der subjektiven Kniefunktion im Rehabilitationsverlauf

Infolge der VKB- oder HKB-Ruptur entsteht zunächst eine deutliche Beeinträchtigung der Kniefunktion, welche sich in den subjektiven Funktionsfragebögen IKDC, mLKS und mCRKS widerspiegelt. Während der ersten drei Monate nach der Verletzung blieb die subjektive Funktionalität im IKDC weitgehend unverändert, während sich in den mLKS- und mCRKS-Werten erste Verbesserungen zeigten. Im weiteren Rehabilitationsverlauf war ein kontinuierlicher Anstieg in allen drei Scores feststellbar, insbesondere zwischen dem dritten und sechsten Monat zeigte sich der höchste Funktionszuwachs. In der Literatur wurden ebenfalls positive Entwicklungen der Kniefunktion anhand von subjektiven Funktionsfragebögen nach VKB-Rupturen und -Rekonstruktionen beschrieben (Almeida et al. 2018, Welling et al. 2019). Welling et al. berichteten bei Fußballspielern mit VKB-Rekonstruktion über durchschnittliche IKDC-Scores von $68,0 \pm 6,0$ nach vier Monaten, $78,0 \pm 8,6$ nach sieben Monaten und $86,5 \pm 5,4$ nach zehn Monaten (Welling et al. 2019), was mit den vorliegenden Ergebnissen vergleichbar ist (m3: $63,8 \pm 15,2$; m6: $78,4 \pm 10,6$; m9: $82,3 \pm 14,6$). Dennoch erreichten nach sechs Monaten nur 21,1% (IKDC) bzw. 30,0% (mLKS) der Teilnehmer eine „normale“ Kniefunktion basierend auf den normativen Referenzwerten (Anderson et al. 2006, Briggs et al. 2009). Auch nach zwölf Monaten lag der Anteil bei lediglich 60,0% (IKDC) bzw. 52,6% (mLKS), was darauf hindeutet, dass funktionelle Defizite selbst ein Jahr nach der Verletzung im Vergleich zu einer kniegesunden Kontrollgruppe fortbestehen. Jedoch empfand die Mehrheit der Teilnehmer (57,9%) ihre Kniefunktion gemäß der PASS-Schwelle (IKDC $\geq 75,9$; Muller et al. 2016) als tolerabel. Darüber hinaus fanden Webster et Feller eine 2,6-fach erhöhte Wahrscheinlichkeit für ein erfolgreiches RTP nach zwölf Monaten bei Erreichen eines IKDC-Wertes von mindestens 85 Punkten gemessen

sechs Monate postoperativ (Webster et Feller 2020). Dies unterstreicht die Relevanz und die Aussagekraft der subjektiven Funktionseinschätzung auf das RTP. Da der höchste, subjektive Funktionszuwachs zwischen dem dritten und sechsten Monat verzeichnet wurde, erscheint dieser Zeitraum für die funktionelle Wiederherstellung von größerer Bedeutung zu sein und sollte in zukünftigen Arbeiten genauer adressiert werden, um die bestehenden Rehabilitationsstrategien zu optimieren.

Im Spielklassenvergleich lagen die Durchschnittswerte der Funktionsfragebögen der Landesligaspieler mit einzelnen Ausnahmen (m3-Wert IKDC und mCRKS) unterhalb des Niveaus der Bayern- und Regionalligaspieler. Während die Teilnehmer der Bayernliga einen stetigen Zuwachs der Kniefunktion mit den abschließend höchsten m12-Werten im Ligavergleich wahrnahmen, zeigte sich in den Verlaufskurven der Regionalliga eine Knick-Bildung zum m3-Zeitpunkt bei ansonsten vergleichbarem Verlauf. Da zu diesem Zeitpunkt lediglich ein Regionalliga-Teilnehmer die Fragebögen gültig abgab, kann dieser Wert nicht als aussagekräftig für die gesamte Regionalliga-Gruppe gewertet werden. Übergreifend konnte in allen Subgruppen eine vergleichbare Entwicklung der Kniefunktion der IKDC-, mLKS- sowie mCKRS-Werte beobachtet werden. Grundsätzlich zeigt sich eine Tendenz zur schnelleren Rehabilitation der Kniefunktion sowie höherer Wertigkeit der Funktionalität bei höherem Leistungsniveau vor der Verletzung. Unklar ist, ob dies allein auf das Leistungsniveau zurückzuführen ist oder das persönliche Engagement als auch vermehrter Zugang zu professioneller Unterstützung, wie z.B. Vereinsärzte und -Physiotherapeuten, in höheren Spielklassen ausschlaggebend sind. Hierzu ist eine genauere Analyse der Nebenfaktoren zur besseren Beurteilbarkeit erforderlich.

5.1.2 Psychologische Bereitschaft und ihre Bedeutung für das RTP

Emotionen, Selbstvertrauen und individuelle Risikobewertung der Sportler nach einer Verletzung werden als psychologische Bereitschaft zusammengefasst. Die mittels ACL-RSI gemessene psychologische Bereitschaft war zum Zeitpunkt der Verletzung und gegen Ende der Rehabilitation am höchsten, während sie im Zeitraum von m3 bis m9 absank. Anhand der Standardabweichungen wurden starke, individuelle Unterschiede deutlich. Im Spielklassenvergleich erhielten die Landesligaspieler zunächst den niedrigsten ACL-RSI-Mittelwert, zeigten jedoch eine stetige Steigerung der psychologischen Bereitschaft. Die Bayernligaspieler wiesen konstant hohe ACL-

RSI-Werte auf, dies spiegelt eine hohe, psychologische Bereitschaft wider. Im Vergleich dazu fällt der ACL-RSI-Score der Regionalligaspieler zum m3-Zeitpunkt deutlich ab. Aufgrund der begrenzten Anzahl an gültigen Fragebögen ist eine aussagekräftige Interpretation dieses Befundes nicht möglich. Im weiteren Verlauf ist eine sukzessive Verbesserung der psychologischen Bereitschaft der Regionalligaspieler zu beobachten.

Diverse Studien identifizierten die psychologische Bereitschaft als entscheidenden Faktor und Prädiktor auf die Rehabilitation sowie das RTP nach einer VKB-Ruptur (Webster et al. 2008, Ardern et al. 2013 (2x), Ardern et al. 2014, Müller et al. 2015, Kitaguchi et al. 2020). Niedrige ACL-RSI-Scores stehen im Zusammenhang mit einer geringeren RTP-Quote zum früheren Sport, während höhere ACL-RSI-Scores mit einem erfolgreicherem RTP verbunden sind (Webster et al. 2008, Ardern et al. 2013, Ardern et al. 2014, Kitaguchi et al. 2020).

In der aktuellen Verlaufsdokumentation verschlechtert sich die psychologische Bereitschaft besonders im Zeitraum nach der Operation und vor dem nahenden RTP. In dieser Zeit sind Amateursportler mit deutlichen Leistungseinschränkungen und einem langwierigen Rehabilitationsprozess konfrontiert. Oft ist eine engmaschige professionelle Begleitung durch Ärzte oder Physiotherapeuten im Amateurbereich nicht gegeben. Angesichtes der Bedeutung der psychologischen Bereitschaft ist eine optimierte sportpsychologische Unterstützung für Amateurfußballer in diesem Zeitraum erforderlich. Diese Unterstützung kann durch Ärzte, Physiotherapeuten als auch durch Trainer und Mannschaftskollegen erfolgen. Eine Schulung im Umgang mit verletzten Spielern im Rahmen der Trainerausbildung kann hierfür ein 1. Schritt sein.

5.2 Bewertung der RTP-Testbatterie

5.2.1 Aussagekraft und Vergleich der RTP-Testbatterie

Das Ziel dieser RTP-Testung ist die Bewertung der Leistungsfähigkeit von Fußballerspieler, um diejenigen zu identifizieren, die ohne erhöhtes Verletzungsrisiko zum Sport zurückkehren können, und die Leistungsdefizite der nicht-bereiten Spieler zu erkennen. Die Teilnehmer erzielten einen durchschnittlichen RTP-Score von 2,4 (SD 1,5). Nur vier der 30 Teilnehmer (2x Landesliga, 2x Bayernliga) bestanden alle

Kriterien. Die Mehrheit erzielte RTP-Scores im Bereich „Mittel“ (1-3 Punkte). Über 20%, vor allem Landesligaspieler, erhielten einen „schlechten“ RTP-Score (≥ 4 Punkte). Die Bayernligaspieler erzielten im Durchschnitt den besten RTP-Score mit 1,8, während die Landes- und Regionalligaspieler ähnliche Scores mit 2,6 und 2,5 erreichten. Am häufigsten scheiterten die Teilnehmer am RTP-Kriterium der Extensionskraft, gefolgt von der Flexionskraft. Dagegen bestand die Mehrheit die Kriterien TT und 2DJ. Weiterhin korrelierte ein besserer RTP-Score mit einem früheren RTP.

Diverse RTP-Testkonzepten und -batterien wiesen ebenfalls niedrige Bestehensquoten auf. In der Study von Grindem et al. erfüllten 24,3% der Teilnehmer vor ihrem RTP alle Testkriterien (Grindem et al. 2016). Bei Webster et Feller erzielten lediglich 3,8% der 450 Teilnehmer nach sechs Monaten sämtliche Kriterien (Webster et Feller 2020). Nur 2 von 28 Patienten bestanden die RTS-Batterie von Gokeler et al. bestanden (Gokeler et al. 2017). Auch Webster et Hewett berichteten von einer niedrigen Bestehensquote von 23% der Teilnehmer in ihrer Metaanalyse (Webster et Hewett 2019). Die Bestehensquote in der RTS-Testung von Welling et al. war sowohl nach sechs als auch nach neun Monaten niedrig (3,2% bzw. 11,3%), wobei eine Verbesserung der aller RTS-Kriterien mit Ausnahme des IKDC-Scores im Laufe der Zeit dokumentiert wurde (Welling et al. 2018). Insgesamt erschweren Variationen im Aufbau, Studienkollektiv, Testzeitpunkt und der Bewertung direkte Vergleiche der RTP-Tests. Dennoch bestätigen die verschiedenen RTP-Konzepte übereinstimmend eine niedrige Erfolgsquote bei den geforderten RTP-Kriterien.

Trotz niedrigen Bestehensquoten kehrten 89,5 % der aktuellen Teilnehmer nach durchschnittlich 375,3 Tagen auf den Fußballplatz zurück. Grindem et al. berichteten, dass 74 von 83 Patienten (89,2%) nach VKB-Rekonstruktion innerhalb von zwei Jahren zu ihrem „Level 1“-Sport (Handball, Fußball, Basketball und Floorball) zurückkehrten, 49 davon (66,2%) innerhalb von fünf bis elf Monaten. Nur sieben dieser 49 Sportler (14,3%) erfüllten vor ihrer Rückkehr alle RTP-Kriterien (Grindem et al. 2016). Im Profi-Fußball liegen RTP-Quoten von 77 bis 98 % vor (Erickson et al. 2013, Zaffagnini et al. 2014, Walden et al. 2016, Krutsch et al. 2019), während bei Amateurathleten aus unterschiedlichen Sportarten niedrigere Quoten von 51 bis 55% beobachtet wurden (Ardern et al. 2014, Sandon et al. 2020). Manojlovic et al.

berichteten in ihrer Übersichtsarbeit von einer RTP-Quote von 72% bei VKB-rekonstruierten Fußballern und -innen unterschiedlichen Leistungsniveaus, wobei 53% auf ihrem vorherigen Spielniveau wieder aktiv waren (Manojlovic et al. 2024). Jedoch zeigen die aktuelle Studie als auch die Literatur eine Reduktion des Spielniveaus sowie eine Abnahme der aktiven Teilnahme am Fußball in den Folgejahren nach der VKB-Ruptur im Amateur- und Profisport nach (Brophy et al. 2012, Zaffagnini et al. 2014, Waldén et al. 2016, Krusch et al. 2019, Manojlovic et al. 2024). In den fünf Jahren nach der Verletzung reduzierten 41,9% der aktuellen Teilnehmer ihr Spielniveau und 38,7% beendeten ihre Fußballkarriere. Besonders häufig schieden Teilnehmer mit „mittleren“ RTP-Score aus dem Sport aus, während die Mehrheit der Teilnehmer mit „gutem“ oder „schlechtem“ RTP-Score ihr Spielniveau senkte. Neben weiteren Verletzungen und fehlender psychologischer Bereitschaft haben sozioökonomische Faktoren wie Beruf, Familie oder Alter Einfluss auf die Reduktion des Leistungsniveaus bzw. das Karriereende. Zur Besserung Beurteilung der Effektstärke der einzelnen Faktoren sind detaillierte Analysen zukünftig notwendig

Die RTP-Testung dient zudem der Bestimmung des optimalen Zeitpunktes für ein sicheres RTP, um das hohe Risiko einer weiteren VKB-Ruptur zu minimieren. Teilnehmer mit bestandenem RTP-Test zogen sich seltener eine weitere VKB-Verletzung zu als diejenigen ohne bestanden Test (25,0% vs. 41,7%). Die Gruppe mit „mittleren“ RTP-Scores wies hierbei ein höheres Risiko als die Gruppe mit „schlechten“ RTP-Score auf (52,9% vs. 14,3%). Angesichts des gehäuften Karriereendes sowie dem erhöhten Verletzungsrisiko stellten eher die Spieler mit „mittleren“ RTP-Scores eine gefährdetere Gruppe dar als wie erwartet diejenigen mit den höchsten Defiziten. In der Literatur variieren die Aussagen zum Zusammenhang zwischen bestandenem RTP-Test und dem Risiko für erneute VKB-Verletzungen. Losciale et al. stellten eine Reduktion des Reruptur-Risikos um nur 3% bei erfüllten RTP-Kriterien fest (Losciale et al. 2019). Dagegen berichteten Grindem et al. von einer Verletzungsreduktion von 84% nach bestandenem RTP-Test, wobei neben der VKB-Ruptur auch andere Knieverletzungen wie Meniskus- oder Knorpelläsionen einbezogen wurden. Vor allem eine spätere Rückkehr ab dem 9. Monat senkte die Rate an erneuten Knieverletzungen erheblich (Grindem et al. 2016). Sportler ohne bestanden RTP-Test hatten zudem ein viermal höheres Risiko für eine VKB-

Transplantatruptur im Gegensatz zu Sportlern mit erzielten RTP-Kriterien (Kyritsis et al. 2016). Webster et Hewett beschrieben eine signifikante Risikoreduktion für eine zukünftige Transplantatverletzung, jedoch auch eine Erhöhung des Risikos für kontralaterale VKB-Verletzungen nach bestandener RTP-Test (Webster et Hewett 2019). Insgesamt zeigt sich eine Tendenz zur Reduktion des Verletzungsrisikos bei erfolgreichem Absolvieren einer RTP-Testung. Im Vergleich zu anderen Studien wurde in der aktuellen Arbeit das Ausmaß der Leistungsdefizite differenzierter betrachtet. Überraschend ist die deutlich höhere Rate an weiteren VKB-Verletzungen bei Spieler mit geringen Defiziten im Vergleich zu solchen mit starken Defiziten. Möglicherweise haben sich Fußballer mit größeren Defiziten mehr Zeit für die Rehabilitation und Optimierung der gefundenen Leistungseinschränkungen nach der RTP-Testung genommen und dadurch das Risiko gesenkt, worauf die längere RTP-Zeit dieser Gruppe hinweist.

Trotz zahlreicher Studien zur Entwicklung optimaler RTP-Konzepte besteht weiterhin eine Wissenslücke bezüglich der effektivsten Testprotokolle. Durch die umfassende Abbildung des fußballerischen Leistungsprofils kann die aktuelle RTP-Testbatterie wichtige Erkenntnisse zum RTP nach einer Kreuzbandverletzung im Amateurfußball liefern. Dies ermöglicht eine vorsichtige Vorhersage auf das Verletzungsrisiko und die Fußballkarriere. Jedoch besteht weiterhin Optimierungsbedarf, um präzisere Aussagen treffen zu können. Zudem besteht derzeit kein Konsens über die ideale Kombination der Leistungstests in der RTP-Diagnostik (Mayer et al. 2024). Auf die einzelnen Testbestandteile zur Optimierung der RTP-Testung wird im Folgenden eingegangen.

5.2.2 Differenzierte Sprunganalyse in der RTP-Testung

Mithilfe des HFD, des SHT sowie des 2DJ erfolgte eine umfassende Sprunganalyse in horizontaler sowie vertikaler Ebene. Etwa ein Drittel der Teilnehmer erreichte nicht den LSI-Grenzwert von 90% beim HFD und SHT. In der Literatur finden sich vergleichbare Sprungtestungen mit abweichenden Ergebnissen je nach Studienaufbau, -population, Testzeitpunkt und Grenzwertfestlegung. In der Arbeit von Gokeler et al. erreichten von den VKB-rekonstruierten Patienten 78,5% beim einbeinigen HFD und 50,0% beim SHT den LSI-Zielwert von 90%. Interessanterweise waren die Ergebnisse beim SHT schlechter als beim HFD, hierfür

wurde die anspruchsvollere Testung sowie Notwendigkeit von mehr Ausdauer als ursächlich angesehen (Gokeler et al. 2017). Bei Webster et Feller erreichten 57% der Teilnehmer den LSI-Grenzwert von 100% beim HFD, dieser lag höher als üblich (Webster et Feller 2020). Thomeé et al. dokumentierten eine Bestehensquote von 52% nach zwölfmonatiger Rehabilitation nach VKB-Rekonstruktion beim SHT (Thomeé et al. 2012). Dagegen berichteten Gustavsson et al. von deutlich niedrigeren Bestehensquoten beim SHT von lediglich 23% der VBK-verletzten bzw. 34% der VKB-rekonstruierten Teilnehmern (Gustavsson et al. 2006).

Obwohl bei VKB-rekonstruierten Fußballern im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe vertikale Sprungdefizite festgestellt wurden, die vermutlich auf eine reduzierte Kniestreckung und Reaktionskraft zurückzuführen sind (Read et al. 2023), erreichten dennoch 90% der Teilnehmer das RTP-Kriterium des 2DJ und somit deutlich mehr als die Grenzwerte des HFD oder SHT. Aufgrund fehlender Normwerte einer gesunden Vergleichspopulation bleibt unklar, ob der RSI-Zielwert mit 1,00m/s zu niedrig angesetzt war oder ob die aktuellen Teilnehmer außergewöhnlich gut in dieser Sprungtestung abschnitten. Zudem kann der RSI durch individuelle Leistungsstrategien wie Fokus auf eine niedrige Bodenkontaktzeit, eine große Sprunghöhe oder eine Kombination beider beeinflusst werden, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschwert (Healy et al. 2018). Laut Jarvis et al. weist ein höherer RSI-Wert auf eine bessere körperliche Leistungsfähigkeit hin (Jarvis et al. 2022). Ebenso besteht ein Zusammenhang zwischen der Reaktivkraft und der Richtungswechselgeschwindigkeit (Young et al. 2015) als auch dem Offensiv- und Defensivverhalten bei australischen Fußballspielern (Young et Murray 2017). Die Bewertung der Reaktivkraft sollte daher fester Bestandteil von RTP-Testbatterien sein, wobei zukünftige Arbeiten Normwerte als Bewertungsgrundlage erheben müssen, um die Ergebnisse besser beurteilen zu können.

5.2.3 Spezifische RTP-Tests anhand des fußballerischen Leistungsprofils

In der 1BT-Analyse scheiterte etwa ein Drittel der Teilnehmer am geforderten LSI-Wert von 90%. Zudem schnitten die Teilnehmer insgesamt in der Leistungsbeurteilung nach Hildebrandt et al. mit der verletzten Extremität schlechter ab als mit der nicht-verletzten Seite (Hildebrandt et al. 2015). Eine Verschlechterung der Propriozeption und Haltungskontrolle bei VKB-Verletzten im Vergleich zu

Kontrollgruppen wurde bereits beschrieben (Bonfim et al. 2003, Howells et al. 2013). Insbesondere nach einer operativen VKB-Rekonstruktion wurden Einschränkungen der Propriozeption nachgewiesen (Fleming et al. 2022). Die verminderte Propriozeption nach einer VKB-Ruptur führt zudem zur Reduktion der posturalen Kontrolle um ca. 23 % (Brattinger 2011). Obwohl Defizite der posturalen Stabilität als Risikofaktoren für erneute VKB-Verletzungen anerkannt sind (Paterno et al. 2010), werden in der RTP-Diagnostik Propriozeptions- und Balance-Tests bisher vergleichsweise selten verwendet (Burgi et al. 2019). Die aktuellen Ergebnisse bestätigen das Fortbestehen von Balance-Defiziten sowohl in der LSI-Auswertung als auch im Vergleich mit normativen Daten. Daher ist die Notwendigkeit spezifischer Propriozeptions- und Balance-Tests in zukünftige RTP-Analysen zu evaluieren, insbesondere da bisher kein Konsens über die Bedeutung der Balance in der Entscheidungsfindung zum RTP besteht.

Schnelligkeit ist ein wesentlicher Faktor in nahezu jeder Sportart und spielt eine entscheidende Rolle für den Erfolg eines Fußballers, sei es im Zweikampf, beim Ballgewinn oder im Sprintduell (Berschin et Hartmann 2011). Der TT misst die zyklischen Geschwindigkeitsleistung und stellt durch seine Unabhängigkeit von Kraftqualitäten eine Ergänzung zu den kraftbezogenen Sporttests dar (Kurz et al. 2022). Fast alle Teilnehmer, mit Ausnahme eines Landesligaspielers, erreichten den LSI-Zielwert im TT. Die Einzelbewertung des Tappingkoeffizienten anhand der VBG-Bewertungswerte offenbarte jedoch eine mangelnde absolute Leistungsfähigkeit bei den meisten Teilnehmern. Je niedriger das Liganiveau war, desto schlechter schnitten die Teilnehmer hierbei ab. Kurz et al. verwendeten ebenfalls den TT in ihrer Arbeit, hierbei zeigten sich im Wesentlichen gleiche Tappingkoeffizienten bei VKB-rekonstruierten Sportlern sowie angepassten und nicht-angepassten Kontrollgruppen (Kurz et al. 2022). Auch hier wurden mit durchschnittlichen Tappingkoeffizienten von 11,3 bis 11,6 relativ niedrige Leistungen beschrieben. Trotz hoher Beinsymmetrie bleibt ein absolutes Leistungsdefizit bestehen, was die Frage aufwirft, ob der LSI das richtige Kriterium für den TT ist oder ob beispielsweise der Tappingkoeffizient hierfür herangezogen werden sollte. Angesichts der geringen Anwendung zyklischer Geschwindigkeitstests in der RTP-Diagnostik muss in zukünftigen Arbeiten geklärt werden, inwiefern der TT oder ähnliche Tests aussagekräftige Prognosen für das RTP und Verletzungsrisiken liefern können.

Die Agilität, definiert als Beweglichkeit und Wendigkeit, ist eine wichtige Kompetenz eines Fußballspielers. In der LSC-Auswertung erreichten 90% der Teilnehmer eine LSI von 90%. Überraschend war die abnehmende Bestehensquote mit steigendem Spielniveau der Teilnehmer. Trotz der bekannten Risiken von Abstoppbewegungen und Richtungswechsel im Verletzungsmechanismus für VKB-Rupturen (Alentorn-Geli et al. 2009, Xie et al. 2013, Montgomery et al. 2018) wurde spezifischen Testungen der Agilität bisher in der RTP-Diagnostik wenig Beachtung geschenkt (Burgi et al. 2019). Achenbach et al. analysierten Kontaktzeiten bei multidirektionalen Richtungswechseln von gesunden Jugendsportlern aus den Sportarten Fußball, Handball und Baseball mithilfe des SpeedCourt® System und fanden bei U21-Fußballspielern durchschnittliche Kontaktzeiten von $231,6 \pm 75,0$ ms für das dominante sowie $225,8 \pm 64,2$ ms für das nicht-dominante Bein bei lateralen Richtungswechseln (Achenbach et al. 2019). Im Vergleich zur aktuellen Studiengruppe wiesen die gesunden Sportler von Achenbach et al. kürzere Kontaktzeiten auf, was auf fortbestehende Leistungseinschränkungen der Agilität nach einer Kreuzbandverletzung hinweist. Ein direkter Vergleich beider Gruppen ist aufgrund der unterschiedlichen Studienpopulation jedoch nicht möglich (Achenbach et al. 2019). Aufgrund dieser Erkenntnisse ergibt sich auch hier die Forderung nach weiterer Forschung und Evaluation des Nutzens von Agilitätstest in der RTP-Analyse.

Zusammenfassend sind Haltungskontrolle, Schnelligkeit und Agilität zentrale Kernkompetenzen eines Fußballers und werden in der bisherigen RTP-Diagnostik zu selten berücksichtigt. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, um ein sicheres RTP angesichts des sportartenspezifischen Leistungsprofil zu gewährleisten.

5.2.4 Kraftdefizite als persistierende Herausforderung

In der aktuellen Studie zeigten sich Kraftdefizite sowohl bei der Extension als auch der Flexion im Seitenvergleich. Die Bestehensquoten der RTP-Kriterien für Extensions- und Flexionskraft lagen bei nur 50% bzw. 60%, die niedrigsten Quoten aller RTP-Kriterien. Diverse Studien wiesen ebenfalls Kraftdefizite nach VKB-Rupturen nach (Toole et al. 2017, Welling et al. 2018). Herrington et al. fanden große signifikante Kraftdefizite des verletzten Beines bei bereits spielberechtigten, VBK-rekonstruierten Profifußballern. Obwohl 75% der Teilnehmer in den Sprungtestungen

LSI-Werte von mindestens 90% erreichten, scheiterten mindestens 80% bei den Kraftkriterien an dergleichen LSI-Grenze (Herrington et al. 2021). Gokeler et al. berichteten ebenfalls von niedrigeren Bestehensquoten der Kraftkriterien des M. quadriceps (39,3 - 46,4%) im Vergleich zu Sprungtests (z.B. einbeiniger HFD mit 78,5%) bei VKB-rekonstruierten Teilnehmern (Gokeler et al. 2017). Zudem dokumentierten Petersen et al. in ihrer Übersichtsarbeit in allen 45 eingeschlossenen Studien anhaltende Kraftdefizite der Muskelkraft nach einer VKB-Rekonstruktion, zum Teil über mehrere Jahre hinweg (Petersen et al. 2014). Die aktuellen Ergebnisse stimmen mit der bestehenden Literatur überein, wobei Variationen der einzelnen Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Studienpopulation, Testzeitpunkte und Kraftmessmethoden auftreten.

Ein weiterer bedeutender Aspekt in der Kraftanalyse ist die H/Q-Ratio. In der aktuellen Studie zeigte sich nahezu identische, mittlere H/Q-Ratios von 0,78 auf der verletzten Seite und 0,79 auf der gesunden Seite. Auch in den Subgruppen waren die Ergebnisse ähnlich, wobei die Landesligisten die niedrigsten und die Bayernligisten die höchsten Mittelwerte erzielten. Ein einheitlicher Referenzwert für die H/Q-Ratio im Fußball konnte bisher nicht bestimmt werden, da unterschiedliche H/Q-Rationen je nach voreingestellter Winkelgeschwindigkeit am Testgerät gefunden wurden (Baroni et al. 2020). Jedoch gilt eine H/Q-Ratio von unter 0,6 als potenzieller Risikofaktor für berührungslose Verletzungen der unteren Extremität (Kim et Hong 2011). Gokeler et al. bestimmten eine H/Q-Ratio von mindestens 0,625 als Grenzwert für männliche Teilnehmer in ihrer RTP-Analyse (Gokeler et al. 2017).

Die Muskelkraft ist essenziell für viele, fußballspezifische, hochintensive Aktivitäten wie Sprünge, Sprints und Schüsse (Wisløff et al. 2004, Lehance et al. 2009, Peñailillo et al. 2016). Insbesondere die ischiokrurale Muskulatur ist in der Rehabilitation nach einer VKB-Ruptur von entscheidender Bedeutung, da sie der anterioren, tibialen Translation entgegenwirken und dadurch das VKB-Transplantat in seiner Funktion unterschützen kann (MacWilliams 1999). Bei Muskelimbancen besteht zudem ein erhöhtes Verletzungsrisiko für Muskelzerrungen oder -risse der ischiokruralen Muskulatur (Fousekis et al. 2011, Dauty et al. 2016). Inwiefern Einschränkungen der Flexionskraft mit weiteren VKB-Rupturen assoziiert sind, ist bisher unbekannt (Högberg et al. 2024). Trotz allem werden Kraftdefizite immer wieder nachgewiesen, wodurch sich Kraftmessungen als Kernelement in RTP-

Testungen etabliert haben (Grindem et al. 2016, Gokeler et al. 2017, Toole et al. 2017, Welling et al. 2018, Webster et Feller 2020). Zusammenfassend bestätigen die aktuellen Ergebnisse die Berechtigung von Kraftmessungen in RTP-Testungen und betonen die Notwendigkeit verbesserter Rehabilitationsprogramme mit höherem Fokus auf die Regeneration der Muskelkraft. Diesbezüglich wies Welling et al. bereits nach, dass durch progressives Krafttraining VKB-rekonstruierte Fußballer gleiche Kraftgrade der Knieextensoren und -flexoren wie die Kontrollgruppe erreichen und nach 10 Monaten sogar stärker sein können (Welling et al. 2019).

5.2.5 Spielklassenabhängige Unterschiede in der RTP-Testung

Im leistungsorientierten Amateurfußball stellt die Regionalliga die höchste Spielklasse dar, gefolgt von der Bayernliga und der Landesliga. Allgemein besteht die Annahme, Fußballer höherer Ligen seien athletischer, leistungsfähiger und talentierter als jene der unteren Ligen. Inwiefern sich die Ligazugehörigkeit auf den Rehabilitationsverlauf nach einer VKB- oder HKB-Ruptur auswirkt, soll durch die Analyse ligaabhängiger Unterschiede in den RTP-Tests untersucht werden.

Die Regionalligaspieler erreichten in vier von acht RTP-Tests die höchsten Bestehensquoten (1BT, TT, SHT und Extensionskraft) und wiesen zudem die höchsten Mittelwerte des Tappingkoeffizienten und des RSI auf. Gleichzeitig verzeichneten sie jedoch ligaübergreifend die niedrigsten Erfolgsquoten im LSC und der Extensionskraft (je 37,5%).

Die Bayernligaspieler erzielten in sechs der acht Tests die höchsten Bestehensquoten (TT, 2DJ, HFD, SHT, Flexions- und Extensionskraft) und erhielten mit 1,8 den besten RTP-Score, während Regionalliga- und Landesligaspieler niedrigere Werte (2,5 bzw. 2,6) aufwiesen. Somit schnitten sie im Spielklassenvergleich insgesamt am besten ab. Ihre Schwächen zeigten sie hingegen beim 1BT und LSC durch schwache Balance-Scores und längere LSC-Kontaktzeiten.

Die Landesligaspieler zeigten die größten Defizite, darunter die niedrigsten RSI-Werte, kürzeste HFD-Sprungdistanzen und geringsten Bestehensquoten in sechs von acht RTP-Tests. Sie überraschten jedoch mit den besten Balance-Scores und wiesen mit 85,7% die höchste ligaübergreifende Bestehensquote im LSC auf.

Den beobachteten RTP-Ergebnissen stützen die Annahme, dass die Leistungsfähigkeit und Funktionalität ligaabhängigen Unterschieden unterliegen. Fußballer höherer Ligen haben möglicherweise ein höheres physisches Ausgangsniveau, das eine schnellere funktionelle Erholung nach Verletzungen begünstigt. Neben athletischen Voraussetzungen können auch die Vereinsstrukturen und Rahmenbedingungen einen Einfluss haben. Höherklassige Spieler profitieren häufiger von professionellerer Betreuung, spezialisierter Physiotherapie und optimierten Trainingsbedingungen, wodurch die Rehabilitation gezielter und effizienter gestaltet wird. Dies könnte die besseren RTP-Ergebnisse der Regionalliga- und Bayernligaspieler im Vergleich zur Landesliga erklären. Allerdings widerspricht das überlegene Abschneiden der Bayernligaspieler gegenüber den Regionalligaspielern einer strikt linearen Beziehung zwischen Ligazugehörigkeit und RTP-Leistung, was auf weitere Einflussfaktoren hinweist. Zur Klärung dieser Zusammenhänge sind weiterführende Analysen erforderlich.

5.3 Vergleich der Vor-Verletzungs- und RTP-Ergebnisse

Die aktuelle Studie ermöglichte den einzigartigen Vergleich der individuellen Leistungen vor der Knieverletzung und während der Rehabilitation in der RTP-Testung. Allerdings ist die Aussagekraft des Leistungsvergleichs aufgrund der geringen Teilnehmerzahl (vier bis fünf pro Test) eingeschränkt.

Vor allem die Auswertung der Vor- und RTP-Ergebnisse des Balance-Scores zeigte eine große Spannbreite an Leistungsentwicklungen. Zwei Teilnehmer (Spieler 1 und 5) verbesserten sich sowohl mit der gesunden als auch der verletzten Seite, während Spieler 2 sich mit beiden Seiten verschlechterte. Spieler 3 wurde mit der gesunden Seite schlechter und leicht mit der verletzten leicht besser, bei Spieler 4 war es umgekehrt. Vor der Verletzung wiesen die Fußballer teilweise erhebliche Beinasymmetrien mit LSI-Werten zwischen 85,6% und 175,5%, dies weist bereits auf eine vorbestehende, ungleichmäßige Haltungskontrolle hin. Nach der Verletzung waren die Extremitäten ausgeglichener und alle Teilnehmer erhielten LSI-Werte über 90%. Dies deutet zwar auf eine gleichmäßigere Beinsymmetrie hin, wurde aber zum Teil nur aufgrund einer einseitigen Verschlechterung der Balance-Fähigkeit erreicht. Dagegen zeigten die Auswertung der BKZ des SHT gleichmäßigere Ergebnisse, wobei nach der Verletzung die Fußballer etwas schneller wurden. Die LSI-Werte

blieben variabel, wobei sich diese im Rehabilitationsverlauf sowohl erhöhten als auch erniedrigten. Möglicherweise haben die unterschiedlichen Testumgebungen, vor der Verletzung auf dem Gelände der jeweiligen Vereine (z.B. Rasen) und nach der Verletzung im RTP-Zentrum in Straubing (Hallenboden), Einfluss auf die BKZ-Ergebnisse, sodass hier ein direkter Vergleich erschwert ist.

Beim 2DJ konnten drei Teilnehmer ihren RSI steigern, während zwei Teilnehmer schlechtere RSI-Ergebnisse als vor der Verletzung aufwiesen. Interessanterweise konnte der Teilnehmer mit HKB-Ruptur seinen RSI deutlich um über 60% steigern. Insgesamt erreichten jeweils vier von fünf Fußballern sowohl vor als nach der Verletzung einen RSI von über 1,0m/s. Auch hier könnte die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit die Ergebnisse beeinflusst haben. Insbesondere weicherer oder härterer Untergrund könnte sich hierbei auf die Reaktivkraft auswirken.

Insgesamt zeigen sich diverse Leistungsentwicklungen ohne erkennbares Muster zum Leistungsverlauf, weder hinsichtlich der jeweiligen Testung noch der einzelnen Teilnehmer. Sowohl gute als auch schlechte Leistungen führten offensichtlich zu einer Kreuzbandruptur, woraufhin die individuellen Entwicklungen variierten. Aktuell lassen sich aus den Daten keine prädisponierenden Faktoren für eine zukünftige Knieverletzung oder Prognosen für das Leistungsniveau nach der Verletzung ableiten. Dennoch verdeutlicht die Untersuchung das Potenzial, RTP-Resultate in Hinblick auf Vorwerte besser beurteilen zu können und dadurch die individuelle Rehabilitation zu optimieren.

5.4 Stärken und Limitationen des Studiendesigns

5.4.1 Umfang sowie Verlaufsdokumentation des Fragebogenkatalogs

Mithilfe der Verlaufsdokumentation des Fragebogenkatalogs konnte ein reales Abbild der physischen Kniefunktion, der psychologischen Bereitschaft und des allgemeinen Gesundheitszustandes anhand der subjektiven Einschätzung der Teilnehmer im Rehabilitationsverlauf erfasst werden. Die Abfrage des Fragebogenkatalogs im 3-Monats-Abstand ermöglicht eine detaillierte, realitätsnahe Verlaufsanalyse diverser Charakteristika der Rehabilitation im ersten Jahr nach einer schweren Knieverletzung. Durch die Unterteilung der Teilnehmer anhand ihrer Spielklasse konnte erstmalig eine Differenzierung des Rehabilitationsverlaufes in Anbetracht des Leistungsniveaus erfolgen. Jedoch könnte der umfangreiche Fragenkatalogs

abschreckend auf die Teilnehmer gewirkt haben und zur niedrigen Partizipation beigetragen haben. Im Hinblick auf die Teilnahmebereitschaft muss die Notwendigkeit bestimmter Fragebögen, insbesondere bei mehrfacher Abfrage vergleichbarer Inhalte (z.B. IKDC, mLKS und mCKRS), reevaluiert werden. Weiterhin nahm man durch das strukturierte und zeitlich-gebundene Abfrageschema eine Nichteinhaltung bestimmter Abfragezeiträume in Kauf.

5.4.2 Herausforderungen der RTP-Testung

In der Literatur finden sich diverse Testmodelle und -methoden mit unterschiedlichen Schwerpunkten, jedoch besteht kein Konsens über deren einzelne Aussagekraft oder die optimale Kombination zur Evaluation der RTP-Fähigkeit. Die aktuelle Testbatterie bietet anhand einer breiten Auswahl von fußballspezifischer Sporttests eine präzise und umfassende Analyse der Leistungsfähigkeit der Teilnehmer. Durch die standardisierte Testung in einem spezialisierten Testzentrum konnten mögliche Fehlerquellen, die durch unterschiedliche Testorte, Bodenbeschaffenheiten oder Witterungsbedingungen entstehen, minimiert werden. Die Entscheidung über den „richtigen“ Zeitpunkt zum RTP trafen die Teilnehmer individuell. Dabei konnte das RTP-Testergebnis nach eigenem Ermessen in die Entscheidung einfließen. Zwischen der RTP-Testung und dem tatsächlichen RTP besteht jedoch ein unkontrollierter Zeitraum, in dem sich die RTP-Fähigkeit sowohl positiv als auch negativ verändern konnte. Für eine präzisere Beurteilung wäre eine Testung unmittelbar vor dem RTP notwendig, was jedoch aufgrund des hohen Aufwandes und mangelnder Planungssicherheit schwierig umsetzen ist.

5.4.3 Kritik am LSI-Wert in der RTP-Analyse

In der aktuellen Studie und anderen Testprotokollen (Gustavsson et al. 2006, Neeter et al. 2006, Ageberg et al. 2008, Thomeé et al. 2011, Gokeler et al. 2017, Herrington et al. 2021) wurde der LSI als zentrales Kriterium in der RTP-Auswertung verwendet. Obwohl zahlreiche Autoren einen LSI-Grenzwert von 90% als ausreichend für das RTP definieren (Gustavsson et al. 2006, Neeter et al. 2006, Ageberg et al. 2008, Thomeé et al. 2011), bestehen Bedenken hinsichtlich der Eignung der Extremitäten-Symmetrie als Bewertungsmaß in der RTP-Diagnostik.

Gokeler et al. dokumentierten bei VKB-rekonstruierten Athleten sowohl beim verletzten als auch beim gesunden Bein Kraftdefizite im Vergleich mit einer Kontrollgruppe (Gokeler et al. 2017). Weiterhin wurden Beeinträchtigungen des Bewegungsmusters beider Extremitäten nach einer VKB-Verletzung nachgewiesen (Ferber et al. 2004). In der Regel weisen Fußballer einer Gliedmaßendominanz mit Differenzierung in Schuss- und Standbein auf, was auf das fußballspezifische Anforderungsprofil zurückzuführen ist (Achenbach et al. 2019). Eine absolute Gleichsetzung der Leistungen beider Extremitäten ist daher kritisch anzusehen. Über dies führen LSI-Bewertungen im Gegensatz zu Vorwerten der nicht-verletzten Extremität häufiger zu einer Überschätzung der Kniefunktion (Wellsandt et al. 2017). Angesichts dieser Kritik bestehen Bedenken an der Aussagekraft des LSI in der RTP-Analyse und ein präziseres Beurteilungskonzept ist notwendig. Eine Möglichkeit zur Optimierung der RTP-Diagnostik besteht in einer jährlichen Leistungsdiagnostik zu Saisonbeginn, wie sie im Profi-Bereich bereits durchgeführt wird. Dies ermöglicht die Feststellung des individuellen Leistungsniveaus und die Dokumentation von Vergleichswerten im Falle einer Verletzung. Der Nutzen sowie die Umsetzbarkeit einer jährlichen Leistungsdiagnostik im Amateurbereich sollten im Zusammenhang mit dem RTP evaluiert werden.

5.4.4 Potenzial der Subgruppenanalyse im Amateurfußball

Die Subgruppenanalyse bietet großes Potenzial, Differenzen auf verschiedenen Spielniveaus im Amateurbereich aufzudecken. Aufgrund der variierenden und begrenzten Größen der Studienpopulationen können derzeit nur Hinweise gesammelt, aber keine aussagekräftigen Ergebnisse erzielt werden. Grundsätzlich wird vermutet, Fußballer höheren Liga müssten sich aufgrund ihres höheren Leistungsniveaus besser und schneller von einer Verletzung erholen. Jedoch können Variationen der personellen wie auch materiellen Ausstattungen der Vereine die Rehabilitation beeinflussen. Im Gegensatz zu Profifußballern müssen Amateurfußballer sich oft selbstständig um Physiotherapie sowie Rehabilitationsprogramme kümmern, was je nach persönlichem Umfeld zu unterschiedlichem Unterstützungsumfang führen kann. Um eine detaillierte und aussagekräftigere Analyse der Differenzen in den Amateurligen zu erhalten, ist eine umfassende Analyse der Rehabilitationsbedingungen erforderlich.

5.5 Fazit

Eine RTP-Testbatterie, wie die in dieser Studie verwendete Version, ermöglicht durch vielfältige, fußballspezifische Testungen die Identifizierung diverser Leistungsdefizite und erlaubt eine vorsichtige Vorhersage über das zukünftige RTP. Dies unterstützt verletzte Fußballer sowie deren Trainer, Physiotherapeuten und Ärzten bei der individuellen Anpassung der Rehabilitation und bei der Einschätzung des optimalen Zeitpunkts für ein sicheres RTP. Von entscheidender Bedeutung und Hauptziel einer solchen RTP-Testung ist dabei die Minimierung der Rate an erneuten Kreuzbandverletzungen. Ein erfolgreiches Absolvieren der RTP-Testung weist auf eine tendenzielle Risikoreduktion und deutet auf eine physische Bereitschaft zur Rückkehr auf das Fußballfeld hin. Dennoch besteht weiterhin Optimierungsbedarf hinsichtlich der RTP-Konzepte, um präzisere Aussagen treffen zu können und ein sicheres RTP-Kriterium zu definieren. Insbesondere ist eine kritische Auseinandersetzung mit den bestehenden RTP-Kriterien, wie dem LSI, und die Evaluation möglicher test- und fußballspezifischer Leistungsdaten als Referenzwerte notwendig. Zudem muss geklärt werden, wie aktuelle RTP-Testungen flächendeckend im Amateurbereich eingesetzt werden können, um möglichst viele Amateurfußballer sowie deren Trainer und Ärzte in der Rehabilitation bestmöglich zu unterstützen. Neben der physischen Rehabilitation ist die psychologische Bereitschaft für das RTP entscheidend. Eine sportpsychologische Unterstützung durch Trainer, Mannschaftskollegen und medizinisches Personal sollte daher im Rehabilitationsprogramm inkludiert werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Achenbach W, Krutsch W, Koch M, Zeman F, Nerlich M, Angele P (2019) Contact times of change-of-direction manoeuvres are influenced by age and the type of sports: a novel protocol using the SpeedCourt® system. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27(3):991-9
2. Ageberg E, Thomeé R, Neeter C, Silbernagel KG, Ross EM (2008) Muscle strength and functional performance in patients with anterior cruciate ligament injury treated with training and surgical reconstruction or training only: A two to five-year followup. *Arthritis & Rheumatism* 59(12):1773-9
3. Agolley D, Gabr A, Benjamin-Laing H, Haddad FS (2017) Successful return to sports in athletes following non-operative management of acute isolated posterior cruciate ligament injuries: medium-term follow-up. *Bone Joint J* 99-B(6):774-8
4. Ahrend M, Ateschrang A, Döbele S, Stöckle U, Grünwald L, Schröter S, Ihle C (2016) Rückkehr in den Sport nach operativer Versorgung einer hinteren Kreuzbandverletzung: Eine retrospektive Untersuchung von 60 Patienten. *Orthopäde* 45(12):1027-38
5. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lazaro-Haro C, Cugat R (2009) Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: mechanism of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17(7):705-29
6. Almeida AM, Santos Silva PR, Pedrinelli A, Hernandez AJ (2018) Aerobic fitness in professional soccer players after anterior cruciate ligament reconstruction. *PLoS One*. 13(3):e0194432.
7. Anderson AF, Irrgang JJ, Kocher MS, Mann BJ, Harrast JJ, Members of the International Knee Documentation Committee (2006) The International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form: Normative Data. *Am J Sports Med* 34(1):128-35
8. Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, Gojanovic B, Griffin S, Khan KM, Moksnes H, Mutch SA, Phillips N, Reurink G,

- Sadler R, Silbernagel KG, Thorborg K, Wangensteen A, Wilk KE, Bizzini M (2016) Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. Br J Sports Med 50: 853-64
9. Ardern CL, Österberg , Tagesson S. Gauffin H, Webster KE, Kvist J (2014) The impact of psychological readiness to return to sport and recreational activities after anterior cruciate ligament reconstruction. Br J Sports Med 48: 1613-9
 10. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE (2013) A systematic review of the psychological factors associated with returning to sport following injury. Br J Sports Med 47(17):1120-6
 11. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE (2014) Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. Br J Sports Med 48:1543-52
 12. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Whitehead TS, Webster KE (2013) Psychological responses matter in returning to preinjury level of sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. Am J Sports Med 41:1549-58
 13. Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bush M, Bradley PS (2014) The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. Int. J. Sports Med 35:1095-100
 14. Baroni BM, Ruas CV, Ribeiro-Alvares JB, Pinto RS (2020) Hamstring-to-quadriceps torque ratios of professional male soccer players: A systematic review. J. Strength Cond. Res 34:281-93
 15. Bartels T, Proeger S, Brehme K, Pyschik M, Delank KS, Schulze S, Schwesig R, Fieseler G (2016) The SpeedCourt system in rehabilitation after reconstruction surgery of the anterior cruciate ligament (ACL). Arch Orthop Trauma Surg 136(7):957-66
 16. Berschin G, Hartmann M (2011) Agility – Bedeutung, Training und Testung der Richtungswechselfähigkeit am Beispiel Fußball. Leistungssport 41:25-8
 17. BFV – Bayrischer Fußball-Verband, Hrsg. (2014-2020) München; Verfügbar unter: <https://www.bfv.de>, letzter Zugriff am 31.08.2017, 18:45 Uhr [online] genutzt zur Spielersuche

18. Bonfim TR, Jansen Paccola CA, Barela JA (2003) Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Arch Phys Med Rehabil* 84(8):1217-23
19. Brattinger F (2011) Der Einfluss einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes auf die posturale Kontrollfähigkeit – gemessen mit dem Biodex Stability System®. Dissertation. Ulm: Universität Ulm, Medizinische Fakultät.
20. Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, Rodkey WG, Kocher MS, Steadman JR (2009) The Reliability, Validity, and Responsiveness of the Lysholm Score and Tegner Activity Scale for Anterior Ligament Injuries of the Knee: 25 Years Later. *Am J Sports Med* 37(5):890-7
21. Briggs KK, Steadman JR, Hay CJ, Hines SL (2009) Lysholm score and Tegner activity level in individuals with normal knees. *Am J Sports Med* 37(5):898-901
22. Brophy RH, Schmitz L, Wright RW, Dunn WR, Parker RD, Andrish JT, McCarty EC, Spindler KP (2012) Return to Play and Future ACL Injury Risk Following ACL Reconstruction In Soccer Athletes From the MOON Group. *Am J Sports Med* 40(11):2517-22
23. Burgi CR, Peters S, Arden CL, Magill JR, Gomez CD, Sylvain J, Reiman MP (2019) Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review. *Br J Sports Med* 53:1154-61
24. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, Ferréol S, Dubois C (2016) Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. *Muscles Ligaments Tendons J* 6(1):116-23
25. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, Nabiuzzi A, Tosarelli F, Zaffagnini S, Della Villa S (2020) Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br J Sports Med* 54(23):1423-32
26. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU); S1-Leitlinie Vordere Kreuzbandruptur, Version 5.0, 15.09.2018, Verfügbar unter: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/012-005>, Zugriff am 20.06.2023, 11:40 Uhr [online].

27. Drawer S, Fuller CW (2001) Propensity for osteoarthritis and lower limb joint pain in retired professional soccer players. *Br J Sports Med* 35(6):402-8
28. Dürking P, Born DP, Sperlich B (2016) The SpeedCourt: reliability, usefulness, and validity of a new method to determine change-of-direction speed. *Int J Sports Phys Perform* 11(1):130-4
29. Dvorak J, Graf-Baumann T, Peterson L, Junge A (2000) Football, or soccer, as it is called in North America, is the most popular sport worldwide. *Am J Sports Med* 28(5 Suppl):S1-2
30. Eirale C, Tol JL, Farooq A, Smiley F, Chalabi H (2013) Low injury rate strongly correlates with team success in Qatari professional football. *Br J Sports Med* 47: 807-8
31. Epp M, Mayer P (2022, 25. November) Hernandez erfolgreich operiert – und es gibt wohl noch eine erfreuliche Nachricht. Merkur tz Redaktions GmbH & Co. KG, Hrsg.; München; Verfügbar unter: <https://www.tz.de/sport/fc-bayern/lucas-hernandez-verletzung-knie-wm-katar-frankreich-fc-bayern-kreuzbandriss-vertrag-zr-91933016.html>, Zugriff am 23.08.2023; 14:53 Uhr [online].
32. Erickson BJ, Harris JD, Cvetanovich GL, Bach BR, Bush-Joseph CA, Abrams GD, Gupta AK, McCormick FM, Cole BJ (2013) Performance and Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Male Major League Soccer Players. *Ort J Sports Med* 1(2):2325967113497189
33. 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):139-44
34. Ferber R, Osternig LR, Woollacott MH, Wasielewski NJ, Lee JH (2004) Bilateral accommodations to anterior cruciate ligament deficiency and surgery. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 19(2):136-44
35. Ferrauti A, Knoop M, Pischetsrieder H, Lange H (2009): Entwicklung einer Testbatterie für den Fußball-Torhüter. *Leistungssport* 39(4):16-22
36. Fleming JD, Ritzmann R, Centner C (2022) Effect of an Anterior Cruciate Ligament Rupture on Knee Proprioception Within 2 Years After Conservative and

Operative Treatment: A Systematic Review with Meta-Analysis. Sports Med. 52(5):1091-102

37. Fousekis K, Tsepis E, Poulmedis P, Athanasopoulos S, Vagenas G (2011) Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: a prospective study of 100 professional players. Br J Sports Med 45(9):709-14
38. FuPa – das regionale Fußballportal, Hrsg. (2014-2020). Fürstenstein; Verfügbar unter: <https://www.fupa.net/>, letzter Zugriff am 26.09.2020, 16:20 Uhr [online] genutzt zur Spielersuche und zur Postrecherche der teilnehmenden Sportler
39. Gandek B, Ware JE, Aaronson NK, Apolone G, Bjorner JB, Brazier JE, Bullinger M, Kaasa S, Lepke A, Prieto L, Sullivan M (1998) Cross-validation of item selection and scoring for the SF-12 Health Survey in nine countries: results from the IQOLA Project. J Clin Epidemiol 51(11):1171-8
40. Gokeler A, Welling W, Benjamese A, Lemmink K, Seil R, Zaffagnini S (2017) A critical analysis of limb symmetry indices of hop tests in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a case control study. Orthop Traumatol Surg Res. 103:947-51
41. Gokeler A, Welling W, Zaffagnini S, Seil R, Padua D (2017) Development of a test battery to enhance safe return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 25:192–9
42. Grillenberger M (2018, 15. September) FC Bayern München bestätigt schwere Verletzung - Wie befürchtet: Tolisso erleidet Kreuzbandriss!. kicker, Hrsg.; Nürnberg; Verfügbar unter: <https://www.kicker.de/731849/artikel>, Zugriff am 20.10.2019, 11:40 Uhr [online].
43. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA (2016) Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. Br J Sports Med 50:804-8
44. Gustavsson A, Neeter C, Thomeé P, Silbernagel KG, Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J (2006) A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 14:778-88

45. Häggglund M, Waldén M, Magnusson H, Kristenson K, Bengtsson H, Ekstrand J (2013) Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med* 47(12): 738-42
46. Healy R, Kenny IC, Harrison AJ (2018) Reactive Strength Index: A Poor Indicator of Reactive Strength? *Int J Sports Physiol Perform* 13(6):802-9
47. Herbst E, Hoser C, Hildebrandt 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 Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23:1283-91
48. Herrington L, Ghulam H, Comfort P (2021) Quadriceps Strength and Functional Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Professional Soccer players at Time of Return to Sport. *J Strength Cond Res* 35(3):769-75
49. Higgins LD, Taylor MK, Park D, Ghodadra N, Marchant M, Pietrobon R, Cook C (2007) Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form. *Joint Bone Spine* 74(6):594-9
50. Hildebrandt C, Müller L, Zisch B, Huber R, Fink C, Raschner C (2015) Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part I: development of a new test battery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23:1273-81
51. Högberg J, Piussi R, Lövgren J, Wernbom M, Simonsson R, Samuelsson K, Hamrin Senorski E (2024) Restoring Knee Flexor Strength Symmetry Requires 2 Years After ACL Reconstruction, But Does It Matter for Second ACL Injuries? A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Open* 10(1):2
52. Howells BE, Clark RA, Arden CL, Bryant AL, Feller JA, Whitehead TS, Webster KE (2013) The assessment of postural control and the influence of a secondary task in people with anterior cruciate ligament reconstructed knees using a Nintendo Wii Balance Board. *Br J Sports Med* 47:914-9
53. IKDC Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies. American Orthopaedic Society of Sports Medicine, Hrsg. Rosemont, Illinois; Verfügbar unter: <https://www.sportsmed.org/uploads/main/files/general/IKDC/AOSSM-IKDC->

German.pdf und <https://www.sportsmed.org/research/resources>, Zugriff am 20.06.2023, 11:25 Uhr [online].

54. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, Richmond JC, Shelborne KD (2001) Development and Validation of the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form. *Am J Sports Med* 29(5):600-13
55. Itoh H, Kurosaka M, Yoshiya S, Ichihashi N, Mizuno K (1998) Evaluation of functional deficits determined by four different hop tests in patients with anterior cruciate ligament deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 6(4):241-5
56. Janssen RPA, van der Wijk J, Fiedler A, Schmidt T, Sala HAGM, Scheffler SU (2011) Remodelling of human hamstring autografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:1299-306
57. Jarvis P, Turner A, Read P, Bishop C (2022) Reactive Strength Index and its Associations with Measures of Physical and Sports Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine* 52:301-30
58. Kim D, Hong J (2011) Hamstring to quadriceps strength ratio and noncontact leg injuries: A prospective study during one season. *Isokinet Exerc Sci* 19:1–6
59. Kitaguchi T, Tanaka Y, Takeshita S, Tsujimoto N, Kita K, Aman H, Kinugasa K, Tachibana Y, Natsuume T, Horibe S (2020) Importance of functional performance and psychological readiness for return to preinjury level of sports 1 year after ACL reconstruction in competitive athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 28: 2203-12
60. Klein C, Bloch H, Burkhardt K, Kühn N, Pietzonka M, Schäfer M, Woller M (2022) VBG-Sportreport 2021 – Analyse des Verletzungsgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball, Handball. Hamburg: VBG
61. Koch M, Klügl M, Frankewycz B, Lang S, Worlicek M, Popp D, Alt V, Krutsch W (2021) Football-related injuries are the major reason for the career end of professional male football players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 29:3560-8

62. Krauss TT (2011) Der 15 Sekunden Foot-Tapping Test (FTT15): Evaluation als sportmotorisches Testverfahren sowie Analyse der Beeinflussbarkeit leistungsphysiologischer Parameter durch eine spezifische Vorbelastung [Dissertation]. Hamburg: Universität Hamburg
63. Krutsch W, Memmel C, Krutsch V, Angele P, Tröß T, Aus der Fünften K, Meyer T (2019) High return to competition rate following ACL injury - A 10-year media-based epidemiological injury study in men's professional football. *Eur J Sports Sci* 18:1-9
64. Kurz E, Schwesig R, Pröger S, Delank KS, Bartels T (2022) Foot tapping and unilateral vertical jump performance in athletes after knee surgery: an explorative cross-sectional study. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 14(1):34
65. Kvist J (2004) Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation. *Sports Med* 34(4): 269-80
66. Kvist J, Ek A, Sporrstedt K, Good L (2005) Fear of re-injury: A hinderance for returning to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 13:393-7
67. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E (2016) Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med* 50:946-51
68. Lehance C, Binet J, Bury T, Croisier JL (2009) Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 19:243–51
69. Losciale JM, Zdeb RM, Ledbetter L, Reiman MP, Sell TC (2019) The association between passing return-to-sport criteria and second anterior cruciate ligament injury risk: a systematic review with meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 49(2):43-54
70. Luig P, Bloch H, Burkhardt K, Klein C, Kühn N (2018) VBG-Sportreport 2018 – Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball und Handball. Hamburg: VBG

71. Lysholm J, Gilquist J (1982) Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med* 10(3):150-4
72. MacWilliams BA, Wilson DR, DesJardins JD, Romero J, Chao EY (1999) Hamstrings cocontraction reduces internal rotation, anterior translation, and anterior cruciate ligament load in weight-bearing flexion. *Journal of orthopaedic research: official publication of the Orthopaedic Research Society* 17(6):817-22
73. Majewski M, Susanne H, Klaus S (2006) Epidemiology of athletic knee injuries: a 10-year study. *Knee* 13(3):184-8
74. Manojlovic M, Ninkovic S, Matic R, Versic S, Modric T, Sekulic D, Drid P (2024) Return to Play and Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Soccer Players: A Systematic Review of Recent Evidence. *Sports Med.* 54(8):2097-108
75. Marx RG, Jones EC, Allen AA, Altchek DW, O'Brien SJ, Rodeo SA, Williams RJ, Warren RF, Wickiewicz TL (2001) Reliability, validity, and responsiveness of four knee outcome scales for athletic patients. *J Bone Joint Surg Am* 83(10):1459-69
76. Montgomery C, Blackburn J, Withers D, Tierney G, Moran C, Simms C (2018) Mechanisms of ACL injury in professional rugby union: a systematic video analysis of 36 cases. *British Journal of Sports Medicine* 52:994-1001
77. Muller B, Yabroudi MA, Lynch A, Lai CL, van Dyk CN, Fu FH, Irrgang JJ (2016) Defining Thresholds for the Patient Acceptable Symptom State for the IKDC Subjective Knee Form and KOOS for Patients Who Underwent ACL Reconstruction. *Am J Sports Med* 44(11):2820-6
78. Müller U, Krüger-Franke M, Schmidt M, Rosemeyer B (2015) Predictive parameters for return to pre-injury level of sport 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23(12):3623-31
79. Müller U, Schmidt M, Krüger-Franke M, Rosemeyer B (2014) Die ACL-Return to Sport after Injury Skala als wichtiger Parameter bei der Beurteilung Rückkehr zum Sport Level I und II nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands (deutsche Version). *Sport Orthop Traumatol* 30:135-44

80. Neeter C, Gustavsson A, Thomeé P, Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J (2006) Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14:571-80
81. Noyes FR, Barber SD, Mooar LA (1989): A Rationale for Assessing Sports Activity Levels and Limitations in Knee Disorders. *Clin Orthop* 246:238-49
82. Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WE Jr, Beutler AI (2009) The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *Am J Sports Med* 37(10):1996-2002
83. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE (2014) Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. *Am J Sports Med* 42(7):1567-73
84. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, Hewett TE (2010) Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med* 38(10):1968-78
85. Peñailillo L, Espíldora F, Jannas-Vela S, Mujika I, Zbinden-Foncea H (2016) Muscle strength and speed performance in youth soccer players. *J. Hum. Kinet.* 50:203–10
86. Petersen W, Forkel P, Achtnich A, Metzlaß S, Zantop T (2013) Die anatomische Ersatzplastik des vorderen Kreuzbands in Einzelbündeltechnik. *Oper Orthop Traumatol* 25:185-204
87. Petersen W, Taheri P, Forkel P, Zantop T (2014) Return to play following ACL reconstruction: a systematic review about strength deficits. *Arch Orthop Trauma Surg* 134(10):1417-28
88. Petersen W, Tillmann B (2002) Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 31:710–8
89. Petersen W, Zantop C, Achtnich A, Zantop T, Stöhr A (2018) Return to Sports Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Recommendations of the German Knee Society (Deutsche Kniegesellschaft, DKG). In: Musahl V, Karlsson

- J, Krutsch W, Mandelbaum BR, Espregueira-Mendes J, d'Hooghe P, Hrsg. (2018) Return to Play in Football, An Evidence-based Approach. Berlin: Springer-Verlag GmbH; p.159-72
90. Read PJ, Davies WT, Bishop C, McAuliffe S, Wilson MG, Turner AN (2023) Residual Deficits in Reactive Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Soccer Players. *J Athl Train.* 58(5):423-29
 91. Reid A, Birmingham TB, Stratford PW, Alcock GK, Giffin JR (2007) Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther* 87(3):337-49
 92. Reilly T, Bangsbo J, Franks A (2000) Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci* 18(9):669-83
 93. Return-to-Competition: Testmanual zur Beurteilung der Spielfähigkeit nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes. VBG – Ihre gesetzliche Unfallversicherung, Hrsg. Hamburg, Version 1.0/2015-11; Verfügbar unter : https://www.vbg.de/cms/_Resources/Persistent/5/2/3/d/523d0b700c796eec8de4faf8929708e1d49571cd/return_to_competition_Kreuzbandrupturen.pdf; Zugriff am 20.06.2023, 11:35 Uhr [online].
 94. Sanders TL, Kremers HM, Bryan AJ, Fruth KM, Larson DR, Pareek A, Levy BA, Stuart MJ, Dahm DL, Krych AJ (2016) Is anterior cruciate ligament reconstruction effective in preventing secondary meniscal tears and osteoarthritis? *Am J Sports Med* 44(7):1699-707
 95. Sardon A, Engström B, Forssblad M (2020) High Risk of Further Anterior Cruciate Ligament Injury in a 10-Year Follow-up Study of Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Soccer Players in the Swedish National Knee Ligament Registry. *Arthroscopy* 36(1):189-95
 96. Schulz MS, Russe K, Weiler A, Eichhorn HJ, Strobel MJ (2003) Epidemiology of posterior cruciate ligament injuries. *Arch Orthop Trauma Surg* 123:186-91
 97. Schüttler KF, Ziring E, Ruchholtz S, Efe T (2017) Verletzungen des hinteren Kreuzbands. *Der Unfallchirurg* 120(1):55-68
 98. Shelbourne KD, Nitz P (1990): Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 18(3):292-9

99. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U (2005) Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35(6): 501-36
100. Tegner Y, Lysholm J (1985) Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res* (198):43-9
101. Tegner Y, Lysholm J, Lysholm M, Gillquist J (1986) A performance test to monitor rehabilitation and evaluate anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med* 14(2):156-9
102. Thomeé R, Kaplan Y, Kvist J, Myklebust G, Risberg MA, Theisen D, Tsepis E, Werner S, Wondrasch B, Witvrouw E (2011) Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports, Traumatology, Arthroscopy* 19(11):1798-805
103. Thomeé R, Neeter C, Gustavsson A, Thomeé P, Augustsson J, Eriksson B, Karlsson J (2012) Variability in leg muscle power and hop performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 20:1143–51
104. Toole AR, Ithurburn MP, Rauh MJ, Hewett TE, Paterno MV, Schmitt LC (2017) Young athletes cleared for sports participation after anterior cruciate ligament reconstruction: How many actually meet recommended return-to-sport criterion cut offs? *J Orthop Sports Phys Ther* 47(11):825–33
105. transfermarkt.de, Hrsg. (2020) Hamburg-Wandsbek; Verfügbar unter: <https://www.transfermarkt.de>, letzter Zugriff am 18.10.2020, 19:00 Uhr [online]. genutzt zur Recherche der Verletzungshistorie und der aktuellen Leistungsdaten
106. Waldén M, Hägglund M, Ekstrand J (2006) High risk of new knee injury in elite footballers with previous anterior cruciate ligament injury. *Br J Sports Med* 40:158-62
107. Waldén M, Hägglund M, Magnusson H, Ekstrand J (2016) ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *Br J Sports Med* 50:744-50

108. Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, Andersen TE, 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. *Br J Sports Med* 49:1-10
109. Ware JE, Kosinski M, Keller SD (1995) SF-12: How to Score the SF-12 Physical and Mental Health Summary Scales. Boston, MA: The Health Institute, New England Medical Center, Second Edition
110. Ware JE, Kosinski M, Keller SD (1996) A 12-Item Short-Form Health Survey: Construction of Scales and Preliminary Tests of Reliability and Validity. *Medical Care* 34(3):220-33
111. Webster KE, Feller JA (2020) Who Passes Return-to-Sport Tests, and Which Tests Are Most Strongly Associated With Return to Play After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 8(12): 1-8
112. Webster KE, Feller JA, Lambros C (2008) Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Phys Ther Sport* 9:9-15
113. Webster KE, Hewett TE (2019) What is the Evidence for and Validity of Return-to-Sport Testing after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 49(6):917-29
114. Welling W, Benjaminse A, Lemmink K, Dingenen B, Gokeler A (2019) Progressive strength training restores quadriceps and hamstring muscle strength within 7 months after ACL reconstruction in amateur male soccer players. *Phys Ther Sport*. 40:10-18
115. Welling W, Benjaminse A, Seil R, Lemmink K, Zaffagnini S, Gokeler A (2018) Low rates of patients meeting return to sport criteria 9 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective longitudinal study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 26(12):3636-44
116. Wellsandt E, Failla MJ, Snyder-Mackler L (2017) Limb Symmetry Indexes Can Overestimate Knee Function After Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Orthop Sports Phys Ther* 47(5):334-8

117. Wera JC, Nyland J, Ghazi C, MacKinlay KGW, Henzman RC, Givens J, Brand JC (2014): International Knee Documentation Committee Knee Survey Use After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 2005-2012 Systematic Review and World Region Comparison. *Arthroscopy* 30(11):1505-12
118. Wirth B, Liffert F, de Bruin ED (2011) Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version des Lysholm-Scores zur Erfassung der Funktion nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes. *Sportverletzung Sportschaden* 25(1):37-43
119. Wirth B, Meier N, Koch PP, Swanenburg J (2013) Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version des Tegner Aktivitätsskala zur Erfassung der Funktion nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes. *Sportverl Sportschad* 27(1):21-7
120. 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. *Brit. J. Sports Med.* 38:285–8
121. Xie D, Urabe Y, Ochiai J, Kobayashi E, Maeda N (2013) Sidestep cutting maneuvers in female basketball players: stop phase poses greater risk for anterior cruciate ligament injury. *Knee.* 20(2):85-9
122. Young WB, Miller IR, Talpey SW (2015) Physical Qualities Predict Change-of-Direction Speed but Not Defensive Agility in Australian Rules Football. *J Strength Cond Res.* 29(1):206-12
123. Young WB, Murray MP (2017) Reliability of a Field Test of Defending and Attacking Agility in Australian Football and Relationships to Reactive Strength. *J Strength Cond Res* 31(2):509-16
124. Zaffagnini S, Grassi A, Serra M, Marcacci M (2015) Return to sport after ACL reconstruction: how, when and why? A narrative review of current evidence. *Joints* 3(1):25-30
125. Zaffagnini, S, Grassi, A, Marcheggiani Muccioli, G (2014) Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in professional soccer players. *Knee* 21:731-5

7 Abkürzungsverzeichnis

1BT	einbeiniger Balance-Test
2DJ	beidbeiniger Drop Jump
A	Ausgezeichnet
ACL-RSI	Anterior Cruciate Ligament - Return to Sport after Injury Scale
AOSSM	American Orthopaedic Society for Sports Medicine
BFV	Bayerischer Fußballverband
BKZ	Bodenkontaktzeit
BL	Bayernliga
bzw.	beziehungsweise
DFB	Deutscher Fußball-Bund e.V.
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.
E	erfüllt
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
FZ	Flugzeit
G	Gut
GZ	Gesamtzeit
HFD	einbeiniger Hop for Distance
HKB	Hinteres Kreuzband
H/Q-Ratio	Hamstrings/Quadriceps-Ratio
IKDC	International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form
KB	Kreuzband
LL	Landesliga
LSC	Lateral Speed Chase
LSI	Leg Symmetry Index
M	Mittelmäßig
M.	Musculus
max.	maximal
mCKRS	Modified Cincinnati Knee Rating System
MCS	Mental component score
min.	minimal
mLKS	Modifizierter Lysholm Knee Score

Mm.	Musculi
NE	nicht-erfüllt
OS	Oberschenkel
PASS	Patienten-akzeptabler Symptom-Status
PCS	Physical component score
RL	Regionalliga
RTP	Return to play
RTS	Return toSports
RSI	Reactive Strength Index
S	Schlecht
s.	siehe
SD	Standardabweichung
SF-12	12-Item Short Form Health Survey
SF-36	36-Item Short Form Health Survey
SG	Sehr gut
SHT	einbeiniger Side Hop Test
TT	Tapping-Test
USA	United States of America
VBG	Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg, Deutschland
VKB	Vorderes Kreuzband
vs.	versus
zw.	zwischen

8 Eidesstattliche Erklärung zur Dissertation

Hiermit erkläre ich, Bianca Köppl, geboren am 24.07.1995 in Zwiesel, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen verwendet habe. Die Stellen, die anderen Werken (gilt ebenso für Werke aus elektronischen Datenbanken oder aus dem Internet) wörtlich oder sinngemäß entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quelle und Einhaltung der Regeln wissenschaftlichen Zitierens kenntlich gemacht. Diese Versicherung umfasst auch in der Arbeit verwendete bildliche Darstellungen, Tabellen, Kartenskizzen und gelieferte Zeichnungen. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Bianca Köppl, Regensburg

Danksagung

Zum Schluss dieser Arbeit möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mich während meines Medizinstudiums und der Verfassung meiner Dissertation unterstützt haben.

Insbesondere möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Werner Krutsch für die Möglichkeit bedanken, meine Dissertation in einem persönlich sehr wichtigen Themenbereich schreiben zu dürfen. Durch seine großartige Unterstützung bei dieser Dissertation als Doktorvater und das gemeinsame Interesse zum Fußball war diese Arbeit erst möglich.

Ebenso möchte ich mich bei meinem Betreuer PD Dr. med. Oliver Loose bedanken, der mit seiner hilfsbereiten und freundschaftlichen Art stets zur Seite stand und für meine Fragen immer ein offenes Ohr hatte.

Weiterhin möchte ich mich bei Christian Zantop sowie dem Team der Athleticum+ GmbH aus Straubing für die herausragende Unterstützung in der Testdurchführung des RTP-Testes sowie der umfassenden Hilfestellung bei all meinen Fragen bedanken.

Außerdem möchte ich beim Zentrum für klinische Studien in Person von Herrn Gunnar Huppertz bei der Unterstützung im Datenmanagement sowie der Verwaltung der digitalen Fragebögen bedanken.

Zu guter Letzt möchte ich mich herzlich bei meinen Eltern, Kerstin und Michael Köppl, sowie meinen Brüdern bedanken, die mir immer eine große Stütze sind und mir stets zur Seite standen. Ohne ihre unglaubliche Unterstützung und Ermutigung, hätte ich meine Ziele nicht erreichen können. Vor allem möchte ich meinem Partner Tobias danken, der mir immer den Rücken freihält und mich ermutigt, meine Träume zu leben.