

Aus dem Bereich Allgemeinmedizin,  
Klinische Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

**Vorderes Kreuzband**  
**Gibt es einen „Gold Standard“ in der Therapie nach einem Ersatz?**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der theoretischen Medizin*  
**der Medizinischen Fakultät**  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES  
2023

vorgelegt von:  
Marcel Dierich  
geb. am: 21.10.1994 in Celle

Tag der Promotion: 09.01.2024

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Michael D. Menger

Berichterstatter: Prof. Dr. Johannes Jäger

Prof. Dr. Stefan Landgraeber

# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Deutsche Zusammenfassung

Die Rehabilitation nach einem Ersatz des vorderen Kreuzbandes ist in der Literatur ein seit Jahren viel erforschter Bereich. In diesem Zusammenhang ist bekannt, dass die Ruptur des vorderen Kreuzbandes Begleitverletzungen mit sich bringen kann. In der bereits existierenden Literatur wird deutlich, dass die Rehabilitation an bestehende Meniskusschäden und den unterschiedlichen Funktionsstatus des Patienten angepasst werden muss. Eine Handhabung der Einflussfaktoren liegt im Ermessen des behandelnden Therapeuten und wird in der Literatur nicht einheitlich gehandhabt. Dabei wurden in den letzten zehn Jahren neue Methoden in der Rehabilitation bekannt, welche die Therapie ökonomischer und effizienter umsetzbar machten. Die Vorteile dieser Methoden im Hinblick auf die Ergebnisse für den Patienten sind jedoch weitestgehend unbekannt. Das Ziel dieser Arbeit war es, die Rehabilitationsmethoden der letzten zehn Jahre hinsichtlich des Schmerzgeschehens und der Beweglichkeit nach einem Ersatz des vorderen Kreuzbandes zu betrachten. Dazu wurden im September 2021 die medizinischen Datenbanken „Cochrane“, „Pubmed“ und Elseviers’ „ScienceDirekt“ systematisch durchsucht und ausgewertet. Die Ergebnisse der gefundenen Studien wurden Meta-analysiert. Dabei zeigte das Therapieren in offenen und geschlossenen Bewegungsketten signifikante Verbesserungen im Vergleich zu den Kontrollgruppen hinsichtlich des Schmerzgeschehens und der Beweglichkeit. Auch das Vibrationstraining zeigte signifikante Verbesserungen im Vergleich zu den Kontrollgruppen im Bereich der Beweglichkeit. In diesem Zusammenhang liegt jedoch höchstens ein moderater Grad der Evidenz vor. Es wurde deutlich, dass dem funktionellen Einfluss der Beschädigung des Meniskus im Sinne einer angepassten Therapie mehr Beachtung geschenkt werden muss. Alles in allem zeigt die Arbeit, dass es viele verschiedene erforschte Rehabilitationsverfahren gibt. Der aktuelle Stand der Evidenz für die Unterschiede der verschiedenen Verfahren im Hinblick auf ROM und den wahrgenommenen Schmerz ist aber unzureichend, um einen 'Gold Standard' anzuweisen und klare Therapieempfehlungen zu machen. Dazu sollten weitere RCTs mit niedrigem Bias Risiko und einem höheren Grad der Evidenz durchgeführt werden. Um funktionelle Einflüsse differenzierter betrachten zu können wäre eine umfangreichere Studienlage notwendig.

## 1.2 Abstract

Rehabilitation after anterior cruciate ligament replacement has been a broadly researched topic for many years. In this context, it is well known that the rupture of the anterior cruciate ligament can bring concomitant injuries. The existing literature clearly shows that rehabilitation must be adapted to existing meniscal damage and the different functional status of the patient. The handling of the influencing factors is at the discretion of the treating therapist and is not handled uniformly in the literature. New methods in rehabilitation have become known in the last decade, which have made therapy more economical and efficient. However, the advantages of these methods, in terms of patient outcomes, are largely unknown. The aim of this work was to look at the rehabilitation methods of the last ten years with regard to pain and mobility after replacement of the anterior cruciate ligament. For this purpose, the medical databases “Cochrane”, “Pubmed” and Elsevier's “ScienceDirekt” were systematically searched and evaluated in September 2021. The results of the studies found were meta-analysed. Thereby, therapy in open and closed movement chains showed significant improvements, compared to the control groups, with regard to pain and mobility. Vibration training also showed significant improvements in mobility compared to the control groups. It became clear that more attention must be paid to the functional influence of damage to the meniscus in terms of an adapted therapy. All in all, this work shows that there are many researched rehabilitation methods. The current evidence for the differences of these methods with regard to pain and mobility is however insufficient, to define a ‘gold standard’ and to make clear therapy recommendations. In order to do that, more RCTs with a lower risk of bias and higher grade of evidence should be performed.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>III</b>
1.1	Deutsche Zusammenfassung .....	III
1.2	Abstract .....	IV
<b>2</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>THERORETISCHER RAHMEN UND STAND DER FORSCHUNG</b> .....	<b>2</b>
3.1	Epidemiologie .....	2
3.2	Anatomie im Knie .....	4
3.2.1	Funktion des vorderen Kreuzbandes .....	7
3.2.2	Verletzungsmechanismen und Ursachen.....	9
3.3	Definition der Ruptur des vorderen Kreuzbandes.....	11
3.3.1	Diagnostik und Indikation .....	12
3.3.2	Wiederherstellung der Kniekinematik durch Rekonstruktion.....	14
3.3.3	Koordination nach VKB Ersatz.....	17
3.4	Arten und Ziele der Rehabilitation.....	19
3.4.1	Sensomotorische Rehabilitation .....	21
3.4.2	Krafttraining .....	22
3.4.3	Krankengymnastik.....	25
3.4.4	Alternative Behandlungsmethoden .....	26
3.4.5	Ausblick Heilmittelkatalog.....	27
3.5	Messinstrumente funktioneller Unterschiede.....	28
3.5.1	Scalen Schmerzgeschehen.....	28
3.5.2	Messinstrumente Range of Motion .....	30

<b>4</b>	<b>MATERIAL UND METHODE.....</b>	<b>32</b>
4.1	Forschungsfrage und Hypothesen .....	32
4.2	Systematische Literaturrecherche.....	33
4.2.1	Arten von Studien.....	33
4.2.2	Probandenstichprobe .....	33
4.2.3	Intervention.....	34
4.2.4	Comparison.....	35
4.2.5	Outcome .....	35
4.2.6	Datenbanken .....	35
4.2.7	Suchmethode .....	36
4.3	Datenanalyse .....	44
4.3.1	Evaluation der Qualität der Evidenz.....	46
4.3.2	Statistische Analyse.....	47
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>48</b>
5.1	Studienlage .....	48
5.2	PRISMA Flowchart.....	48
5.3	Deskriptive Auswertung.....	50
5.4	Risk of Bias Tool.....	66
5.5	Statistische Auswertung .....	68
5.6	GRADE TOOL.....	71
<b>6</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>76</b>
6.1	Ergebnisdiskussion.....	76
6.2	Methodendiskussion.....	84

6.3	Schlussfolgerungen / Konklusionen.....	85
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>88</b>
<b>8</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>108</b>
<b>9</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>109</b>
<b>10</b>	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>110</b>
<b>11</b>	<b>PUBLIKATION / DANKSAGUNG.....</b>	<b>113</b>
11.1	Publikation.....	113
11.2	Danksagung.....	113
<b>12</b>	<b>LEBENS LAUF.....</b>	<b>114</b>
<b>13</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>115</b>

## 2 Einleitung

Im Alltag vieler Menschen gewinnt der Breitensport zusehends an Bedeutung. Im Wesentlichen wird der Breitensport im Vereinswesen oder auch im ortsansässigen Sportstudio wahrgenommen. Laut Aussagen des Deutschen Olympischen Sportbundes gewinnt sportliche Betätigung in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Beliebtheit (Statistisches Bundesamt, 2021). Der Wettbewerbsgedanke wird erfahrungsgemäß seit Generationen im Vereinsleben aufrechterhalten. Dabei kommt es gerade in Mannschaftssportarten, wie Fußball oder Handball, nicht selten zu Verletzungen im Kniegelenk. Daher werden gesundheitsfördernder Maßnahmen besondere Aufmerksamkeit geschenkt; Therapeutisches Training wird vermehrt in Anspruch genommen um präventiv vor Verletzungen vorzubeugen oder sie zu behandeln. In diesem Punkt stellen gerade Verletzungen im Kniegelenk viele Sportler vor lange Pausenzeiten und langwierige Anschlussheilbehandlungen (Klein et al., 2022). Im Kniegelenk spielen die Kreuzbänder eine wesentliche Rolle in der Stabilisation der Gelenkmechanik. Kommt es zu einem Riss des vorderen Kreuzbandes, stellt dies einen großen Einschnitt in die Funktionalität des Kniegelenks dar. In vielen Fällen wird das vordere Kreuzband (VKB) durch eine körpereigene Sehnenplastik ersetzt. Der Erfolg des Eingriffs hängt aus persönlichen Erfahrungen entscheidend mit den anschließenden Rehabilitationsmaßnahmen zusammen. Da es aber gerade in diesem Zusammenhang keine einheitlichen Richtlinien gibt, kommt es zu vielen unterschiedlichen Herangehensweisen. Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit mit der Thematik, welche der möglichen rehabilitativen Maßnahmen für den Patienten das beste Ergebnis liefern.

Daraus folgt die Forschungsfrage dieser Arbeit: „Gibt es einen Unterschied zwischen den angewendeten Rehabilitationstechniken bei einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion, besonders im Hinblick auf Schmerzfreiheit und Beweglichkeit?“

Die heutige Therapie bietet unterschiedliche Möglichkeiten in Bezug auf die Rehabilitation, welche zum aktuellen Zeitpunkt auf ausreichende Evidenz untersucht werden müssen. Eine Untersuchung aller aktuellen Studien soll deshalb den größt möglichen praktischen Nutzen der Patienten ermitteln, um die Forschungslücke zu schließen.

Die qualitative Analyse der aktuellsten Studien zum Thema Therapie nach VKB Ersatz bildet den Gegenstand dieser Arbeit. Eine systematische Literaturrecherche bildet die Grundlage und zeigt, welche Therapiemaßnahmen momentan in der Wissenschaft relevant sind. Die passenden

Studien werden anschließend wo möglich meta-analysiert, um die variantenreichen rehabilitativen Ansätze in den Studien und deren Effekte miteinander vergleichen zu können.

### 3 Theroretischer Rahmen und Stand der Forschung

#### 3.1 Epidemiologie

Die VKB Ruptur ist mit Schätzungen der Inzidenz von 1 pro 3500 Einwohnern pro Jahr in Deutschland eine häufige Verletzung bei Sportunfällen (Griffin et al., 2000; Petersen und Zantop, 2009; Petersen et al., 2012). Sprünge und plötzliche Drehbewegungen im Handball, Fußball und Basketball sind typische Ursachen (Petersen und Zantop, 2009; Takahashi et al., 2018). Ungefähr 72 - 95 % der Verletzungen entstehen ohne direkten Kontakt mit einem Mitspieler (Bahr et al., 2005; Takahashi et al., 2018).

Bei Jugendlichen ab 14 Jahren bis ins höhere Erwachsenenalter erfolgen mehr als zwei Drittel aller Rupturen des vorderen Kreuzbandes. In dieser Gruppe der Bevölkerung liegt die Inzidenz bei einer Verletzung auf 1750 Einwohner. Im Bereich der 15 bis 25-Jährigen erfolgt eine Verletzung auf 1000 Einwohner (Petersen und Zantop, 2009).

Die höheren mechanischen Belastungen für den Gelenkapparat im Wettkampfsport führen nicht selten zu Verletzungen. Besonders bei Sportlerinnen ist ein erhöhtes Vorkommen der Verletzung zu bemerken (Petersen 2002; Takahashi et al., 2018; Carlson et al., 2016). In vielen Fällen eines solchen Traumas kommt es zu einer Operation als Heilbehandlung; jährlich werden über 40.000 VKB Operationen in Deutschland durchgeführt (Kohn et al. 2020). Ein solcher Eingriff zieht eine langwierige Rehabilitation nach sich. In diesem Punkt konnten 65 - 88 % der Patienten mit VKB Rekonstruktion innerhalb des ersten Jahres nach der Rehabilitation die sportliche Aktivität wiederaufnehmen, was Unterschiede im Rehabilitationsverlauf vermuten lässt (Griffin et al., 2000; Petersen, 2009; Petersen et al., 2014). Über einen Nachuntersuchungszeitraum von 6-11 Jahren nach der Ruptur des VKB, konnten in der vorliegenden Datensammlung 58 % der Rekonstruierten und 82 % der ohne Ersatzplastik konservativ therapierten Handballathleten zu dem vorherigen Aktivitätslevel zurückkehren (Laver und Myklebust, 2015). Die Möglichkeit der Wiederaufnahme sportlicher Aktivitäten nach einer VKB Rekonstruktion ist wahrscheinlich. Nach einem Zeitraum von 10 - 12 Wochen scheint laut den Leitlinien von Petersen die Aufnahme von nicht pivotierenden Sportarten wie Laufen oder Schwimmen möglich zu

sein. Für pivotierende Sportarten sei der Erfolg der muskulären und propriozeptiven Rehabilitationsmaßnahmen wichtig, danach sei ein Zeitraum von 6 - 12 Monaten anzunehmen (Petersen, 2009). In einem Nachuntersuchungsintervall von 10 - 13 Jahren ist von einer Reduktion der sportlichen Aktivität bei risikobehafteten Patienten die Rede (Fink, 2022). Die Reduktion der sportlichen Aktivität ist bei 44 % der operativ und bei 70 % der konservativ therapierten Patienten in den jeweiligen Untersuchungsgruppen zu erkennen (Fink, 2022). Wenn die sportliche Aktivität wieder erreicht wird, ist diese mit einer erhöhten Gefahr der Reruptur verbunden. Abhängig von der ausgeübten Sportart, dem Aktivitätsniveau, der Transplantatwahl und dem Erfolg der ersten Rekonstruktion, zeigen verschiedene Studien eine Rerupturrate von 2,3 - 13 % (Petersen, 2009; Fink, 2022). Die höchste Rerupturrate wurde in einer norwegischen Studie bei Handballerinnen erhoben. Nach VKB Rekonstruktionen betrug die Rate 13 %, wobei hervorgehoben wird, dass gerade beim Frauenhandball eine extrem hohe Inzidenz zu finden ist (Laver und Myklebust, 2015). Im Rahmen der Studierhebung fanden sich bei 9 % der betrachteten Sportlerinnen VKB-Rupturen der kontralateralen, initial nicht verletzten Seite (Laver und Myklebust, 2015). Bei Patientinnen mit Läsion des VKB wurden mehr degenerativen Veränderungen im Sinne osteoarthrotischer Veränderungen gefunden (Laver und Myklebust, 2015; Fink, 2022). Ob eine stabilisierende VKB Rekonstruktion in Form einer Operation eine Arthrose verhindern oder zeitlich aufhalten kann, ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht abschließend geklärt (Petersen, 2009). Die KANON Langzeitstudie zeigt bei Patienten nach VKB-Rekonstruktion, dass die Prävalenz osteoarthrotischer Veränderungen nicht primär davon abhängt, ob eine operative oder konservative Therapie erfolgte (Filbay et al., 2017). Um einen Therapierfolg nach der Operation sicherzustellen, spielt die Rehabilitation eine zentrale Rolle in der Nachsorge (Petersen und Zantop, 2009; Roemer, 2017; Imhoff et al., 2018). Ein minimiertes Operationstrauma, optimierte Operationstechniken und eine anatomische, primärstabile Verankerung des VKB-Transplantates ermöglichen dem Patienten eine frühfunktionelle Nachbehandlung ohne die übliche Rehabilitationszeit von einem Jahr (Petersen und Zantop, 2009; Mayer et al. 2011; Imhoff et al., 2018).

Im VBG-Sportreport 2021 wird die Verletzungssituation für die hier betrachteten Sportarten, Handball und Fußball, anschaulich wiedergegeben und unterstreicht die Relevanz dieser Arbeit. In der Handballsaison 2019/2020 ergaben 33 % der Knieverletzungen eine Arbeitsunfähigkeit und haben 37,1 % aller Heilbehandlungskosten und Entgeltersatzzahlungen ausgemacht (Klein et al., 2022). Im Fußball ergaben sich 30,5 % der Arbeitsunfähigkeiten und 36,8 % aller Leistungen nach betroffener Körperregion. Im Fußball liegt die Prävalenz des Anteils der meisten

verletzten Spieler in der Altersspanne von 30 - 34 Jahren. Die höchste kumulative Saisoninzidenz liegt mit 2.69 % in der Abwehr. Besonders im Eishockey können Knieverletzungen auf fast 60 % auf direkte Kontakt-Situationen zurückgeführt werden. Dabei kollidiert der Verletzte mit dem Knie des Gegenspielers. In der Spielsaison 2018/2019 gehört die Teil- und Vollruptur des vorderen Kreuzbandes zu den typischen Verletzungsmustern (Klein et al., 2022). Ursachen im Eishockey scheinen Kollisionen mit dem Gegner zu sein und damit einhergehend das Verdrehen des Knies. Als Ursache wird das Landen in Kombination mit dem Richtungswechsel oder Sprinten und Laufen angegeben, welche durch Videoanalysen beurteilt wurden (Klein et al., 2022). In der Saison 2018/2019 verursachte die Knieverletzung im Eishockey wieder die höchsten Arbeitsunfähigkeitszahlen mit 30,6 % und damit in Verbindung den größten Kostenfaktor für Heilbehandlungsleistungen und Entgeltersatzzahlungen mit 35,6 % (Klein et al., 2022).

Wird der Heilmittelkatalog zu Rate gezogen ist zu erkennen, dass die Standard Rehabilitation bei VKB Rupturen eine nicht budgetierte Sonderziffer besitzt. Das bedeutet, dass der Physiotherapeut frei entscheiden kann, welche Behandlungsmethode angewandt wird. Diese Arbeit soll die Evidenz der aktuellen Studien prüfen und bildet damit eine Orientierung für spätere Richtlinien zur Rehabilitation von Patienten.

### 3.2 Anatomie im Knie

Anhand der Anatomie wird erklärt, warum das Kniegelenk für Verletzungen anfällig ist. Die fehlende knöcherner Führung im Kniegelenk in Verbindung mit den beiden längsten Hebelarmen im menschlichen Skelett, Femur und Tibia, schaffen eine physiologische und anatomische Instabilität (Wilke, 2013). In diesem Zusammenhang spielen der Grad der Instabilität sowie die Höhe der sportlichen Belastbarkeit eine entscheidende Rolle für die Prognose nach einer Ruptur. Im Alltag kann ein subluxierendes Nachgeben und ein pivotieren des Gelenks als störend empfunden werden. Dies kann eine berufliche, sportliche und alltägliche Beschäftigung unmöglich machen (Wilke, 2013). Daran ist zu erkennen, wie wichtig diese Arbeit für geschädigte Menschen sein kann und wie notwendig eine erfolgreiche Anschlusstherapie sein muss.

Im Kniegelenk kann generell über annähernd transversale Achsen gesprochen werden, in denen die Streckung und Beugung des Knies ablaufen. Darüber hinaus erfolgt eine Rotation um die Unterschenkelachse in gebeugter Stellung (Platzer, 2018). Die Kreuzbänder spielen in unterschiedlichen Stellungen im Knie wichtige Rollen, welche für die Betrachtung der Range of

Motion (ROM) entscheidend sind. In gestreckter Stellung sind die beiden Kollateralbänder und der vordere Anteil des Ligamentum cruciatum anterius (Vorderes Kreuzband) gespannt. Dabei gleiten die beiden Femurkondylen in eine Lage nahe der Extremstellung. Es kommt darüber hinaus zu einer vollständigen Entfaltung des Lig. collaterale anterius. Begleitend zu den letzten 10 Grad Streckung bevor die Extremstellung erreicht wird, erfolgt eine Schlussrotation um 5 Grad. Verursacht wird diese durch die Form der lateralen Femurkondylen und der Führung des Lig. cruciatum anterius. Durch dieses Band wird der Meniscus lateralis nach anterior translatiert und die Ligamenta collateralia angespannt. Auch der Tractus illiotibialis unterstützt diese Schlussrotation. Im Zuge dessen kommt es zu einer leichten Auseinanderwicklung der Kreuzbänder. Diese Schlussrotation wird durch eine Außenrotation der Tibia hervorgerufen, beim Standbein durch eine Innenrotation des Oberschenkels. Bei der extremen Streckstellung sind die Kreuzbänder ebenso wie die Kollateralbänder angespannt. Die normale Streckstellung beträgt 180 Grad, bei Jugendlichen etwa 5 Grad mehr (Platzer, 2018).

Bei einem gebeugten Knie ist das Ligamentum collaterale fibulare nicht angespannt. In dieser Position steht das Ligamentum collaterale tibiale nur teilweise unter geringer Spannung. Des Weiteren sind das Ligamentum cruciatum anterius und das Ligamentum cruciatum posterius vollständig unter Spannung. Unter Führung der Kreuzbänder kann in der Beugestellung eine Rotation durchgeführt werden. Dabei sind die in der Innenrotation erreichten Winkelgrade kleiner als die in der Außenrotation. Bei der Innenrotation wickelt sich das Lig. cruciatum anterius um das Lig. cruciatum posterius und verursacht damit eine Hemmung des Einwärtsdrehens ab einem bestimmten Winkel (Platzer, 2018). Darüber hinaus werden die dorsalen Fasern des Lig. collaterale tibiale zum Ende der Innenrotation gespannt. Die Kreuzbänder drehen sich bei der Außenrotation auseinander. Das Lig. collaterale tibiale primär und das Lig. collaterale fibulare sekundär beenden die Außenrotation. Der maximale Rotationsumfang liegt dabei zwischen 45 und 60 Grad (Platzer, 2018).

Die Kreuzbänder besitzen eine schräge Stellung, daher ist in jeder Stellung immer ein komplettes oder ein Teil der beiden Kreuzbänder angespannt. Sollte in einem Winkelgrad eines der Kollateralbänder insuffizient werden, würde ein Kreuzband die Führung des Gelenks übernehmen. Bei der Rotation bewegen sich die Menisci und das Femur auf der Tibia. Bei der Streck- und Beugebewegung bewegt sich das Femur mit Roll- und Gleitbewegungen auf den Menisci, weshalb man das Knie als ein transportables Gelenk bezeichnet (Platzer, 2008).

Stabilität, Instabilität und Laxität sind besonders bedeutsame Begriffe im Zusammenhang mit den Kreuzbändern. Bandlaxität beschreibt eine größere Möglichkeit der aktiven und passiven Bewegung von Gelenken. Als Orientierung dient dabei der normale physiologische Zustand hinsichtlich der Grenzen der Verschieblichkeit und den Limiten der Rotation. Dabei ist die konstitutionelle Bandqualität in Abhängigkeit von der Kollagenzusammensetzung, dem Alter und dem Geschlecht als Laxität zu verstehen (Jakob und Stäubli, 1990; Imhoff et al., 2018). Laxität hat aus medizinischer Sicht die Bedeutung der Schlaffheit oder des Spannungsverlusts als Charakteristikum eines Ligamentes, aber auch eine lockere Bandführung in Bezug auf die physiologische bzw. abnorme Bewegung des Gelenks. Darüber hinaus ist eine physiologisch höhere Laxität bei Jugendlichen, Adoleszenten und Schwangeren zu erkennen. (Jakob und Stäubli, 1990).

Der Begriff Laxität muss vom Zustand des Instabileins unterschieden werden. Stabilität beschreibt den Zustand des Stabileins und die Instabilität den Zustand des Nicht-Stabileins (Jakob und Stäubli, 1990).

Der Begriff Instabilität beschreibt einen nicht normalen Zustand der Stabilität, wobei es zu vergrößerten Beweglichkeit kommt. Im unnormalen Zustand besteht die Möglichkeit die Tibia im Vergleich zum Femur transversal mehr zu verschieben und zu rotieren. Der Zustand eines instabilen Gelenks liegt dann vor, wenn größere Bewegungsfreiheiten ausführbar sind und diese durch ein insuffizientes Ligament bedingt sind. Auf der einen Seite meint Instabilität den Zustand einer vermehrten Gelenkbeweglichkeit im Sinne objektiver klinischer Zeichen einer abnormen Verschieblichkeit. Auf der anderen Seite gibt es den Zustand des subjektiven „Giving-way-Syndroms“ und damit ein subjektives Einsinkgefühl des Patienten (Jakob und Stäubli, 1990; Imhoff et al., 2018). Das Syndrom beschreibt eine subjektiv empfundene funktionelle Instabilität mit Einsink- und Unsicherheitsgefühl, sowie partiellem oder vollständigem Kollaps des Kniegelenks. Ein solches Einsinkgefühl kann durch eine teilweise luxierende Patella hervorgerufen werden. Dabei können muskuläre Arthropathie in der Beinstreckenden Muskulatur, Fragmente aus Knorpel oder Knochen und instabile Menisken begünstigende Faktoren sein.

Die klinische Untersuchung setzt generell einen Vergleich zwischen dem verletzten und intakten Kniegelenk voraus. Eine konstitutionelle Laxitätskomponente der Stabilität des unverletzten Beins wird somit einbezogen (Jakob und Stäubli, 1990, Imhoff et al., 2018).

Eine Subluxation beschreibt einen partiellen Kontaktverlust der physiologischerweise gelenkbildenden Gelenkkörper. Bei der Luxation liegt ein kompletter Kontaktverlust der normalerweise artikulierenden Gelenkkörper vor (Jakob und Stäubli, 1990). Bei dynamischen Subluxationsphänomenen liegen im Bezug zur Neutralstellung momentane kurzzeitige nachweisbare Subluxationen und Repositionierungen vor. Deren Richtung, Dimension und die angegliederte abnormale Bewegung können durch den Pivot Shift, Flexions-Rotations-Schublade und Reversed Pivot Shift als entsprechende Prüfverfahren definiert werden (Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014).

Bezugnehmend zur klinischen Diagnostik werden bei der Prüfung der Aufklappbarkeit Kräfte und Momente auf die Tibia bei fixiertem Femur eingeleitet. Während der Aufklappbarkeitsprüfung kommt es durch deformierende Kräfte und Momente zur Konvexität. Bei der Zuklappbarkeitsprüfung folgt durch entsprechende Kräfte die Konkavität im Kniegelenk.

Im Hinblick auf die Testung der Freiheitsgrade inklusive der Ebenen der Translation ist der komplette Weg der Verschieblichkeit aufzuteilen. Die Bewegungsamplitude wird durch die Neutralstellung in ein vorderes und hinteres Segment aufgegliedert. (Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014). Jeder Freiheitsgrad, d. h. jede Translation und jede Rotation, hat je zwei unterschiedliche Bewegungsgrenzen in entgegengesetzter Bewegungsrichtung. Faserbündel werden mit eintretender Verschiebung angespannt und wirken dieser mit steigender Tendenz entgegen. Das Band wird hierbei in seiner Steifigkeit und terminalen Dehnbarkeit geändert, wobei der Endpunkt der Bewegung durch die Anschlagqualität charakterisiert ist (Jakob und Stäubli, 1990; Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014).

### 3.2.1 Funktion des vorderen Kreuzbandes

Im generellen Verlauf und in der Anatomie des vorderen Kreuzbandes begründet liegen die eingangs beschriebenen Bewegungsgrenzen. Daher ist das vordere Kreuzband (auch Ligamentum cruciatum anterius genannt) von wesentlicher Relevanz für die Kniekinematik und Stabilisation und wird im Folgenden näher erläutert (Petersen und Tillmann, 2002; Petersen und Zantop, 2009; Imhoff et al., 2017).

Aufgrund der Inkongruenz der artikulierenden Gelenkkompartimente ist eine enorme Stabilisierung des Kniegelenks durch einen starken Bandapparat erforderlich. Entsprechend der Grenze von Knorpel und Knochen an der lateralen Femurkondyle erstreckt sich nach kaudal die oval geformte Innenfläche des Condylus ossis femoris lateralis und bildet den Ursprung des

vorderen Kreuzbandes. Es wird ein schräger Verlauf durch den Fossa intercondylaris (20-22 mm) beschrieben, bis zum Insertionspunkt im mittleren Anteil der Area condylaris (Petersen und Tillmann, 2002). Somit ist der femorale Ursprung mit dem Arthroskop nur schwer darzustellen. Im Rahmen einer VKB Rekonstruktion ist dies der Grund, warum die Bohrkanalanlage nicht ganz im Zentrum des Ursprungs des Bandes geschieht (Petersen und Zantop, 2009; Roemer, 2018). Das VKB spannt sich in gestreckter Position an, da der femorale Ursprung hinter dem Drehzentrum des Kniegelenks liegt (Petersen und Tillmann, 2002; Platzer, 2018).

Der tibiale Ansatz des VKB ist längsoval und dessen Mittelpunkt befindet sich nahezu im Zentrum des Tibiaplateaus. Die Entfernung des Mittelpunkts zum hinteren Kreuzband dient zur Orientierung zur Anlage des Bohrkanals im Bereich des tibialen Ansatzes. Das Außenmeniskusvorderhorn ist ein weiterer Orientierungspunkt zur Bohrkanalanlage, welches etwa in Höhe des tibialen Ansatzes in das VKB inseriert (Platzer, 2018).

Der funktionelle Aufbau beschreibt eine Vielzahl kleiner Faserbündel. Es wird zwischen anteromedial (AM-Bündel) und posterolateral (PL-Bündel) inserierenden Fasern unterschieden (Petersen und Zantop, 2009). Histologisch lassen sich die beiden Faserbündel nicht abgrenzen (Petersen und Zantop, 2009; Zantop et al., 2007; Imhoff et al., 2017).

Im Hinblick auf funktionelle Unterschiede sei eine Abgrenzung sinnvoll. Im kranialen Abschnitt der femoralen Insertion entspringen die anteromedialen Fasern. Die Aufgabe dieser Faserbündel ist eine Anspannung über einen Großteil des Bewegungsbereiches, weshalb diese Fasern als Führungsbündel zu bezeichnen sind. Straffes Bindegewebe ist der Hauptbestandteil des VKB. Insbesondere ist zu nennen, dass die Kollagenfibrillen des Typ-I-Kollagen von Typ-III-Kollagen positiven Fibrillen zu einzelnen Bündeln zusammengefasst werden (Petersen und Tillmann, 2002; Roemer, 2018). In der Streckung liegt das Band am vorderen Rand der Fossa intercondylaris an. Diese anatomische Enge könnte eine Begründung für die im distalen Drittel vorliegenden Abweichungen in der Struktur des VKB sein. Das Gewebe der Struktur in diesem Bereich ähnelt dem vom Faserknorpel, da hier Chondrozyten in den kollagenen Fibrillen eingelagert liegen. Weiterhin weisen die Ansatzbereiche am Femur und an der Tibia des vorderen Kreuzbandes Mechanorezeptoren auf, welche für die Stabilität der kompletten Gelenkstruktur einen entscheidenden Beitrag leisten (Petersen und Tillmann, 2002; Imhoff et al., 2017).

Die Blutgefäßversorgung des VKB erfolgt über die oberen Anteile der Enden der A. genus media. Der tibiale Bereich wird über den Aa. genus inferiores mediales und lat. versorgt. Weiterhin wird das vordere Kreuzband von einem periligamentären Netzwerk in den Ansatzzonen umhüllt. Ausgehend davon inserieren Blutgefäße ins Bandinnere, wo sie sich dem Bandverlauf

anpassen. Es liegt keine gleichmäßige Verteilung der Blutgefäße vor. Die knochenahnen Ansatzstellen und die Bereiche des Fasernorpels weisen nicht vaskularisierte Bereiche auf (Petersen und Tillmann, 2002; Imhoff et al., 2017).

### 3.2.2 Verletzungsmechanismen und Ursachen

Der Einfluss der Weite der Fossa intercondylaris und deren Einfluss auf die Entstehung von Kreuzbandverletzungen ist bis heute nicht abschließend geklärt. Bei Patienten mit beidseitiger Kreuzbandruptur soll eine geringere Weite der Fossa intercondylaris bestehen. Eine geringere Fossa intercondylaris steht im Zusammenhang mit einer geringeren Stärke der Kreuzbänder und damit eine geringere Reißfestigkeit (Sonnerly-Cottet et al., 2011). Die Weite der Intercondylaren Notch ist abhängig vom Durchmesser der Femurcondylen und diese korreliert mit der Körpergröße. Die Studienlage zu diesem Thema ist zum aktuellen Zeitpunkt unzureichend (Griffin et al., 2000; Petersen, 2002; Sonnerly-Cottet et al., 2011; Carlson et al., 2016).

Die häufigste Ursache der VKB Ruptur sind Sportunfälle in Sportarten mit Sprüngen oder abrupten Drehbewegungen wie Fußball, Handball oder auch beim Skifahren (Klein et al., 2022).

Diverse Studien zeigen, dass gerade bei Athletinnen in diesen Sportarten öfter derartige Verletzungen vorkommen (Arendt et al., 1999; Takahashi et al., 2018; Carlson et al., 2016). Weibliche Sportlerinnen weisen meist eine geringer ausgeprägte Muskulatur zur Stabilisation auf. Außerdem ist der Q-Winkel erhöht und Frauen neigen zum Genu valgum (Griffin et al., 2000; Carlson et al., 2016).

Die Verletzungsmechanismen wurden anhand von Videoanalysen in der untersuchten Population (n=1000) bei Takahashi et al. aufgeschlüsselt. Das Landen nach einem Sprung, ein plötzliches Abstoppen oder auch plötzliche Drehbewegungen sind am gefährlichsten (Petersen, 2002; Carlson et al., 2016; Takahashi et al., 2018). Die non-contact VKB Rupturen im Basketball, Volleyball und Handball waren signifikant häufiger als die contact Verletzungen. Dabei wurde die non-contact Verletzung in Landung, Cutting, Stopping und andere unterteilt. Die Verletzung des VKB war während des Vorgangs der Landung signifikant häufiger, als in den anderen Bereichen der Bewegungsabläufe. Die Kniegelenkwinkel zur Zeit der Landung erhöhen sich, welche das Risiko einer Ruptur zu diesem Zeitpunkt erhöhen (Hewett et al., 2007; Carlson et al., 2016). Hingegen im Judo und Fußball kommen die contact Verletzungen deutlich häufiger vor als non-contact Verletzungen.

Kreuzbandrupturen entstehen insgesamt zu 72-95 % in Nicht-Kontakt-Situationen. In der entsprechenden Gefahrensituation ist die Körperhaltung von Bedeutung. Eine aufrechte Körperhaltung mit leicht flektiertem Knie- und Hüftgelenk (5-25 Grad Knieflexion) liegt dem Trauma zu Grunde. Ein höherer Beugewinkel in der Hüfte wird als Sicherheitsfaktor angeführt. In diesem Fall wird das Bein mit 80-100 % des Körpergewichts belastet (Petersen, 2002; Carlson et al., 2016). In vielen Fällen wird das Knie als innen- oder außenrotiert und in Valgus-Position beschrieben. In dieser Lage ist das Kreuzband maximal gespannt. Entsprechend der obigen Ausführungen kommt es in einer solchen Position zu einem Impingement des vorderen Kreuzbandes und dem lateralen Femurkondylus (Platzer, 2018). Sportler berichteten, zum Zeitpunkt der Verletzung, über eine fixierte Schuhsohle, wobei sich der Fuß entsprechend der Drehbewegung nicht mitbewegen konnte. Die Videoanalysen zeigten, dass der Körperschwerpunkt hinter dem Zentrum des Kniegelenks lag und der Fuß flach aufgesetzt war (Carlson et al., 2016; Takahashi et al., 2018).

Beim Skifahren treten ebenfalls Gefahrensituationen auf, wobei ein großer Beugewinkel in Kombination mit einem ungünstigen Schwerpunkt des Körpers vorliegt. Erschwerend befindet sich die Tibia dabei in einer Innenrotation. Diese Haltung wird als „Knee in und Toe Out“ beschrieben und bestätigt den Zusammenhang zum Zeitpunkt der Verletzung (Petersen, 2002; Kobayashi et al., 2010)

Gerade bei weiblichen Skiathletinnen ist die Inzidenz der VKB-Rupturen erhöht. Hierbei ist eine Kontraktion des M. quadriceps femoris für geringere Spannungen auf das vordere Kreuzband verantwortlich. Zusätzlich besitzen die ischiocruralen Muskeln einen ungünstigen Hebelarm und somit einen geringen Schutzmechanismus für das vordere Kreuzband (Petersen, 2002). In dieser Lage muss die Hüfte in Flexion gebracht werden, um das Gleichgewicht zu halten, allerdings wird dabei der M. quadriceps stark kontrahiert (Carlson et al., 2016). Dieser Mechanismus trug auch bei weiblichen Ballspielerinnen zum Verursachen einer höheren Inzidenz bei, da sie aufrechter landeten und dabei das Knie- und Hüftgelenk weniger beugten (Petersen, 2002). Die Valgusposition ist bei Frauen die auf Ausweichbewegungen vorbereitende Knieposition und weiterhin besitzen sie eine aufrechtere Körperhaltung in Drehbewegungen. Begünstigt wird dabei die Position des M. quadriceps durch die Muskelmechanik. Der Hebelarm der ischiocruralen Muskulatur ist kürzer, welche den Tibiakopf nach vorne absichert (Petersen, 2002; Hewett et al., 2007). Beim Landungsgeschehen der Frauen nach einem Sprung ergab sich ein durchschnittlicher Kniebeugewinkel von 17 Grad. Wobei bei Männern hingegen ein durch-

schnittlicher Kniebeugewinkel von 31 Grad auftritt (Petersen, 2002; Hewett et al., 2007; Carlson et al., 2016). Da Frauen den maximalen Kniebeugewinkel nach der Landung schneller als Männer erreichten, wurden die Kräfte bei der Landung abrupter absorbiert, als bei Männern (Carlson et al. 2016). Frauen die mit einem geringeren Kniebeugewinkel und in Valgusstellung landeten, übten in Kombination größere Scherkräfte auf das vordere Kreuzband aus und setzten es damit unter Stress (Carlson et al., 2016). Eine steigende Spannung der Sehne des Mm. quadriceps erwirkt unabhängig vom Winkelgrad eine automatisierte Rekrutierung von Faserbündeln des VKB. Je stärker das Knie gebeugt wird, desto mehr nehmen die Kräfte auf das VKB zu. Die Kräfte die auf das VKB wirken sind abhängig von den resultierenden Kräften, welche den Tibiakopf nach vorne ziehen. Der Winkel zwischen der Patellasehne und dem Tibiaschaft ist somit von Bedeutung. Bei einer exzentrischen Quadrizepskraft von 6000 Newton, können bis zu 2000 Newton im vorderen Kreuzband entstehen. Das reicht aus, um das VKB zu zerreißen. Gerade im Beugewinkel zwischen 0 und 45 Grad kommt es zu den höchsten Spannungen und mit durchschnittlich 22 Grad werden genau diese bei einer Landung nach einem Sprung erreicht. Als Antagonisten sind die ischiocruralen Muskeln in der Lage den Tibiakopf gegen die Verschiebung nach vorne zu sichern. Mit zunehmender Streckung verlieren die ischiocruralen Muskeln jedoch ihre Wirksamkeit (Petersen, 2002, Hewett et al., 2007).

### 3.3 Definition der Ruptur des vorderen Kreuzbandes

Die Kreuzbänder sind für die sensomotorische Gelenkwahrnehmung des Knies entscheidend, da durch Nocizeptoren die Stellung der Gelenkkompartimente im Raum wahrgenommen wird (Petersen, 2002; Schaffrath, 2022). Sind diese durch eine Ruptur nicht mehr in Funktion, kommt es zur Instabilität. Der efferente Muskelreflex kann nicht mehr zielgerichtet eingeleitet werden (Schaffrath, 2022). Im Falle einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes erfährt die Kinematik des Kniegelenks verschiedene Einschränkungen. Als logische Folge ergibt sich eine Instabilität in der Sagitalebene, wobei zusätzlich eine Verlagerung des Rotationszentrums nach medial hinzukommt. Wird das Plateau am oberen Ende der Tibia in eine Innenrotation gebracht, ist dies die Folge der damit in Verbindung stehenden Translation der Tibia nach ventral (Petersen und Zantop, 2009; Imhoff et al., 2017). Die einzelnen Bündel des VKB stabilisieren in unterschiedlicher Weise und in verschiedenen Winkelgraden das Kniegelenk. In Streckung ist das PL-Bündel gespannt welches bei einem Lachmann-Test hauptsächlich die extensionsnahen Kniestellungen stabilisiert (Zantop et al., 2007). Bei einer isolierten Durchtrennung des PL-Bündels folgt ein signifikanter Anstieg der anterioren tibialen Translation bei 30 Grad Knieflexion (Zantop et al., 2007; Imhoff et al., 2017). Das AM-Bündel wird bei zunehmender Beugung

unter Spannung gesetzt und übernimmt damit eher stabilisierende Rollen in Flexionstellungen. Eine isolierte Durchtrennung des AM-Bündels führt zu einer stärkeren anterioren tibialen Translation in einem Beugewinkel von 60 Grad und 90 Grad (Zantop et al., 2007, Imhoff et al., 2017). Im medialen Verlauf der AM-Fasern in der Fossa intercondylaris liegt eine vermehrte Sicherung gegen die anteriore tibiale Translation begründet, gegen die Rotationskräfte nur in geringem Maße (Zantop et al., 2007; Imhoff et al., 2017). Dem PL-Bündel werden darüber hinaus neben der AP-Translationssicherung auch Eigenschaften in der Rotationssicherung zugeschrieben, welche im eher schrägen intraartikulären Verlauf begründet liegen (Zantop et al., 2007, Imhoff et al., 2017). Als weitere Art der VKB Ruptur gibt es die Möglichkeit Segond-Fraktur, wobei es zu einem knöchernen Ausriss des lateralen meniskokapsuloligamentären Elements aus dem lateralen Tibiabereich kommt (Imhoff, 2017). Bei einer Avulsion kommt es zu einem knöchernen Ausriss des Bandes am Ansatzareal im Sinne des Ausrisses des VKB aus der Area intercondylaris anterior an der Tibia (Stäubli u. Jakob, 1990; Imhoff, 2017).

### 3.3.1 Diagnostik und Indikation

Liegt ein chronisch instabiles Knie vor, übernimmt der Untersuchende bei passiven Tests die Aufgabe der Muskulatur: Schubladentests sind Translationstests und dienen primär der Beurteilung der Kreuzbänder. Das innere und das äußere Band des Kniegelenks werden im Zusammenhang mit den Kreuzbändern durch eine Rotation der Tibia nach außen und innen untersucht (Kohn et al., 2002; Roemer, 2017; Rauch et al., 2019). Rezidivierende Episoden mit schmerzhafter Kniesubluxation jeweils gefolgt von Knieschwellung über einige Tage sind typische Kennzeichen für ein fehlendes vorderes Kreuzband (Kohn et al., 2002; Roemer, 2017). Palpatorisch sollte zunächst der Ort der Verletzung eingegrenzt werden und das verunfallte Knie im möglichen Bereich bewegt werden. Durch den intraartikulären Verlauf des VKBs ergeben sich zwei zentrale Kontrollmechanismen im intakten Kniegelenk. Durch den Verlauf des Ligaments in der Sagitalebene wird die anteriore tibiale Translation unter anteriorer tibialer Kraft limitiert. Dieses mechanische Phänomen kann klinisch durch einen vorderen „Schubladentest“ überprüft werden. Hierbei ist zu beachten, dass es nicht zu einer Anspannung der ischiokruralen Muskulatur kommt, da diese durch den Hebelarm in 90 Grad Flexion die vordere Schublade limitieren kann. Kontrahiert der Patient seinen Quadrizeps mit auf einer Unterlage fixiertem Fuß, wandert der Tibiakopf in die Neutralstellung nach vorne. Wird hierbei ein rupturiertes VKB getestet, ist durch das fehlende Innervieren des Mm. quadriceps ein Erreichen der normalen Endstellung aus der hinteren Subluxationstellung nicht möglich. Der sogenannte dorsale Durchhang

(„posterior Sag“) lässt sich in Abhängigkeit von der Knieposition sowohl extensionsnah zwischen null und 20 Grad, als auch flexionsnah zwischen 70 und 90 Grad nachweisen (Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014). Eine derartige gewichts- und schwerkraftinduzierte hintere Subluxationsstellung lässt sich durch passiven Druck von ventral nach dorsal verstärken. Liegt eine teilweise luxierte Stellung vor, kann das Neutralstellen eine Reposition in die physiologische endgradige Gelenkposition erwirken. Dies ist als aktiver Quadrizepstest bekannt (Kohn et al., 2002, Roemer, 2017). Die anteriore tibiale Translation in 20 Grad Beugewinkel im Sinne eines stabilen Lachmann-Tests sollte überprüft werden. Ist der Lachmann-Test positiv und ist das Anspannen des Bandes durch den sogenannten Anschlag nicht geführt, spricht man mit hoher Sicherheit von einer VKB Ruptur (Kohn et al., 2002, Roemer, 2017). Dabei muss jedoch überprüft werden, ob die Werte in Relation mit der intakten kontralateralen Knieseite stehen. In diesem Punkt sollte die physiologische Laxizität zwischen weiblichen und männlichen Sportlern berücksichtigt werden, da hier deutliche Unterschiede zu finden sind und die absoluten Werte allein irreführend sein können (Petersen und Zantop, 2009). Bei sehr schmerzhaften Gelenken kann ein No-touch-Lachman-Test eingesetzt werden. Ein ventraler Vorschub des lat. Tibiaplateaus in Verbindung mit einem Rotieren nach innen wird bei einem Drittel Beugungswinkel durch mechanische Einflüsse repositioniert. Dieser Vorgang kann durch entsprechende Testungen geprüft werden. Durch Begleitverletzungen des lateralen Kolateralbandes oder der Gelenkkapsel wird dieser Mechanismus verstärkt begünstigt (Petersen et al., 2005; Imhoff et al., 2017). Zu bedenken ist, dass die Pivot-Shift-Tests bei frischen Verletzungen ohne Narkose keinen Sinn ergeben, da diese zu schmerzhaft sind und daher nicht selten falsch negativ ausfallen können (Kohn et al., 2002).

Zur orthopädisch-traumatologischen Erstuntersuchung des Kniegelenks gehören weiterhin Röntgenbilder mit lateralen und axialen Strahlengang. Durch Sie ist eine visuelle Untersuchung der gelenkbildenden Kompartimente möglich. Weiterhin können die Zustände der Köpfchen der Fibula und der Höcker der Kreuzbänder beurteilt werden. Die Röntgendiagnostik sollte durch Tunnelaufnahmen, Schrägaufnahmen, Belastungsaufnahmen, Stressaufnahmen und Extensionsaufnahmen mit lateraler Projektion ergänzt werden. Des Weiteren werden der Magnetresonanztomographie (MRT) hohe Treffsicherheiten mit hohen Sensitivitäten und Spezifitäten angegeben (Kohn et al., 2002).

### 3.3.2 Wiederherstellung der Kniekinematik durch Rekonstruktion

Voraussetzung für die Rekonstruktion ist ein positiver Zusammenhang zwischen praktischer Untersuchungen und den bildgebenden Verfahren. Die weitere sportliche Belastung, das Alter des Patienten und die sekundären Schäden fließen in die Indikation ein und können in Abbildung 1 entnommen werden (Kohn et al., 2002, Roemer, 2017). Der Operationszeitpunkt ist vom Ausmaß der Begleitverletzungen und dem tatsächlichen Ausmaß der Instabilität abhängig (Schoepp, 2016). Die Möglichkeit von falsch negativen Ergebnissen bringt die „Giving Ways“ also Kontrollverluste als weitere Indikation für den Ersatz des VKBs mit sich (Rauch et al., 2019; Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014). Eine gute Beweglichkeit in Kombination mit geringer Schwellung, also ein reizfreier Zustand, ist zum Zeitpunkt der Operation wünschenswert. Die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes versucht die AP-Stabilität (Anteriore und Posteriore Stabilität) und die Rotationsstabilität wiederherzustellen. Die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes kann im Sinne einer Einzel- oder Doppelbündel Ersatzplastik durchgeführt werden. Entsprechend der verwendeten Bündelanzahl wird eine Ein-Kanaltechnik oder Zwei-Kanaltechnik zur Fixierung des Transplantas benötigt. Weiterhin kann die Wahl des Transplantas unterschiedlich ausfallen. Dabei werden körpereigene Sehnen des M. Semitendinosus mit oder ohne M. Gracilis Anteil als körpereigene Plastik verwendet. Vermehrt wird auch ein Patella-sehnenstreifen mit Knochenanker oder Quadrizepssehnenstreifen mit und ohne Knochenanker verwendet (Schoepp, 2016; Rauch et al., 2019). Ein steigender Transplantatdurchmesser verbesserte die Reißfestigkeit von 20 %, wenn der Durchmesser von 7 auf 8 mm wächst. Um die gewünschte Festigkeit zu erlangen, wird die entnommene Sehne teilweise 6-fach gefaltet. Bei mindestens 8 mm Durchmesser wird von einer geringeren Revisionsrate gesprochen (Schoepp, 2016; Rauch et al., 2019).

Eine Einzelbündel-Rekonstruktion kann unzureichende Rotationstabilitäten nach sich ziehen. Findet eine zu hohe femorale Tunnelposition Verwendung, entspricht dies der Position des Ursprungs des PL-Bündels. Die Rotationsstabilität einer Einzelbündel-Rekonstruktion verbessert sich, wenn der Tunnel im PL-Ursprung gesetzt wird (Petersen und Zantop, 2009; Imhoff et al., 2014; Roemer, 2017). Mittels einer Ganganalyse konnte belegt werden, dass beim bergab Laufen eine Einzelbündel-Rekonstruktion mit Semitendinosus-/Gracilissehne oder Patellasehne die anteriore tibiale Translation bis zum Level der gesunden kontralateralen Seite minimieren kann. In der Standphase resultierte eine signifikant höhere tibiale Rotation. Eine bessere Rotationsstabilität ging mit einer geringeren Arthroserate einher. Ein pathologisches Impingement mit Extensionsdefizit wurde als femorale Tunnelfehllage interpretiert (Petersen und Zantop, 2009;

Imhoff et al., 2014; Roemer, 2017).

Die Doppelbündel-VKB-Rekonstruktion wird als Methode genutzt um beide Stabilitätsparameter des VKB wiederherzustellen. Wird die Doppelbündel-Technik mit der Einzelbündel-Technik verglichen, ist die Doppelbündeltechnik zu 97 % mit den Spannungsverhalten des vorderen Kreuzbandes im Hinblick auf anteriore tibiale Translation zu vergleichen. Die tibiale Bohrkanal Anlage hat einen entscheidenden Einfluss auf die Stabilität der VKB-Rekonstruktion (Golish et al, 2007). Um ein pathologisches Impingement am vorderen Rand der Fossa intercondylaris zu vermeiden, wurde bisher versucht den tibialen Tunnel möglichst weit nach hinten zu legen. Die Folge war ein eher steiles Transplantat, welches theoretisch weniger AP-Stabilität erzeugte (Zantop, 2002). Die Doppelbündelrekonstruktion trägt dazu bei, die Anatomie des Originalbandes nachzuempfinden. Doppelbündelrekonstruktion kann objektiv eine bessere AP-Stabilität und bessere Ergebnisse im Pivot-Shift-Test als eine Einzelbündelrekonstruktion erreichen, zeigte aber in subjektiven Scores keine signifikanten Unterschiede auf.

Im Hinblick auf die Zwei-Kanal-Technik betrachtet man die Doppelbündel-Technik wobei mit zwei tibialen Bohrkanälen gearbeitet wird. Der zur bohrende Kanal lagert sich in der posterolateralen Ansatzzone an, wenn man vergleichsweise die Technik mit einem Kanal betrachtet. Entsprechend der physiologischen Ansätze des VKB, liegen die Bohrtunnel bei der Technik mit zwei Kanälen in den Ansatzzonen des anteromedialen Bündels und des posterolateralen Bündels. In diesem Zusammenhang ist der Verlauf des AM-Transplantats im intercondylären Verlauf flacher und ein physiologische Impingement kann minimiert werden (Petersen und Zantop, 2009; Imhoff et al., 2014; Roemer, 2017). Dabei ist die femorale Tunnelposition von zentraler Bedeutung für beide Komponenten (Petersen und Zantop, 2009; Roemer, 2017).

Ein weiterer Vorteil der Doppelbündeltechnik ist die selektive Spannung bei der Fixation der Bündel. Da die Bandanteile in unterschiedlichen Kniebeugewinkeln die höchsten physiologischen Spannungen aufweisen, wird das AM-Bündel bei 45 Beugewinkel und der posterolaterale Transplantatanteil bei 15 Winkelgraden angebracht (Golish et al, 2007). Zu beachten ist, dass fehlerhafte Tunnelanlagen im Femur oder falsche Spannungsverhältnisse die biomechanischen Vorzüge dieser Technik zunichtemachen könnten, da transplantatseitig die Belastungen steigen (Petersen und Zantop, 2002; Imhoff et al., 2018).

Transplantat	Indikation	Relative Kontraindikation
<b>Semi/Gracilis</b>	- Doppelbündel-Technik	- Mediale Instabilitäten (ipsilateral)
	- Große Insertionszonen	- Genu valgum mit Torsionsfehler (ipsilateral)
	- Partialersatz des AM oder PL Bündels	- Alter 16-20 (kein Doppelbündel wegen Rerupturrisiko)
	- Patienten mit knienden Tätigkeiten	
	- Patienten mit femoropatellaren Problemen	
	- Offene Wachstumsfugen	
	- Ältere Patienten über 40	
<b>Patellarsehne</b>	- Revisionen (Knochenblock)	- Knieende Tätigkeit
	- Patienten mit hohem Reruptur-Risiko	- Offene Wachstumsfugen (mit Knochenblock)
	- Alter < 20	- Femoropatellare Schmerzen
	- Risikosportarten: Basketball, Fußball,	- Kleine Frauen
<b>Quadrizepssehne</b>	- Revisionen (Knochenblock)	- Femoropatellare Schmerzen (mit (Knochenblock)
	- Patienten mit hohem Rerupturrisiko	- Kleine Frauen
	- Alter < 20	- Offene Wachstumsfugen (Knochenblock)
	- Risikosportarten: Basketball, Fußball,	

Abbildung 1: Indikation und Kontraindikation der Transplantatwahl (modifiziert nach Schoepp, 2016)

Trotz Rehabilitation lag teilweise weiterhin eine persistierende Instabilität vor, was in fast 50 % der Fälle sekundäre Meniskusschäden nach sich zog. Dabei wurde eine Population im Alter zwischen 18 und 35 Jahren über einen Zeitraum von zehn Jahren befragt. (Schoepp, 2016). Ein hohes Level an Aktivität oder junges Patientenalter waren zum Operationszeitpunkt die größten Risikofaktoren. Transplantatversagen ist häufiger als echte Rerupturen und beruht auf operationstechnischem Versagen, wie fehlerhafter Bohrkanalanlage oder falscher Fixierung des Transplantats (Rauch et al., 2019). Über die Rerupturrate liegen unterschiedliche Daten vor. Es wurden Wahrscheinlichkeiten von 2,3 % bis maximal 13 % aber teilweise auch 17 % angegeben (Petersen, 2009; Schoepp, 2016). Die Erfolgsrate für VKB Rekonstruktionen liegt zwischen 75 % und 97 %. Von diesen erfolgreichen Erstrekonstruktionen unterzogen sich 2.9 % bis 8.9 % einer Revisionsoperation (Kombrink, 2006). VKB-Verletzungen der kontralateralen Seite traten mit insgesamt 11,9 % gleich häufig auf, wie traumatische Rerupturen. Die in einer weiteren Studie untersuchten Patienten mit Revisionsoperation wiesen eine höhere AP Translation und eine höhere Instabilität auf, als die Erstoperationen (Kim D. K. et al., 2018).

Zu beachten war, dass die Allograft Plastik theoretisch eine Immunantwort hervorrufen konnte, welche die postoperative Reformation gegebenenfalls verlangsamte. Hinsichtlich der Schmerzwahrnehmung wurde mit Lysholm und IKDC Score kein Unterschied hinsichtlich der Erst- oder Folgeoperation gefunden (Kim D. K. et al., 2018).

### 3.3.3 Koordination nach VKB Ersatz

Der Ablauf eines Bewegungsmechanismus im Knie ist eine Kette aufgenommener Reize und Umsetzung daraus resultierender Reaktionen. Das Koordinieren der anatomischen Bestandteile wie Knochen, Bänder, Sehnen und Muskeln im Kniegelenk wird durch propriozeptive Rezeptoren gesteuert (Freiwald, 1994). Der „arthrokinetischen Reflexbogen“ steuert die Bewegung, indem der nervale Ablauf von Zentralen Nerven System über Alpha-Motoneuronen bis zum Muskel beschrieben wird (Eckardt, 1994; Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014). Pachini-rezeptoren, die Ruffini-Rezeptoren und die Golgi-Sehnenorgane und die Muskelspindeln sind die im Knie vorliegenden Rezeptortypen (Bizzini, 2000; Kombrink, 2006; Schaffrath, 2022). Die Funktionsweise des sensomotorischen Systems baut gerade im Kniegelenk auf die im Kapsel-Band-Apparat vorliegenden Rezeptoren (Bizzini, 2000; Schaffrath, 2022). Durch die Innervation von afferenten Mechanorezeptoren in der Haut, den Muskeln, den Sehnen, den Faszien, den Kapseln und den Bändern können Stimuli als Signale wahrgenommen werden. Zusammen wirken diese mit aufgenommenen Reizen der Optik, der Akustik und dem Gleichgewichtssinn. Die Gelenkkompartimente im Kniegelenk können translatorisch und rotatorisch verschoben werden. Dabei wird der gelenkumgebende Weichteilbereich belastet und defomiert. Die menschliche nervale Reizweiterleitung mittels Aktionspotentials vermittelt diese Signale über die afferenten Nervenbahnen an das zentrale Nervensystem. Die gesammelten Informationen werden daraufhin als Bewegung oder Winkelgradveränderung des Gelenks registriert (Bizzini, 2000; Schaffrath, 2022). Diese multisensoriellen Konvergenzen üben eine verletzungsverhütende Funktion aus, wodurch einer Gelenkschädigung durch Überdehnung und einer zu hohen Kraftentwicklung vorgebeugt wird. Ein Verletzungsmechanismus am vorderen Kreuzband geht immer mit einem Einfluss auf die Rezeptoren einher und zerstört nervale Afferenzen und die daran gekoppelten Efferenzen (Kombrink, 2006). Durch das Einwirken eines Traumas werden Schutzreflexe in Gang gesetzt, welche die Flexormotoneurone fördert aber die Extensoren hemmt. Posttraumatisch kommt es zu einer Schwäche und Kraftreduktion der Kniegelenksstrecker. Ein geschädigtes „koordinativ-muskuläres Zusammenspiel“ zwischen den einzelnen Muskelpartien wirkt sich auf die gesamte betroffene Extremität aus. Im Falle des vorderen Kreuzbandes weist der gesamte Knie- und Sprunggelenks Verbund posttraumatische Einschränkungen auf. Ist die sensorische Fähigkeit verringert, kann sich das Kniegelenk nur noch bedingt an unterschiedlichste Situationen und Gegebenheiten anpassen und es kann zu erneuten Verletzungen oder chronischen Mehrbeanspruchungen der Gelenke kommen. Langfristig kann

dies ein Risikofaktor für eine vorzeitige Arthrose sein (Kombrink, 2006; Eckardt, 1994). Die interpersonelle unterschiedliche Rekonvalenzdauer und das individuell unterschiedliche Ergebnis nach der Behandlung von vorderen Kreuzbandrupturen kann vom Ausmaß der mitgeschädigten neuromuskulären Rezeptoren oder deren negativen Veränderung abhängen. Daher muss bedacht werden, dass erst sechs bis 12 Wochen postoperativ mit den ersten immunhistochemischen nervalen Einsprossungen zu rechnen ist (Kombrink, 2006). Die postoperative Immobilisation verschlechtert nicht nur den Zustand des Binde- und Muskelgewebes, sondern bringt auch eine Verschlechterung koordinativer Fähigkeiten mit sich. Histologisch und biochemisch wurde die Schädigung der in den Kreuzbändern befindlichen Rezeptoren bei einer Kreuzbandruptur nachgewiesen. Wird das Kniegelenk als eine komplexe sensomotorische Einheit betrachtet, so hat die Bandruptur nicht nur den passiven Stabilitätsverlust zur Folge. Es ergibt sich eine wesentliche Verminderung der Propriozeptions- und der Koordinationseigenschaften durch das Zerstören der im Bereich der Bänder liegenden Rezeptoren (Kombrink, 2006; Bizzini, 2000; Schaffrath, 2022).

Wird in der Rehabilitation durch einen nervalen Reiz ein Muskel bewegt, ergeben die Spannungsänderungen durch die Kontraktion, Reaktionen in anliegenden Sehnen, Bändern und Gelenkkapseln. Deren Zustandsänderung und Registrierung der Bewegung erfolgt in den umliegenden Gelenkrezeptoren. Wird das nervale System derartig berücksichtigt wird ein Gelenk nicht nur zum beweglichen Bauteil, sondern auch zu einem Überwachungsinstrument für die Bewegung und Winkelstellung. Eine derartige afferente Kalibrierung des Empfängers vermittelt somit den motorischen Antrieb (Bizzini, 2000; Schaffrath, 2022). Es kann zu einem Schaden am Muskel-Gelenk-Apparat kommen, wenn bei einer schlagartigen Veränderung eines Bewegungsablaufes, ein Muskel nicht zu reflektorischen Reaktion vorbereitet ist. Die afferente und efferente Informationslandschaft ermöglicht dem peripheren Nervensystem die Reaktionsbereitschaft vorzubereiten, indem muskuläre Vorspannungen vorgenommen werden. Eine solche muskuläre Stabilisierung ist die Grundlage für einen koordinierten Ablauf von dynamischen aber auch statischen Bewegungen (Bizzini, 2000; Schaffrath, 2022).

Weiterhin bilden die Rezeptoren im Fußgewölbe den ersten Kontaktpunkt mit dem Untergrund. Die dort registrierten Reize in Sinne einer Druckänderung auf das subkutane Unterhautgewebe bildet die Grundlage für ein aufrechtes Gangbild. Das örtliche Anlagern der mechanischen Rezeptoren in der Sohle des Fußes und der Ferse wirken sich auf das einbeinige oder zweibeinige Stehen aus. Im Kombination mit Afferenzen aus dem Vestibulärorgan bilden sie die Grundlage für Kontrollmechanismen bei Schwankungen des gesamten Körpers. Dabei ist auch die gleiche

Verteilung des Gewichts auf der Fläche des Fußgewölbes eine weitere Aufgabe und die auf verschiedensten unebenen Aufstandsflächen (Bizzini, 2000). Das Zusammenwirken der Informationen auf das Ausführen muskulärer Reaktionen ist bei Patienten mit entsprechenden Beschwerden eingeschränkt und ist die Grundlage für eine erfolgreiche Rehabilitation (Bizzini, 2000; Schaffrath, 2022).

### 3.4 Arten und Ziele der Rehabilitation

Die Nachbehandlung einer VKB Rekonstruktion ist dem Alter, dem allgemeinen Zustand des Rehabilitaten, der Rekonstruktionsart und den sekundären Schäden anzupassen. Eine begleitende Therapie von schadhafte Menisken oder ligamentären Schäden erfordert gegebenenfalls das Gebrauchen von beugelimitierenden Orthesen oder eine längere Teilbelastung. Eine an den Patienten und dessen Ausgangslage unangepasste Therapie nach „Kochrezept“ sollte vermieden werden. Die Rehabilitation nach der Rekonstruktion wird in drei verschiedene Phasen nach der Operation unterteilt.

In der postoperativen Akutphase (1.-14. Tag) ist ein reizloses Gelenk das Ziel. Zur Linderung der Entzündungszeichen wird das PECH-Schema verfolgt: Pause, Eis (Kühlung), Compression und Hochlagerung. Für die Thromboseprophylaxe wird die Wadenpumpe angewandt. Es werden physikalische Maßnahmen eingesetzt: Neben Kühlung und Hochlagerung auch isometrisches Quadrizepstraining und Lymphdrainage. Es wird auf NSAR-Medikamente verzichtet, da diese die Sehnen-Knochen-Heilung hemmen können. Weiterhin ist eine adaptierte freie Beweglichkeit in Flexion und 0 Grad Extension ab dem ersten Tag nach der Operation möglich. Über passive Bewegungen wird eine möglichst frühe Beweglichkeit angestrebt (Lorenz et al., 2012). Zur Atrophieprophylaxe wird der Patient angehalten die Quadrizepsmuskulatur zu aktivieren. Das Knie wird bei einer Teilkörperbelastung von 20 kg weiterhin mit einer geraden Orthese unterstützt (Petersen et al., 2012; Lorenz et al., 2012). In der frühen Phase (14. Tag - 6. Woche) kann die Belastungsintensität gesteigert werden, wobei die Orthese bis zur sechsten postoperativen Woche weiterhin getragen werden muss. Weiterhin wird versucht die Beweglichkeit zu erhöhen und begleitend kann mit den ersten Übungen in geschlossener Kette angefangen werden. Kommt es hierbei zu begleitenden Streckdefiziten sollte frühzeitig die Indikation der Rearthroskopie gestellt werden, da ursächlich eine Zyklopläsion sein könne (Petersen et al., 2012). Dabei handelt es sich um narbiges Gewebe am Transplantat, welches Knoten oder Zyklopförmig ist und die volle Streckung verhindern kann (Petersen et al., 2012; Rauch et al.,

2019) Die Übergangsphase (ab der 7.-12. Woche) dient zur Steigerung der Kraft und Beweglichkeit, sowie der Verbesserung der Propriozeption und den neuromuskulären Fähigkeiten (Petersen et al., 2012; Lorenz et al., 2012).

Auch während der Spätphase (3 - 6 Monate postoperativ) gilt es neben dem Training von Sprüngen, schnelle Richtungswechsel, die Kraft, die Ausdauer und die Koordination zu fördern. Es ist allerdings zu beachten, dass es postoperativ zu Veränderungen im Transplantat kommt und die mechanische Stabilität darunter leiden kann. Ursächlich dafür sind die Nekrose, Revaskularisation und der ligamentäre Umbau (Petersen et al., 2012; Imhoff et al. 2018; Rauch et al., 2019). Derartige Umbauvorgänge dauern bis zu einem Jahr. Daher liegt der Schutz des VKB-Transplantats in der ersten Zeit nach dem Ersatz an oberster Stelle. Es gibt viele verschiedene Nachbehandlungsprotokolle, welche sich in vielerlei Hinsicht unterscheiden. Ob postoperative Teilbelastungen oder gezielte Bewegungseinschränkungen im Knie nach operativer Rekonstruktion einen belastbareren Funktionsstatus mit sich bringen, ist aktuell nicht abschließend geklärt. Effektiver erwiesen sich bislang nur Rehabilitationsmaßnahmen mit fixiertem Endglied der Bewegungskette (Mayer et al., 2011; Petersen et al., 2012; Bartrow, 2019).

Langfristig kann es durch eine unbehandelte symptomatische Instabilität zur Entwicklung einer posttraumatischen Osteoarthrose kommen (Petersen und Zantop, 2002; Roemer, 2018). Im Hinblick auf die Wiederkehr zum Sport ist das Transplantat während der Remodellierung vor hoher Beanspruchung zu schützen. Der Zeitpunkt des sportlichen Wiedereinstiegs ist nicht nur abhängig von den Transplantatumbauprozessen, sondern die neuromuskulären und propriozeptiven Funktionen sollen möglichst wiederhergestellt sein (Mayer et al., 2011; Petersen et al., 2012; Bartrow, 2019). Als Grundvoraussetzungen für die Rückkehr zum Sport sind daher, das Fehlen eines Ergusses, freie Beweglichkeit und passive Stabilität (Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014).

Zentrale Aufgabe in der postoperativen Reha ist das Beseitigen von problembehafteten Bewegungsmustern, welche bereits zu einer VKB-Ruptur geführt haben. Anfänglich werden funktionelle Faktoren durch klinische Tests zum Zustand des Kniegelenks getestet. Als Indiz für den Rehabilitationsstand der Muskulatur kann der Umfang des Oberschenkels genommen werden. Weiterhin können auch Einbeinsprungtests Hinweise auf die Stabilität der unteren Extremitäten geben (Petersen et al., 2012; Bartrow, 2019). Gefährdende Bewegungsmuster können mit einbeinigen Kniebeugen und „Drop vertical jump“-Tests erfasst werden. Unterstützend für eine Beurteilung sollten bildgebende Verfahren das Intakt sein des Transplantats, die Position der Bohrkanäle und die Ausheilung der Begleitverletzungen beurteilen. Generell kann Aufklärung helfen die gefährdenden Bewegungen zu modifizieren (Petersen et al., 2012; Bartrow, 2019).

Nach Bandrupturen erfolgen drei Formen der Stabilisierung. Zum einen die knöchernen und die Kapsel-Band-Stabilisierung, welche durch operative Therapie avisiert wird. Zum anderen die muskuläre Stabilisierung, welche in das Gebiet der Rehabilitation fällt. Hierbei wird das isokinetische Muskelaufbautraining hervorgehoben (Kombrink, 2006; Mayer et al., 2011). Die erforderliche Immobilisation durch eine Schiene wird nach der Operation nicht einheitlich gehandhabt. Gerade in den letzten Jahren wird früher in die Rehabilitationsphase eingesetzt, um die Immobilisationsphase zu verkürzen. Die zugrundeliegende Überlegung ist, dass eine lange Ruhigstellung vor allem zur starken Muskelatrophie im Bereich der Mm. quadriceps führt. Der damit verbundene Stabilitätsverlust und die langfristige Gelenkversteifung mit Elastizitätsverlust der betroffenen Sehnen des M. quadriceps femoris und m. biceps femoris sind als deutliche Nebenwirkung zu sehen (Kombrink, 2006; Mayer et al., 2011). Außerdem reduziert die Muskelatrophie die Leistungsfähigkeit der aktiven Kniestabilisatoren und stört den Chondrosynovialen Stoffwechsel. Daher verschärfen sich muskuläre Dysbalancen und die Retraumatisierungsgefahr erhöht sich. Außerdem führt eine lange Ruhigstellung zur Ausbildung von Adhärenzen und starker postoperativer umstrukturierter Narbenbildung am rekonstruierten Ligament. Um solche Narbenbildung zu reduzieren ist es ratsam, das involvierte Band in der Rehabilitation unter Zugbelastung zu setzen. Damit prägen sich kollagene Fasern aus, welche sich der eigentlichen Struktur des Bandes angleichen (Kombrink, 2006; Lorenz et al., 2012; Imhoff et al., 2018).

### 3.4.1 Sensomotorische Rehabilitation

Der Grund für ein posttraumatisches Kraftdefizit nach einer Kreuzbandruptur ist die reduzierte Aktivierung der Muskelfasern. Daher ist das Ziel der Rehabilitation die natürliche Koordination wiederherzustellen, neben der wichtigen Verbesserung der muskulären Situation (Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014). Damit chronische Veränderungen in Kraft, Koordination und Stabilität minimiert werden, setzt man verschiedene Behandlungsmethoden zur passiven Frühmobilisation in der Rehabilitation ein. Das Wiedererlernen von Muskelkraft und intra- sowie intermuskulärer Koordination stehen ebenso im Vordergrund, wie die Vorbereitung auf die Tätigkeiten des normalen alltäglichen Lebens (Kombrink, 2006; Bizzini, 2000; Lorenz et al., 2012). Nicht nur Kraftquantitäten, sondern auch die Kraftqualitäten sind zu fördern. Voraussetzung ist das Erreichen von sogenannten funktionellen Geschwindigkeiten. Bewegungen wie Gehen, Laufen, Treppensteigen sollen nach dem Training wieder gut durchführbar sein (Frobese, 1993; Lorenz et al., 2012). Eine nahezu komplette Beschwerdefreiheit, Schmerzfreiheit und ein subjektives Gefühl der Stabilität sind für den Patienten anzustreben. Nach Bandrupturen geht das

subjektive Gefühl der Stabilität häufig verloren und Aufgabe des Trainings ist es, diese wiederherzustellen. Dabei dient Muskelhypertrophie als indirekte Stabilisierung der verletzten Kreuzbandstruktur (Lorenz et al., 2012; Sandau et al., 2017). Hajouj E. et al. (2021) untersuchten propriozeptives Training in einer randomisierten und registrierten Studie. Die Autoren gaben an, dass propriozeptives Training eine Reduktion an propriozeptiven Fehlern implizieren kann. Ein instabiler Untergrund rief eine kontinuierliche Aktivierung der Muskulatur hervor, welche zur Stabilisierung des Körpers aufgrund der fehlenden stabilen Ruheposition notwendig war. Eine instabile Umgebung stimulierte den propriozeptiven Weg und erhöhte das sensorische Feedback. Der Patient war herausgefordert die Balance zu halten, was wiederum die neuromuskuläre Koordination unterstützte und die Propriozeption effizienter gestaltete (Hajouj E. et al., 2021).

Im Hinblick auf das Belastungsgefüge werden Gleichgewichtsübungen auf instabilem Untergrund mit und ohne Zusatzaufgaben angewandt. Plyometrisches Training konnte zusätzlich die intramuskuläre Koordination und die Kraftentwicklung verbessern (Lorenz et al., 2012). Weiterhin aktiviert sich die im Kniegelenk stabilisierende Muskulatur unterschiedlich. Untrainierte Personen reagierten auf den Verletzungsreiz der tibialen Translation mit einer Anspannung der M. quadriceps. Sportler hingegen reagierten mit einer Aktivierung der M. ischiokruralen Muskulatur. Durch ein gezieltes Sprungkrafttraining konnte das Ungleichgewicht zwischen M. quadriceps und Mm. Ischiokruraler Muskulatur ausgeglichen werden (Petersen und Zantop, 2002).

### 3.4.2 Krafttraining

Die Steigerung der Maximalkraft stand in der Rehabilitation zeitweise als wesentliche Komponente im Fokus. Zur Quantifizierung der Kraftleistung wurden Muskelfunktionstest, Umfangsmessungen und ultraschallgestützte Messungen angewandt. Bei Untersuchungen wurde auf isometrische Messungen zurückgegriffen. Dabei übt der Proband in einem vorher festgelegten Winkelgrad Kraft auf einen unüberwindbaren Widerstand aus. Ein so belasteter Kraftsensor ermittelt die auf ihn wirkende Kraft, wobei das Knie nicht bewegt wird. Auf Grundlage der ermittelten Maximalkraft kann die Kraft-Ausdauer Leistungsfähigkeit errechnet werden. Vorteile sind der sofortige Einsatz nach der Operation und die Schonung der Gelenke. Postoperative muskuläre Arthrophie wird verhindert und es besteht ein Schutz vor dem Untergang nervaler Strukturen im Muskel (Kombrink, 2006; Mayer, 2012; Imhoff et al., 2018). Daher gehört wie

in Abbildung 2 zu erkennen ist, mittlerweile das isometrische Muskeltraining zum Standard der postoperativen Behandlungsansätze (Kombrink, 2006; Mayer 2012).

Sind die operierten Strukturen belastbarer und der Heilungsprozess fortgeschritten, kann das Gelenk auch unter Bewegung belastet werden. Während der letzten 15 Jahre hat der Einsatz isokinetischer Geräte in der Diagnostik, der Rehabilitation, der Forschung und den Sportwissenschaften an Bedeutung gewonnen. Die isokinetische Kraft wird als die dynamische Kraft bezeichnet, welche innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufes unter kontrollierter, vorgegebener Geschwindigkeit entfaltet werden kann. Das CYBEX-System wird dabei häufig als Trainingsgerät verwendet. Das Gerät passt den Widerstand an den Patienten an, während der Patient eine individuelle Kraftleistung erbringt. Schmerz, Ermüdung und Kraft werden als individuelle Gegebenheiten optimal berücksichtigt, wobei die Winkelgeschwindigkeit unvermindert beibehalten wird. Der Widerstand tritt erst dann ein, wenn die im Vorfeld vom Patienten festgelegte Geschwindigkeit erreicht wird. Auch ein konzentrisches und exzentrisches Training ist an solchen Geräten möglich, wobei unter dynamischen Bedingungen die individuelle Kraftleistung an jedem Punkt der Bewegung gemessen wird. Unter diesen Gesichtspunkten können an solchen Geräten auch isometrische Kraftmessungen durchgeführt werden.

Isokinetisches Training wird in zwei Hauptbestandteile unterteilt: Koordination und Kraft, wie in Abbildung 2 zu erkennen ist. Maximalkraft, Kraftausdauer und Schnellkraft gehen als weitere Unterkategorien damit einher (Kombrink, 2006). Die Maximalkraft ist statisch, dynamisch konzentrisch und dynamisch exzentrisch zu trainieren. Die Schnellkraft hingegen ist nur dynamisch konzentrisch zu trainieren. Kraftausdauer kommt statisch aber auch dynamisch konzentrisch vor (Harre, 1986; Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014).

Die verschiedenen Formen der Kraft führen beim Sport zu unterschiedlichen Muskel- und Kraftausbildungen (Ehlenz, 1987). Die aerobe und anaerobe Energiebereitstellung führt zu einer Adaption im Sinne der Kraftausdauer. Die Maximalkraft hingegen führt zu Auswirkungen auf den Muskelquerschnitt und die intramuskuläre Koordination. Wird über die Muskelkontraktionsgeschwindigkeit und intermuskuläre Koordination gesprochen, befindet man sich im Bereich der Schnellkraft.

Isokinetisches Training zählt zu einer der wichtigsten Nachbehandlungsmethoden. Die zentrale Bedeutung der isokinetischen Rehabilitation liegt im Kraft- und Muskelaufbau. Aus postoperativen mechanischen Beanspruchungen ergeben sich Adaptionen des Kapsel-Band-Apparates und es ergibt sich eine Steigerung der Gesamtstabilität des Gelenks. Eine funktionelle Rehabilitation stellt somit eine Prophylaxe für erneute Verletzungen dar (Kombrink, 2006).

Im isotonischen Krafttraining kommt es zu einer Festsetzung eines bestimmten Widerstandes. Der Patient trainiert mit einem vorgegebenen Gewicht in Form von Hanteln oder Sandsäcken. Die Muskelspannung ist während der gesamten Bewegung konstant. Die Geschwindigkeit mit der das Gewicht bewegt wird, ist unterschiedlich und von multiplen Faktoren beeinflusst. Der Grad der Ermüdung, die Motivation oder auch die Schmerzen des Patienten üben Einfluss aus. Bei dieser Trainingsform spielt ein wenig berücksichtigter Faktor die Rolle: Die Muskulatur weist in verschiedenen Gelenkstellungen unterschiedlich große Kräfte auf, da es zu einer Veränderung der Hebelverhältnisse über den Verlauf der Bewegungsamplitude kommt (Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014). Diese Art des Krafttrainings fördert die Muskelkraft und die Koordination durch eine Verbesserung der agonistischen Muskelfunktionen und eine Hemmung antagonistischer Muskeln. Das führt zu einer Ökonomisierung und einer Verminderung der Energieausgabe. Weiterhin kann isotonisches Training in zwei Untergruppen gegliedert werden. Die konzentrische Methode beschreibt die eigentliche Muskelkontraktion. Bei der exzentrischen Methode kommt es zu einer Dehnung des kontrahierten Muskels durch eine einwirkende Last. Bei dieser Spannungsentwicklung entsteht ein hohes Verletzungsrisiko. Daher ist zu bedenken, dass die exzentrische Methode erst im späteren Verlauf der Rehabilitation angewendet wird, um eine beanspruchungsfreie Durchführung ohne Schmerzen und Überlastung zu erreichen. Durch fachkundige Anleitung muss ausgeschlossen werden, dass es während der Durchführung weder zu Über- noch zur Unterforderung kommt, da hierbei keine optimale Adaption der Muskulatur stattfindet (Kombrink, 2006; Mayer et al., 2012; Imhoff et al., 2018). In einer registrierten doppel Blind RCT wurden die Auswirkungen von isotonischem Krafttraining untersucht. Es konnten klinische Effekte auf die Symptome und die Funktion beobachtet werden (Patterson et al., 2021).

	Isometrisch	Isotonisch (auxotonisch)	Isokinetisch
<b>Arbeitsform</b>	statisch	dynamisch	dynamisch
<b>Geschwindigkeit</b>	null	unbekannt	vorgegeben
<b>Widerstand</b>	starr	fixes Gewicht	Anpassung an Krafteinsatz
<b>Trainingsform</b>	isometrisch	konzentrisch/ exzentrisch	konz./konz. exz./exz. exz./konz. konz./exz.
<b>Indikations- Schwerpunkte</b>	direkt postoperativ Spannungserhöhung Atrophieprophylaxe  Zusätzlich könnte man hier die aktive Muskelpumpe nennen, die zu einem verbesserten Abtransport von Lymphe und Entzündungs- mediatoren führt und somit eine Allg. Abschwellung erreicht  Eigenständige Erweiterung	Kraftaufbau Koordinations- schulung Fitness	Diagnostik Rehabilitation Abbau von Muskeldysbalancen

Abbildung 2: Muskeltrainingsformen (modifiziert nach Kombrink, 2006)

### 3.4.3 Krankengymnastik

Sowohl das oben beschriebene Krafttraining als auch die sensomotorische Rehabilitation können im Rahmen der Krankengymnastik durchgeführt werden. Unter Krankengymnastik wird eine planmäßige körperliche Übung zur Erreichung bestimmter medizinischer Ziele verstanden (Günther, 1982; Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014). Hierbei steht eine Vergrößerung des möglichen Gelenkbewegungsumfangs durch Dehnung und Mobilisation im Fokus, um bestehende Defizite auszugleichen. Durch Innervationsschulung wird eine Verbesserung der Kraft und die Koordination von Bewegungen als ein weiteres Ziel der Krankengymnastik avisiert. Es geht um eine Wiederanpassung der Muskulatur und der Gelenke an die normalen Funktionen. Gute Mitarbeit und Motivation des Patienten sind neben guter Ausbildung des Krankengymnasten ein wesentliches Erfordernis für den Erfolg solcher Behandlungen (Kombrink, 2006).

Die Krankengymnastik steht in der zeitlichen Einordnung und auch von ihrer Wichtigkeit und Bedeutung in der Rehabilitation an erster Stelle. Durch sogenannte passive Übungen kann der Patient zeitnah ganz individuell therapiert werden. Bei solchen Übungen ist entweder die Hand

des Krankengymnasten oder ein Gerät die Kraftquelle. Leichte anfängliche Widerstandsübungen und Dehnungen sind für eine erste Kräftigung der Muskulatur gut geeignet (Kombrink, 2006; Lorenz et al., 2012). In diesem Bereich der Therapie gibt es verschiedene Schulen und Methoden, nach deren Inhalt behandelt wird. Solche Systeme sind notwendig, um die Therapeuten einheitlich rational auszubilden und die Übungen reproduzierbar zu machen. Weiterhin wird der Krankengymnast angehalten darauf zu achten, dass die Patienten während der Übungen schmerzfrei bleiben. Es ist zu beobachten, dass ein Jahr nach der Bandruptur die mechanischen und histologischen Eigenschaften der Bänder in untersuchten Gruppen teilweise noch nicht wieder voll ausgebildet waren. Daher ist ein ligamentbelastendes Training gerade zu Beginn zu vermeiden, um Rupturen zu vermeiden (Kombrink, 2006; Lorenz et al., 2012; Schaf-frath, 2021). Die Patienten in der Studie von Mayer und Kollegen (2012) begannen etwa in der sechsten postoperativen Woche mit isometrischen Übungen, in denen sie sechs Sekunden Spannung aufbauten, hielten und wieder abbauten. Solche isometrischen Übungen bewirkten schnelle und deutliche Kraftzunahme (Kombrink, 2006, Mayer et al., 2012). Durch die Krankengymnastik wird ein weiterer Faktor beeinflusst, welche als PNF (propriozeptive neuromuskuläre Fazilitation) in den USA entwickelt wurde (Steudel, 1987). Durch maximale Widerstände werden propriozeptive Impulse ausgelöst, welche die Spannung im Muskel erhöhen. Durch eine sogenannte Irradiation werden benachbarte Muskeln mit einbezogen und diese versuchen die verletzten Mechanorezeptoren des Kreuzbandes wieder zu aktivieren (Schmidt, 1990, Zalpour, 2012). Ein solches Konzept der Krankengymnastik ist die richtige Voraussetzung dafür, dass die Patienten langfristig an Isokinetischen Übungsgeräten trainieren und die Rehabilitation effektiver gestaltet werden kann (Kombrink, 2006; Lorenz et al., 2012; Schaf-frath, 2021).

### 3.4.4 Alternative Behandlungsmethoden

Neben den oben beschriebenen standard Verfahren zur Rehabilitation werden vermehrt alternative Behandlungsmethoden eingesetzt. Meist fanden diese Methoden ihren Ursprung im Leistungssport und ökonomisieren den rehabilitativen Zeitplan in der standardisierten Rehabilitation zusehends. Patienten welche im Wasser Fahrrad fahren, konnten zum Beispiel nach nur sechs Wochen das Bein wieder komplett strecken und weiterhin nach nur sieben Wochen wieder ganz beugen. Dieser Ansatz der Kombination von Training auf dem Standfahrrad und Aqua-jogging hat ergeben, dass die Führung der Pedale dem Patienten eine volle Streckung offenbar erleichtert. Die Patienten nehmen keine akuten Schmerzen wahr, da zusätzlich ein Kühlungseffekt, der hydrostatische Auftrieb und das damit verbundene Gefühl der Schwerelosigkeit die

positiven Multiplikatoren für das positive Ergebnis sind (Kombrink, 2006; Mayer et al., 2012). Immobilisation nach operativer Rekonstruktion führt in der Standardtherapie zu größeren Widerständen, da Einsteifungen im gelenkumgebenden Weichteilbewebe eine mögliche Ursache für spätere Bewegungseinschränkung sein können. Das Beseitigen vom Kniegelenkerguss war im Verlauf der Therapie gelungen, wobei in der Vergleichsgruppe zum selbigen Zeitpunkt weiterhin eine deutliche Differenz zur kontralateralen Knieseite bestand (Aerzte Zeitung, 2001). Andere Beispiele für alternative Behandlungsmethoden sind Elektromyostimulation (EMS) und Vibrationstraining.

Der Trainingshintergrund bei der Elektromyostimulation ist eine gezielte neuromuskuläre Stimulation an der Muskulatur zu erwirken. Die Intensität kann reguliert und gesteuert werden. Kim G. et al. (2020) untersuchten EMS Training in einer randomisierten Studie als Möglichkeit zur Rehabilitation nach VKB Ersatz. Dabei wurde EMS Training im Rahmen einer sechs wöchigen Rehabilitation für zu Hause (n=20) mit einer standardisierten Rehabilitation in der Kontrollgruppe (n=20) verglichen. Übergeordnet sollte die Kräftigung der Mm. Quadrizeps Muskulatur und die Auswirkungen auf die Kniefunktion untersucht werden (Kim et al., 2020).

Beim Vibrationstraining werden durch eine Vibrationsplatte propriozeptive Impulse genutzt, um die Patienten neural anzuregen. Der Einfluss von oszillierenden Stimuli konnten im Sinne eines Vibrationstrainings mittels Galileo Geräts angewendet werden. In der Literatur wurden zu diesem Therapieansatz unterschiedliche Ergebnisse angeführt (Arumugam et al., 2021).

Insgesamt sind die Vorteile alternativer Behandlungsmethoden im Hinblick auf die Ergebnisse für den Patienten nach einem Ersatz des vorderen Kreuzbandes, in Vergleich zu den Standard Verfahren zur Rehabilitation, weitestgehend unbekannt.

### 3.4.5 Ausblick Heilmittelkatalog

Der Heilmittelkatalog von Intellimed (Brockstedt et al., 2020) gibt bei Erkrankungen der Extremitäten unter bestimmten Leitsymptomatiken folgende Heilmittel vor:

Es kann Krankengymnastik (KG) verordnet werden. Dabei kann diese auch als Übungsbehandlung in einer Gruppe stattfinden (KG Gruppe). Weiterhin wird die Möglichkeit der Krankengymnastik am Gerät ermöglicht (KG-Gerät). Auch die Übungsbehandlung im Bewegungsbad

kann durchgeführt werden (KG im Bewegungsbad). Dabei ist die Übungsbehandlung im Bewegungsbad auch in einer Gruppe möglich (KG im Bewegungsbad Gruppe). Ergänzend werden im Heilmittelkatalog KMT (klassische Massage), UWM (Unterwasserdruckstrahlmassage), MT (manuelle Therapie), SM (Segmentmassage), Chirogymnastik, PM (Periostmassage) und BGM (Bindegewebsmassage) als mögliche Maßnahmen aufgeführt. Als weitere ergänzende Heilmittel werden Wärmetherapie, Kältetherapie, Elektrotherapie und Hydroelektrische Bäder angeboten.

Die Höchstmenge je Verordnung ist bis zu sechs Mal. Darüber hinaus liegt die orientierende Behandlungsmenge bei bis zu 18 Einheiten. Davon sind bis zu 12 Einheiten standardisierte Heilmittelkombination und bis zu 12 Einheiten Massagetherapien. Weiterhin werden bis zu 50 Einheiten längstens bis zur Vollendung des 18. Lebensjahres abrechenfähig. Die Frequenzempfehlung ist 1-3 Mal wöchentlich.

Im Fall dieser Arbeit besitzt die operierte VKB Ruptur mit chronischer Instabilität eine Sondergenehmigung. M23.5 mit Z98.8 fällt unter den besonderen Verordnungsbedarf und es darf mehr Physiotherapie verordnet werden. Im Heilmittelkatalog werden die Meniskusschäden und VKB Ruptur zusammengefasst und dies zeigt auf, dass im Folgenden dieser Arbeit die VKB Ruptur eng mit der Meniskusruptur betrachtet werden muss. Die bisher dargestellte Literatur zeigt eindeutig, dass die Therapiebestandteile wie Krafttraining, Koordinationstraining und Propriozeptionstraining weitreichend untersucht sind. Die zuletzt beleuchteten jungen Therapiemethoden wie EMS und Vibrationstraining erscheinen in der Literatur wenig untersucht. Diese Arbeit soll Aufschluss darüber geben, ob es eine zu schließende Forschungslücke gibt. Die im folgenden untersuchten Studien sollen aufzeigen, welche Möglichkeiten in der Therapie heute bestehen und ob es einen „Gold Standard“ gibt an dem sich jeder Therapierende orientieren sollte.

### 3.5 Messinstrumente funktioneller Unterschiede

#### 3.5.1 Scalen Schmerzgeschehen

Das Schmerzgeschehen ist subjektiv und wird daher über verschiedene Scalen gemessen.

Abbildung 3 zeigt den Lysholm Score. Dieser wird beispielhaft angeführt, da dieser in den späteren Studien als Erhebungsinstrument der Schmerzwahrnehmung genutzt wird.

**Lysholm Score**

Datum: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Der folgende Fragebogen dient der Erfassung von Beschwerden und Problemen, die durch Ihr Kniegelenk verursacht werden. Bitte kreuzen Sie nur ein Kästchen pro Frage an.

**Abschnitt 1: Hinken**

- 5 nein
- 3 wenig oder zeitweise
- 3 stark oder immer

**Abschnitt 2: Belastung**

- 5 Vollbelastung
- 3 Gehstützen oder Stock
- 0 Belastung nicht möglich

**Abschnitt 3: Blockierung**

- 15 keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung
- 10 Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung
- 6 gelegentliche Blockierung
- 2 häufige Blockierung
- 0 blockiertes Gelenk bei Untersuchung

**Abschnitt 4: Instabilität**

- 25 Niemals 'Giving way' Phänomen
- 20 'Giving way' selten während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung
- 15 'Giving way' häufig während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung (oder unmöglich, daran teilzunehmen)
- 10 'Giving way' gelegentlich während Tätigkeiten des Alltags
- 5 'Giving way' oft während Tätigkeiten des Alltags
- 0 'Giving way' bei jedem Schritt

**Abschnitt 5: Schmerzen**

- 25 keine
- 20 unregelmässig und gering während schwerer Anstrengung
- 15 deutlich/ ausgeprägt während schwerer Anstrengung
- 10 deutlich während oder nach dem Gehen von mehr als 2km
- 5 deutlich während oder nach dem gehen von weniger als 2km
- 0 ständig

**Abschnitt 6: Schwellung**

- 10 keine
- 6 bei schwerer Anstrengung
- 2 bei gewöhnlicher Anstrengung
- 0 ständig

1/2

**Abschnitt 7: Treppensteigen**

- 10 kein Problem
- 6 ein wenig beeinträchtigt
- 2 Schritt für Schritt
- 0 nicht möglich

**Abschnitt 8: Hocken**

- 5 kein Problem
- 4 wenig beeinträchtigt
- 2 nicht über 90°
- 0 nicht möglich

Abbildung 3: Lysholm Score (Luzerner Kantonsspital, 2018)

In der Studie von Arroyo-Morales und Kollegen aus dem Jahr 2019 wurde die Validität und

Evaluation des Lysholm Score in der spanischen Version untersucht. Es wurden 95 Probanden befragt, welche sich auf einer Warteliste zur vorderen Kreuzband Rekonstruktion befanden. Die Test-retest Reliabilität wurde mit intraclass correlation (ICC) = 0.92 (95% CI 0.88 - 0.94) und einem  $p < 0.001$  angegeben. Der Grad der internen Konsistenz lag bei einem Alpha = 0.77 (95% CI 0.69 - 0.83) (Arroyo-Morales et al., 2019).

Die Arbeit von Kümmel und Kollegen aus dem Jahr 2018 behandelt die Reliabilität des International Knee Documentation Committee (IKDC) Fragebogen. Es wurden 312 Probanden sechs Monate vor und nach der Operation des vorderen Kreuzbandes befragt. Cronbach's alpha wurde mit 0.87 angegeben. Die Test-retest Reliabilität lag bei ICC = 0.94 (95% CI 0.91 - 0.95). Es wurde zusätzlich eine Unterscheidung zwischen Cronbach's Alpha für das vordere Kreuzband ( $\alpha = 0.87$  und Meniskus ( $\alpha = 0.84$ ) vorgenommen (Kümmel et al., 2018).

Der KOOS Score wurde in der Studie von Kumar Jha und Kollegen im Jahr 2020 auf Reliabilität und Validität geprüft. Dazu wurden 214 Probanden mit Knie Operation sechs Wochen Post Op befragt. Die Test-retest Reliabilität wurde mit ICC = 0.94 für Schmerz und 0.93 für Symptome angegeben. Cronbach's Alpha wurde für Schmerzen mit 0.86 und für die Symptome mit 0.43 unterschieden (Jha et al., 2020).

Die Visuelle Analog Skala (VAS) wurde in der Studie von Alghadir und Kollegen auf Validität und Reliabilität getestet. Im Zuge dessen wurden 121 Probanden mit Osteoathritis im Knie eingebunden. Die Test-retest Reliabilität wurde mit ICC = 0.97 angegeben. Die Pearson Rangkorrelation ergab eine Validitäts Korrelation von  $r = 0.941$  für die Visuelle Analog Skala (Alghadir et al., 2018).

### 3.5.2 Messinstrumente Range of Motion

Der Funktionsstatus in Form der Beweglichkeit wird mit Goniometer, Dynamometer oder BIODEX Messung ermittelt:

Die Validität der Goniometer Messung wurde von Dietz und Kollegen im Jahr 2017 untersucht. Im Zuge dessen wurde die Range of Motion der unteren Extremitäten mit verschiedenen Goniometer Instrumenten gemessen. Die Test-retest Reliabilität wurde mit ICC = 0.94 (95% CI 0.91 - 0.96),  $p = 0.0003$  angegeben (Dietz et al., 2017).

Das Dynamometer wurde in der Arbeit von Sung und Kollegen auf Validität und Reliabilität geprüft. Es wurden bei 39 Probanden isometrische Knie Extensions Stärke Messungen durchgeführt. Durch eine intra-class Korrelation wurde ein Korrelationskoeffizient mit  $r = 0.927$  ( $p < 0.001$ ) gezeigt. Die Test-retest Reliabilität gaben die Autoren mit ICC = 0.85 (95% CI 0.61-0.93) an (Sung et al., 2019).

Die BIODEX Messung wurde in der Arbeit Van Driessche und Kollegen im Jahr 2018 auf Validität und Reliabilität geprüft. Im Zuge dessen wurden 63 Probanden getestet. Die intra-class Korrelation mit Standard Fehler der Messung (SEM) wurde für die Test-retest Reliabilität auf ICC 0.85 - 0.98 (SEM: 3% - 10%) angegeben. Die statistische Signifikanz lag bei  $p < 0.05$  (Van Driessche et al., 2018).

## 4 Material und Methode

### 4.1 Forschungsfrage und Hypothesen

#### Forschungsfrage

Besteht ein Unterschied zwischen den angewandten Rehabilitationstechniken bei einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion im Hinblick auf Schmerzfreiheit und Beweglichkeit?

#### Forschungshypothesen

Es gibt einen Unterschied zwischen den angewandten Rehabilitationstechniken und der Schmerzfreiheit nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion.

Es gibt einen Unterschied zwischen den angewandten Rehabilitationstechniken und der Beweglichkeit nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion.

#### Nullhypothesen

Es gibt keinen Unterschied zwischen den angewandten Rehabilitationstechniken und der Schmerzfreiheit nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion.

Es gibt keinen Unterschied zwischen den angewandten Rehabilitationstechniken und der Beweglichkeit nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion.

## 4.2 Systematische Literaturrecherche

Um die Forschungsfrage „Besteht ein Unterschied zwischen den angewandten Rehabilitationstechniken bei einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion im Hinblick auf die Schmerzfreiheit und Beweglichkeit?“ zu erarbeiten, wurde ein systematisches Review durchgeführt.

Im Rahmen dieses systematischen Reviews wurden Datenbanken nach relevanten Artikeln, Studien und Publikationen durchsucht. Dabei wurde die Recherche anhand des PRISMA Schemas dokumentiert (Moher D et. al, 2009; Purssell et al., 2020; Higgins et al., 2022).

### 4.2.1 Arten von Studien

In die Untersuchung wurden Studien eingeschlossen, welche im Volltext veröffentlicht wurden, randomisiert und kontrolliert sind (RCTs). Die klinischen Studien mussten frei zugänglich sein. Die Protokolle der Studien sollten im Vorfeld definieren, welche Arten der Plastik bei den untersuchten Patienten vorlagen. Die Studien sollten evaluiert sein und die Ergebnisse einen Evidenzgrad darstellen. Weiterhin wurde drauf geachtet, dass die Studien transparent und nachvollziehbar durchgeführt wurden. Es musste eine eindeutige Forschungsfrage in der jeweiligen Studie angegeben sein, welche den rehabilitativen Kontext aufzeigte. Als zeitliche Begrenzung wurden nur Artikel verwendet, welche nicht älter als zehn Jahre sind (Monk et al., 2016).

Dabei wurden keine Artikel in Zeitungen oder Magazinen sowie aktuell laufende Studien und nicht publizierte Dissertationen in der Literatursuche berücksichtigt. In diesem Punkt wurden nur Originalarbeiten verwendet.

### 4.2.2 Probandenstichprobe

Allgemein wurden in den Studien nur Menschen untersucht, wobei Frauen und Männer in die Untersuchung aufgenommen wurden. Um eine Aussagekraft für die Grundgesamtheit treffen zu können, wurden Patienten aller Altersgruppen eingeschlossen. Dabei wurden sportlich aktive und inaktive Probanden sowie Leistungssportler eingeschlossen. Der Trainingszustand sollte aufgeführt sein, es wurden aber sowohl trainierte als auch untrainierte Probanden eingeschlossen. Im Vorfeld sollte eine Diagnose der Volleruptur des VKB vorliegen. Die in den Studien untersuchten Probandenstichproben mussten bereits eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes erfahren haben. Im besten Fall sollte eine homogene Verteilung hinsichtlich der Einzel- und Doppelbündelplastik innerhalb der Population vorliegen führte jedoch nicht zum

Ausschluss der Studie. Von besonderer Bedeutung waren die Begleitverletzungen. Der Zustand der Menisken, sowie vorangegangene Bandrupturen oder andere Verletzungen der kontralateralen Seite führen zu Instabilitäten und sollten daher beschrieben sein, führte aber nicht zum Ausschluss der Studie. Ebenfalls musste die Art der verwendeten Plastik angegeben sein. Der Zustand der betroffenen Menisken sollte betrachtet sein. Die Alltagsbelastung des Transplantats wurde durch den Leistungszustand abgefragt. Da eigenes von der Studie unabhängiges Training die Ergebnisse verfälschen würde, wurde dies in den Protokollen der Studien ausgeschlossen.

### 4.2.3 Intervention

Die Intervention der gesuchten Studien sollte ausschließlich im rehabilitativen Kontext liegen, wobei verschiedene Arten des modernen rehabilitativen Trainings gewünscht waren. Im Nachhinein sollte differenziert beurteilt werden können, welche Arten der Rehabilitation den stärksten Effekt auf die Outcomes besitzen. Der Begriff des modernen rehabilitativen Trainings ist nicht sehr stringent. Daher wird als Intervention jedes Therapieverfahren in diese Untersuchung mit aufgenommen, welches nicht im üblichen Therapiekatalog zu finden ist (Mayer et al., 2011; Zalpour, 2014; Lorenz et al., 2012; Schaffrath, 2021). Da die Studien nicht älter als zehn Jahre sein durften, ist durch diesen Betrachtungszeitraum die Möglichkeit gegeben Verfahren zur Rehabilitation zu finden, welche in den letzten zehn Jahren in Rct's erforscht worden sind. Es wurde ausschließlich mit Bewegungsinterventionen gearbeitet, wobei ein eigenes Training möglich war, jedoch nicht außerhalb der Rahmenbedingungen der Intervention. Wurde die Einflussnahme auf die Ergebnisse des Therapeuten durch einen Verblindungsprozess unterbunden, musste dies für die spätere qualitative Beurteilung aufgeführt sein. Hinsichtlich der Trainingsintervention musste das Belastungsgefüge für die Interventionsgruppe angegeben sein. Untersuchungen die nach Unterschieden hinsichtlich der Art des Transplantats auswerten, wurden ausgeschlossen. Die Beigabe von oralen Medikationen musste angegeben sein. Weiterer Medikamentenkonsum wie Schmerzmittel oder das Injizieren von Hyaluronsäure führte aus Gründen der Verzerrung der Schmerzwahrnehmung zum Ausschluss der Studie. Der Ausschluss erfolgte auch bei Studien in denen Medikamentenkonsum als alleinige Behandlungsmethode angewandt wurde.

#### 4.2.4 Comparison

Als Vergleich wurden Kontrollgruppen herangezogen, welche eine andere Art der Rehabilitation oder keine konservative Therapie erfuhren. Die Studien mussten als Kontrollgruppe mit einer standardisierten Rehabilitation arbeiten. Im Bereich der vorderen Kreuzband Therapie ist nicht eine klar standardisierte Rehabilitation festgelegt. Die Belastungsgefüge mussten daher in jeder Studie klar definiert werden. Dabei orientierten sich die Therapiemaßnahmen und das Belastungsgefüge an verschiedenen Leitlinien und Studien nach Mayer et al. (2011), Zalpour (2014), Lorenz et al. (2012), Schaffrath (2021).

#### 4.2.5 Outcome

In der Praxis sind für den Patienten nach einem Ersatz des vorderen Kreuzbandes die Outcomes Schmerzfreiheit und Beweglichkeit am relevantesten. Aus diesem Grund wurden nur die Studien berücksichtigt, welche nach diesen Outcomes erhoben haben. Das Outcome für den Schmerzzustand (Pain) wurde operationalisiert indem mit etablierten Fragebögen, wie dem Lysholm Score, Visuelle Analog Skalen (VAS), dem KOOS Score und dem IKDC gearbeitet wurde. Durch eine derartige Befragung wird der Schmerz indirekt messbar, indem der Proband zum Zeitpunkt der Messung angibt wie der subjektive Schmerzzustand ist. Das Outcome für die Beweglichkeit (Range Of Motion; ROM) wird durch entsprechende Testung der Beweglichkeit gemessen. In diesem Zusammenhang wird mit einem Goniometer, einem BIODEX, Dynamometer oder auch passiver Beweglichkeitstestung gearbeitet. Die Erhebungsinstrumente stehen für die Studienausswahl im Mittelpunkt. Um die Ergebnisse vergleichen zu können wurden nur Studien eingeschlossen, welche mit evidenzbasierten und validierten Instrumenten erhoben. Es wurde sichergestellt, dass nur Studien berücksichtigt wurden, welche zur Baseline, zur zweiten und dritten Messung mit den gleichen Erhebungsinstrumenten arbeiteten.

#### 4.2.6 Datenbanken

Die Datenbanken Pubmed, Cochrane und ScienceDirect wurden im Zeitraum vom 01.08.2021 bis zum 01.09.2022 systematisch nach Publikationen zum Thema Therapie nach vorderer Kreuzbandplastik durchsucht. Bei diesen drei Datenbanken handelt es sich um im medizinischen Bereich etablierte Studienregister (Monk et al., 2016).

Im Folgenden werden die digitalen Datenbanken aufgelistet, welche von den drei Suchmaschinen durchsucht wurden.

- Cochrane Library (The Cochrane Library) [www.cochranelibrary.com](http://www.cochranelibrary.com)
- Cochrane Database of Systematic Reviews (CDSR) (2021, Issue 04),
- Cochrane Central Register of Controlled Trails (Central; 2021, Issue 04 ),
- Cochrane Clinical Answers (CCAs)
- MEDLINE via PubMed [www.pubmed.com](http://www.pubmed.com) (U. S. National Library of Medicine)
- ScienceDirect via [elsevier.com](http://elsevier.com)

#### 4.2.7 Suchmethode

Aus der Forschungsfrage dieser Arbeit wurden einzelne Untersuchungsbestandteile entsprechend der PICO-Formel abgeleitet (Schmucker et al., 2012; Purssell et al., 2020):

P (Patients) = Patienten mit VKB Rekonstruktion

I (Intervention) = Moderne Rehabilitationstechnik

C (Comparison) = Vergleich Kontrollgruppe mit Standard Rehabilitation

O (Outcome) = Pain und Rom

Entsprechend der PICO Formel wurde die Forschungsfrage in einzelne Bestandteile aufgeteilt, um jeweils Operanten zur Suche in den Datenbanken zu finden. Für die einzelnen Begriffe wurden Synonyme mit Mesh gesucht und in PubMed und Cochrane angewendet. Die Mesh Terms (Medical Subject Headings) sind polyhierarchische und konzeptbasierte Schlagwortregister um Synonyme für die verwendeten Begriffe zu finden (Higgins et al., 2021). Die Tabellen 1 bis 3 zeigen die verwendeten Operanten und Synonyme. Die kombinierte Suchabfrage in Sciencedirekt wurde mit den Operanten in den Tabellen 1 bis 3 durchgeführt, aber ohne Mesh, da hier keine Mesh Terms unterstützt wurden.

Tabelle 1: Operanten Population

Population	Operanten
Vordere Kreuzband Rekonstruktion	„anterior cruciate ligament reconstruction*“
	„acl reconstruction“
	„anterior cruciate ligament reconstruction“ (Mesh)

Tabelle 2: Operanten Intervention

Intervention	Operanten
Rehabilitation	“Rehabilitation*”
	“Physical and Rehabilitation Medicine” (Mesh)
	“Exercise Therapy*”
	“Exercise Therapy” (Mesh)
	“Physical Therapy*”
	“Physical Therapy Modalities” (Mesh)
	“Sport Therapy*”
	“Group Training*”
	“Resistance Training” (Mesh)
	Exercising*
	“Functional Training*”
	Functional*
	“Physical Intervention*”
	“Sport Intervention*”
	“Body Weight Training*”
	“Muscle Training*”
	“Physical Therapy Modalities” (Mesh)
	“Therapy*” (Mesh)
	“Return to Sport”
	Therapeutic*
	Stability*

	Mobility*
--	-----------

Tabelle 3: Operanten Outcome

Outcome	Operanten
Beweglichkeit	Movement*
	„Exercise Movement Technics*“ (Mesh)
	„Knee Movement*“
	„Knee Motion*“
	„Range of Motion*“ (Mesh)
	Motion*
Schmerzgeschehen	Pain*
	„Pain Management“ (Mesh)
	„Knee Pain*“
	„Patellofemoral Pain Syndrome“ (Mesh)

Um die relevanten RCTs des Themas zu generieren, wurde die Suche mit folgendem Filter für RCT versehen (Lefebvre et al., 2011):

(randomized controlled trial[pt] OR controlled clinical trial[pt] OR randomized[tiab] OR placebo[tiab] OR drug therapy[sh] OR randomly[tiab] OR trial[tiab] OR groups[tiab] NOT (animals [mh] NOT humans [mh]))

Die finalen Suchformeln für PubMed sind in den Abbildungen 4, 5 und 6 aufgeführt. Die endgültigen Suchformeln für Cochrane sind in Abbildung 7 zu finden. Für die Suche in Science Direct ist die kombinierte Suchabfrage in Tabelle 4 zu finden. Aus allen Suchen wurden die relevanten Artikel eingeschlossen und die Duplikate entfernt. Die Unterschiede in den Suchformeln in Pubmed sind die unterschiedlich verwendeten Filter zur Kontrolle.

# Material und Methode

Search num	Query	Sort By	Filters	Search Details	Results	Time
49	#5 AND #34 AND #46		Clinical Trial	("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Title/Abstract])	307	06:07:26
50	#5 AND #34 AND #46		Free full text	("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Title/Abstract])	88	06:07:10
48	#5 AND #34 AND #46		Clinical Trial	("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Title/Abstract])	622	06:06:57
47	#5 AND #34 AND #46			("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Title/Abstract])	3,909	06:06:25
46	#35 OR #36 OR #37 OR #38 OR #39 OR #40 OR #41 OR #42 OR #43 OR #44 OR #45 OR #46			"pain"[Title/Abstract] OR "Pain Management"[MeSH Terms] OR "Musculoskeletal Pain"[MeSH Terms]	1,911,436	06:03:22
45	"Range of Motion, Articular" Most Recent			"range of motion, articular"[MeSH Terms]	55,67	06:01:49
44	motion*[Title/Abstract]			"motion"[Title/Abstract]	221,862	06:01:24
43	"range-of-motion"[Title/Abstract]			"range-of-motion"[Title/Abstract]	37,77	06:01:16
42	"knee motion"[Title/Abstract]			"knee motion"[Title/Abstract]	1,277	06:00:58
41	"knee movement"[Title/Abstract]			"knee movement"[All Fields]	477	06:00:25
40	"Exercise Movement Techniques" Most Recent			"Exercise Movement Techniques"[MeSH Terms] OR "Movement"[MeSH Terms]	608,144	06:00:00
39	movement*[Title/Abstract]			"movement"[Title/Abstract]	339,915	05:58:54
38	"Patellofemoral Pain Syndrome" Most Recent			"Patellofemoral Pain Syndrome"[MeSH Terms]	1,021	05:58:32
37	"knee pain"[Title/Abstract]			"knee pain"[All Fields]	8,483	05:58:05
36	"Pain Management"[MeSH] Most Recent			"Pain Management"[MeSH Terms] OR "Musculoskeletal Pain"[MeSH Terms] OR "pain, postoperative"[Title/Abstract]	459,939	05:57:46
35	pain*[Title/Abstract]			"pain"[Title/Abstract]	756,566	05:56:08
34	#6 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14 OR #15 OR #16 OR #17 OR #18 OR #19			"rehabilitation"[Title/Abstract] OR "Exercise Therapy"[Title/Abstract] OR "Exercise Therapy, Continuous Passive Motion"[Title/Abstract]	12,564,656	05:54:32
33	stability*[Title/Abstract]			"stability"[Title/Abstract]	474,872	05:47:03
32	therapeutic*[Title/Abstract]			"therapeutic"[Title/Abstract]	1,252,021	05:46:41
31	mobility*[Title/Abstract]			"mobility"[Title/Abstract]	154,544	05:46:00
30	return-to-sport*[Title/Abstract]			"return-to-sport"[Title/Abstract]	2,33	05:45:36
29	"therapy" [Subheading] O Most Recent			"therapy"[MeSH Subheading] OR "Bioresonance Therapy"[MeSH Terms] OR "Physical Therapy, Occupational"[MeSH Terms]	9,382,758	05:44:48
28	therapy*[Title/Abstract]			"therapy"[Title/Abstract]	2,073,598	05:39:58
27	physiotherapy*[Title/Abstract]			"physiotherapy"[Title/Abstract]	21,942	05:39:31
26	"muscle Training"[Title/Abstract]			"muscle Training"[Title/Abstract]	2,843	05:38:45
25	"body weight"[Title/Abstract]			"body weight"[Title/Abstract]	220,241	05:38:21
24	"body weight Training"[Title/Abstract]			"body weight Training"[Title/Abstract]	23	05:38:06
23	"sport intervention"[Title/Abstract]			"sport intervention"[Title/Abstract]	44	05:37:30
22	"physical intervention"[Title/Abstract]			"physical intervention"[Title/Abstract]	596	05:36:56
21	functional*[Title/Abstract]			"functional"[Title/Abstract]	1,573,780	05:36:26
20	exercising*[Title/Abstract]			"exercising"[Title/Abstract]	11,449	05:35:41
19	"Resistance Training"[MeSH] Most Recent			"Resistance Training"[MeSH Terms] OR "Physical Education and Training"[MeSH Terms] OR "Physical Education and Training, Occupational"[MeSH Terms]	233,556	05:35:10
18	training*[Title/Abstract]			"training"[Title/Abstract]	462,155	05:33:53
17	"group training"[Title/Abstract]			"group training"[Title/Abstract]	1,042	05:33:05
16	"sport therapy"[Title/Abstract]			"sport therapy"[Title/Abstract]	33	05:32:45
15	functional training*[Title/Abstract]			"functional training"[Title/Abstract]	586	05:31:26
14	"Rehabilitation"[MeSH] O Most Recent			"Rehabilitation"[MeSH Terms] OR "Rehabilitation"[MeSH Subheading] OR "Physical and Rehabilitation Medicine"[MeSH Terms]	771,093	05:30:38
13	"Physical Therapy Modalities" Most Recent			"Physical Therapy Modalities"[MeSH Terms] OR "Physical Therapy Specialty"[MeSH Terms] OR "Physical Therapy, Occupational"[MeSH Terms]	166,472	05:29:35
12	"Physical Therapy Modalities" Most Recent			"Physical Therapy Modalities"[MeSH Terms]	163,81	05:28:20
11	"Physical Therapy Modalities" Most Recent			"Physical Therapy Modalities"[MeSH Terms] AND "Physical Therapy Specialty"[MeSH Terms]	497	05:27:47
10	"physical therapy"[Title/Abstract]			"physical therapy"[Title/Abstract]	23,11	05:25:55
9	"Exercise Therapy"[MeSH] Most Recent			"Exercise Therapy"[MeSH Terms]	56,153	05:23:17
8	"exercise therapy"[Title/Abstract]			"exercise therapy"[Title/Abstract]	5,259	05:22:48
6	Rehabilitation*[Title/Abstract]			"rehabilitation"[Title/Abstract]	183,565	05:17:35
5	#2 OR #3 OR #4			"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Title/Abstract]	12,476	05:16:13
4	"acl reconstruction"[Title/Abstract]			"acl reconstruction"[Title/Abstract]	8,033	05:07:32
3	"Anterior Cruciate Ligament reconstruction"[Title/Abstract]			"anterior cruciate ligament reconstruction"[Title/Abstract]	7,634	05:06:49
2	"Anterior Cruciate Ligament reconstruction"[MeSH]			"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms]	6,023	05:05:44

Abbildung 4: Pubmed Searchhistory 31.08.2021

Search num	Query	Sort By	Filters	Search Details	Results	Time
50	#6 AND #35 AND #47			Clinical Trial, ("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "acl reconstruction"[Title/Abstract])	305	05:49:50
49	#6 AND #35 AND #47			Clinical Trial, ("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "acl reconstruction"[Title/Abstract])	620	05:49:45
48	#6 AND #35 AND #47			("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "acl reconstruction"[Title/Abstract])	4,005	05:49:37
47	#36 OR #37 OR #38 OR #39 OR #40 OR #41 OR #42 OR #43 OR #44 OR #45 OR #46			"pain"[Title/Abstract] OR "Pain Management"[MeSH Terms] OR "knee pain"[Title/Abstract]	1,820,047	05:48:10
46	"Range of Motion, Articular"[Mesh]		Most Recent	"range of motion, articular"[MeSH Terms]	55,717	05:47:07
45	motion*[Title/Abstract]			"motion"[Title/Abstract]	221,963	05:46:37
44	"range-of-motion"[Title/Abstract]			"range of motion"[Title/Abstract]	37,976	05:46:26
43	"knee motion"[Title/Abstract]			"knee motion"[Title/Abstract]	1,277	05:46:06
42	"knee movement"[Title/Abstract]			"knee movement"[Title/Abstract]	477	05:45:51
41	"Exercise Movement Techniques"[Mesh] OR "Motion Therapy, Continuous Passive Motion" Most Recent			"Exercise Movement Techniques"[MeSH Terms] OR "motion therapy, continuous passive motion"[MeSH Terms]	611,379	05:45:29
40	movement*			"movement"[All Fields]	586,101	05:44:04
39	"Patellofemoral Pain Syndrome"[Mesh]		Most Recent	"Patellofemoral Pain Syndrome"[MeSH Terms]	1,022	05:43:40
38	"knee pain"[Title/Abstract]			"knee pain"[Title/Abstract]	8,489	05:43:16
37	"Pain Management"[Mesh]		Most Recent	"Pain Management"[MeSH Terms]	37,504	05:42:55
36	pain*[Title/Abstract]			"pain"[Title/Abstract]	756,965	05:42:22
35	#7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14 OR #15 OR #16 OR #17 OR #18 OR #19			"rehabilitation"[Title/Abstract] OR "Physical and Rehabilitation Medicine"[MeSH Terms] OR "Rehabilitation"[MeSH Terms]	12,529,043	05:41:46
34	stability*			"stability"[All Fields]	526,609	05:38:40
33	"Therapeutics"[Mesh] OR "Psychotherapeutic Processes"[Mesh]		Most Recent	"Therapeutics"[MeSH Terms] OR "Psychotherapeutic Processes"[MeSH Terms]	4,829,340	05:38:23
32	therapeutic*[Title/Abstract]			"therapeutic"[Title/Abstract]	1,252,770	05:37:24
31	mobility*[Title/Abstract]			"mobility"[Title/Abstract]	154,627	05:37:12
30	"return-to-sport"[Title/Abstract]			"return to sport"[Title/Abstract]	3,574	05:36:54
29	"return to sport"[Title/Abstract]			"return to sport"[Title/Abstract]	3,574	05:36:23
28	"therapy" [Subheading] OR "Physical Therapy Specialty"[Mesh] OR "Physical Therapy, Occupational" Most Recent			"therapy"[MeSH Subheading] OR "Physical Therapy Specialty"[MeSH Terms] OR "Physical Therapy, Occupational"[MeSH Terms]	9,388,312	05:35:56
27	therapy*[Title/Abstract]			"therapy"[Title/Abstract]	2,074,519	05:33:11
26	"Physical Therapy Modalities"[Mesh] OR "Physical Therapy Specialties" Most Recent			"Physical Therapy Modalities"[MeSH Terms] OR "Physical Therapy Specialty"[MeSH Terms]	166,351	05:32:46
25	physiotherapy*[Title/Abstract]			"physiotherapy"[Title/Abstract]	21,954	05:32:23
24	"muscle training"[Title/Abstract]			"muscle training"[Title/Abstract]	2,845	05:31:52
23	"body weight"[Title/Abstract]			"body weight"[Title/Abstract]	227	05:31:30
22	"body weight training"[Title/Abstract]			"body weight training"[Title/Abstract]	23	05:31:15
21	"sport intervention"[Title/Abstract]			"sport intervention"[Title/Abstract]	44	05:30:29
20	"physical intervention"[Title/Abstract]			"physical intervention"[Title/Abstract]	597	05:30:10
19	functional*[Title/Abstract]			"functional"[Title/Abstract]	1,574,723	05:29:49
18	exercising*[Title/Abstract]			"exercising"[Title/Abstract]	11,455	05:28:30
17	"Resistance Training"[MeSH] OR "Physical Education and Training" Most Recent			"Resistance Training"[MeSH Terms] OR "Physical Education and Training"[MeSH Terms] OR "Physical Education and Training, Occupational"[MeSH Terms]	28,4	05:27:57
16	training*[Title/Abstract]			"training"[Title/Abstract]	462,519	05:27:13
15	"group training"[Title/Abstract]			"group training"[Title/Abstract]	1,06	05:26:55
14	"sport therapy"[Title/Abstract]			"sport therapy"[Title/Abstract]	33	05:26:35
13	"Physical Therapy Modalities"[Mesh] OR "Physical Therapy Department" Most Recent			"Physical Therapy Modalities"[MeSH Terms] OR "physical therapy department, hospital"[MeSH Terms]	164,156	05:24:53
11	"physical therapy"[Title/Abstract]			"physical therapy"[Title/Abstract]	23,124	05:24:06
10	"Exercise Therapy"[Mesh]		Most Recent	"Exercise Therapy"[MeSH Terms]	56,201	05:23:34
9	"exercise therapy"[Title/Abstract]			"exercise therapy"[Title/Abstract]	5,265	05:22:56
8	"Physical and Rehabilitation Medicine"[Mesh] OR "Orthopedic Procedures" Most Recent			"Physical and Rehabilitation Medicine"[MeSH Terms] OR "Orthopedic Procedures"[MeSH Terms]	640,976	05:22:21
7	rehabilitation*[Title/Abstract]			"rehabilitation"[Title/Abstract]	183,698	05:21:05
6	#3 OR #4 OR #5			"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms] OR "acl reconstruction"[Title/Abstract]	12,671	05:20:17
5	"Anterior cruciate ligament reconstruction"[Title/Abstract]			"anterior cruciate ligament reconstruction"[Title/Abstract]	7,827	05:19:22
4	"acl reconstruction"[Title/Abstract]			"acl reconstruction"[Title/Abstract]	8,233	05:16:59
3	"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh]		Most Recent	"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH Terms]	6,038	05:14:59

Abbildung 5: Pubmed Searchhistory 04.09.2021

## Material und Methode

Search numl	Query	Sort By	Filters	Search Details	Results	Time
48	#43 AND #44		Free full text, in the last 10 years	("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH	222	07:33:27
47	#43 AND #44		in the last 10 years	("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH	622	07:33:21
46	#43 AND #44			("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH	1,045	07:33:11
43	#4 AND #31 AND #42			("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH	2,454	07:31:54
45	(randomized controlled trial[pt] OR controlled clinical trial[pt] OR			((("randomized controlled trial"[Publication Type] OR	2	07:28:58
44	(randomized controlled trial[pt] OR controlled clinical trial[pt] OR			("randomized controlled trial"[Publication Type] OR	4,527,811	07:28:11
42	#32 OR #33 OR #34 OR #35 OR #36 OR #37 OR #38 OR #39 OR #40			"pain"[Title/Abstract] OR "Pain Management"[MeSH	1,144,497	07:24:00
41	"Range of Motion Most Recent			"range of motion, articular"[MeSH Terms]	55,906	07:22:59
40	motion*[Title/Abstract]			"motion*[Title/Abstract]	222,765	07:22:40
39	"range of motion*[Title/Abstract]			"range of motion*[Title/Abstract]	38,186	07:22:30
38	"knee motion*[Title/Abstract]			"knee motion*[Title/Abstract]	1,282	07:22:10
37	"knee movement*[Title/Abstract]			"knee movement*[Title/Abstract]	480	07:21:58
36	"Exercise Movement Most Recent			"Exercise Movement Techniques"[MeSH Terms]	9,147	07:21:00
35	"Patellofemoral Most Recent			"Patellofemoral Pain Syndrome"[MeSH Terms]	1,026	07:20:28
34	"knee pain*[Title/Abstract]			"knee pain*[Title/Abstract]	8,531	07:20:02
33	"Pain Management Most Recent			"Pain Management"[MeSH Terms] OR "Chronic Pain	433,536	07:19:41
32	pain*[Title/Abstract]			"pain*[Title/Abstract]	759,925	07:18:36
31	#5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14			"rehabilitation*[Title/Abstract] OR "Physical and Re	8,743,979	07:16:53
30	stability*[Title/Abstract]			"stability*[Title/Abstract]	477,574	07:14:29
29	"Therapeutic Most Recent			"Therapeutics"[MeSH Terms]	4,832,722	07:14:01
28	therapeutic*[Title/Abstract]			"therapeutic*[Title/Abstract]	1,258,493	07:12:45
27	mobility*[Title/Abstract]			"mobility*[Title/Abstract]	155,294	07:12:25
26	"return-to-sport*[Title/Abstract]			"return to sport*[Title/Abstract]	3,612	07:12:05
25	"return to sport*[Title/Abstract]			"return to sport*[Title/Abstract]	3,612	07:11:40
24	therapy*[Title/Abstract]			"therapy*[Title/Abstract]	2,081,524	07:11:15
23	"Physical Therapy Most Recent			"Physical Therapy Modalities"[MeSH Terms] OR "Phy	164,515	07:10:42
22	physiotherapy*[Title/Abstract]			"physiotherapy*[Title/Abstract]	22,059	07:09:55
21	"muscle training*[Title/Abstract]			"muscle training*[Title/Abstract]	2,866	07:09:39
20	"body weight*[Title/Abstract]			"body weight*[Title/Abstract]	227,604	07:09:18
19	"body weight training*[Title/Abstract]			"body weight training*[Title/Abstract]	24	07:09:01
18	"sport intervention*[Title/Abstract]			"sport intervention*[Title/Abstract]	44	07:08:38
17	"physical intervention*[Title/Abstract]			"physical intervention*[Title/Abstract]	600	07:08:09
16	functional*[Title/Abstract]			"functional*[Title/Abstract]	1,581,079	07:07:53
15	"functional training*[Title/Abstract]			"functional training*[Title/Abstract]	591	07:07:39
14	exercising*[Title/Abstract]			"exercising*[Title/Abstract]	11,498	07:07:17
13	"Resistance Training Most Recent			"Resistance Training"[MeSH Terms]	10,292	07:06:51
12	"group training*[Title/Abstract]			"group training*[Title/Abstract]	1,063	07:06:25
11	"sport therapy*[Title/Abstract]			"sport therapy*[Title/Abstract]	33	07:05:48
10	"Physical Therapy Most Recent			"Physical Therapy Modalities"[MeSH Terms] OR "ph	164,739	07:05:22
9	"physical therapy*[Title/Abstract]			"physical therapy*[Title/Abstract]	23,235	07:04:34
8	"Exercise Therapy Most Recent			"Exercise Therapy"[MeSH Terms]	56,452	07:03:50
7	"exercise therapy*[Title/Abstract]			"exercise therapy*[Title/Abstract]	5,297	07:03:26
6	"Physical and Rehabilitation Most Recent			"Physical and Rehabilitation Medicine"[MeSH Terms	328,52	07:02:57
5	rehabilitation*[Title/Abstract]			"rehabilitation*[Title/Abstract]	184,502	07:01:58
4	#1 OR #2 OR #3			"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH	12,55	07:01:36
3	"anterior cruciate ligament reconstruction"[Title/Abstract]			"anterior cruciate ligament reconstruction"[Title/Ab	7,682	07:01:06
2	"acl reconstruction"[Title/Abstract]			"acl reconstruction"[Title/Abstract]	8,083	07:00:32
1	"Anterior Cruciate Ligament Most Recent			"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[MeSH	6,07	07:00:06

Abbildung 6: Pubmed Searchhistory 23.09.2021

## Material und Methode

ID	Search	Hits
	Search Name: 01.09.2021	
	Date Run: 01/09/2021 19:18:07	
	Comment:	
#1	"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"	1798
#2	MeSH descriptor: [Anterior Cruciate Ligament Reconstruction] explode all trees	455
#3	"ACL Reconstruction"	1354
#4	#1 OR #2 OR #3	2184
#5	Rehabilitation*	67682
#6	MeSH descriptor: [Rehabilitation] explode all trees	38197
#7	exercise therapy*	13430
#8	MeSH descriptor: [Exercise Therapy] explode all trees	15023
#9	physical therapy*	16268
#10	MeSH descriptor: [Physical Therapy Modalities] explode all trees	27586
#11	functional training*	571
#12	sport therapy*	44
#13	group Training*	1224
#14	Training*	103834
#15	resistance Training**	14227
#16	MeSH descriptor: [Resistance Training] explode all trees	3805
#17	exercising*	2675
#18	MeSH descriptor: [Exercise] explode all trees	26441
#19	functional*	90613
#20	physical intervention*	165
#21	"sport intervention**"	25
#22	body weight training*	15
#23	body weight	52722
#24	MeSH descriptor: [Body Weight] explode all trees	29594
#25	muscle training*	4983
#26	physiotherapy*	17939
#27	THERAPY*	740394
#28	MeSH descriptor: [Therapeutics] explode all trees	316278
#29	return-to-sport	236
#30	mobility*	13553
#31	therapeutic*	321658
#32	stability*	16987
#33	#5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14 OR #15 OR	1034353
#34	pain*	206523
#35	MeSH descriptor: [Pain] explode all trees	52230
#36	pain management*	12532
#37	MeSH descriptor: [Pain Management] explode all trees	4072
#38	knee pain*	4933
#39	"patellofemoral pain syndrom**"	17
#40	movement*	39746
#41	MeSH descriptor: [Movement] explode all trees	33942
#42	exercise movement techniques	381
#43	MeSH descriptor: [Exercise Movement Techniques] explode all trees	2307
#44	MeSH descriptor: [Exercise Movement Techniques] explode all trees	2307
#45	knee movement*	129
#46	knee motion*	206
#47	range-of-motion*	14004
#48	MeSH descriptor: [Range of Motion Articular] explode all trees	5062
#49	MeSH descriptor: [Range of Motion Articular] explode all trees	5062
#50	#34 OR #35 OR #36 OR #37 OR #38 OR #39 OR #40 OR #41 OR #42 OR #43 OR #44	271631
#51	#4 AND #33 AND #50	855

Abbildung 7: Cochrane Searchhistory 01.09.2021

Tabelle 4: Suchstrategie Science Direkt September 2021

Suchbegriffe	Filter	Anzahl der Treffer
"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND Rehabilitation AND PAIN	Research Articles, 10 years, Free Full Text	11

## Material und Methode

"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND exercising AND "RANGE OF MOTION"	Research Articles, 10 years	3
"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND exercising AND PAIN	Research Articles, 10 years	10
"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND Therapy AND PAIN	Research Articles, 10 years	11
"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND Rehabilitation AND "RANGE OF MOTION"	Research Articles, 10 years	25
"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND Therapy AND "Range of Motion"	Research Articles, 10 years	7
"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND "physical therapy" AND "Range of motion"	Research Articles, 10 years	6
"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND "physical therapy" AND pain	Research Articles, 10 years	6
"Anterior cruciate ligament reconstruction" AND "physical therapy" AND pain	Research Articles, 10 years	6
“ACL Reconstruction” AND functional AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	321
„ACL Reconstruction” AND “physical intervention” AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	150
“ACL Reconstruction” AND intervention AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	208

## Material und Methode

“ACL Reconstruction” AND exercising AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	164
ACL Reconstruction AND body weight (Pain AND Movement)	Research Article, 10 years	94
„ACL Reconstruction“ AND physiotherapy AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	93
“ACL Reconstruction” AND Sport AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	356
„ACL Reconstruction“ AND therapy AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	185
“ACL Reconstruction” AND “return to sport” AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	176
“ACL Reconstruction” AND “resistance Training” AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	18
“ACL Reconstruction” AND therapeutic AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	74
“ACL Reconstruction” AND “weight training” AND Pain AND Movement	Research Article, 10 years	5
“ACL Reconstruction” AND “Physical Therapy” AND PAIN AND MOVEMENT	Research Article, 10 years	134
“ACL Reconstruction” AND resistance AND PAIN AND MOVEMENT	Research Article, 10 years	79

### 4.3 Datenanalyse

Damit die umfangreiche Datenlage überblickt werden konnte wurde unter zu Hilfenahme von Excel ein Tabellendokument erstellt. Diese Tabelle wurde genutzt um jede eingeschlossene Studie nach einheitlichen Parametern auszuwerten und zu beschreiben. Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien aufgeführt. Zugleich wurde damit eine Vergleichbarkeit der Studien geschaffen, da Forschungslücken in den Studien oder das Fehlen von Informationen in der Tabelle sofort erkennbar wurden. Folgende Daten wurden ausgewertet:

- Autor, Jahr, Studien ID
- untersuchtes Thema/ Rehabilitations Verfahren
- Lag eine Registrierungsnummer der Studie vor?
- Wurde im Vorfeld eine Samplesize Berechnung durchgeführt?
- Typ der Studie (RCT)
- Wurde ein Level of Evidence angegeben?
- Welcher Randomisierungsprozess wurde angewendet?
- Populationsgröße und Eigenschaften wie Geschlecht und Alter
- Verteilung der Population auf die untersuchten Gruppen
- Ein- und Ausschlusskriterien, Meniskusverletzung?
- Für die Rekonstruktion verwendeter Typ der Plastik
- Interventionsart
- Kontrollgruppen Intervention (Placebo)
- Startzeitpunkt nach der Rekonstruktion und Dauer der Intervention
- Verwendete Scalen für die Schmerzerhebung
- Verwendete Erhebung der Beweglichkeit
- Outcome ROM Standardabweichung (SD) und Mittelwert (MW)  
(inklusive Messzeitpunkte)
- Outcome PAIN SD und MW  
(inklusive Messzeitpunkte)

-Ergebnis

-Effektstärke und p-Wert für die statistische Signifikanz

Die Beschreibung der Studien wurde anhand der Richtlinien nach CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trails) durchgeführt (Kruse et al., 2012). Ziel war es, eine Vergleichbarkeit zu schaffen. Für die spätere qualitative Beurteilung der Evidenz sind verschiedene der erfassten Daten wichtig, da diese Einfluss auf die Rehabilitation üben können. Dazu gehört der Zustand des Meniskus, der eine stabilisierende Rolle bei der VKB Rekonstruktion besitzt. Teilweise wurde eine Verletzung des Meniskus gänzlich als Ausschlusskriterium angegeben. In anderen Studien wurde eine Teilresektion zugelassen. Das in den Studien verwendete Transplantat ist ein weiterer Punkt welcher in der späteren Bewertung der Qualität der Evidenz verwendet wird. Wurde eine Einzelbündel- oder eine Doppelbündelplastik eingesetzt. Das Alter und die weiteren Vorerkrankungen genauso wie der Zugang zum Therapieangebot sind auch Faktoren, die Einfluss auf die Rehabilitation üben können.

Weiterhin wurde durch das Eingrenzen der Erhebungsinstrumente auf validierte Instrumente für das Schmerzgeschehen und der Beweglichkeit eine Vergleichbarkeit hinsichtlich der Ergebnisse geschaffen. Des Weiteren übt der Startpunkt der Rehabilitation nach der Rekonstruktion einen Einfluss auf die mit der Baseline erhobenen Datensätze aus.

Die Grundlage der Vergleichbarkeit der Kontrollgruppen wurde gegeben, indem in den Studien jeweils die verwendete standardisierte Rehabilitation mit Belastungsgefüge definiert wurde. Wie eingangs erwähnt, hat der Physiotherapeut freie Hand was die Mittel der Therapie angeht und daher musste diese festgelegt werden. Gleiches gilt für die im Vorfeld der Untersuchung verwendeten Schmerzmedikationen und die Verwendung von Orthesen (Kruse et al., 2012).

Als zugrunde gelegtes Konzept wurden Studien verwendet, welche mit einer Prä- und Postbefragung arbeiteten. Dabei unterschieden sich die Konzepte hinsichtlich der Interventionszeiträume. Einige der gefundenen Studien arbeiteten mit mehr als zwei Erhebungszeitpunkten. Die eingeschlossenen Untersuchungen arbeiteten teilweise nicht nur mit Kontroll- und Experimentalgruppen, sondern waren zusätzlich noch Placebo kontrolliert, was in der Bewertung der Qualität aufgegriffen wurde (Feistenauer, 2018; Nader, 2013). Aus diesen vielfältigen Einflussfaktoren mussten stringente Instrumente zur Bewertung in diese Arbeit eingebunden werden.

### 4.3.1 Evaluation der Qualität der Evidenz

#### RISK OF BIAS TOOL

Die qualitative Auswertung von Studien ist ein zentraler Bereich einer systematischen Literaturrecherche, da strukturelle Fehler in der Durchführung von Studien die tatsächliche Aussagekraft negativ beeinflussen. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit das RISK OF BIAS Tool Version 9 beta nach Cochrane angewandt, um die BIAS, also die systematischen Fehler, in den Studien zu finden (Higgins et al., 2022). Dieses Bewertungswerkzeug ist eine gängige Methode. Das Tool beurteilt fünf unterschiedliche Fehlerquellen. Anhand von festgelegten Fragen wurde die Qualität der Sample Size bewertet. Im Bezug dazu wurden anfängliche Differenzen zur Baseline abgefragt. Weiterhin wurde zusätzlich die Art und Durchführung des Rekrutierungsprozesses sowie der Randomisierungsvorgang beurteilt. In diesem Zusammenhang wurde betrachtet, ob die Probanden während der Studie in Kenntnis gesetzt wurden, in welcher Studien-Gruppe sie sich befanden. Die Durchführung der Intervention wurde auch mit Hilfe dieses Bewertungskatalogs beurteilt zum Beispiel, ob der Interventionsleiter wusste, in welcher Gruppe sich die Probanden befanden. Dieser Punkt spielte darauf an, ob die Studie unter verblindeten Bedingungen stattfand. Weiterhin wurde die stringente Erhebung der Daten und die klare im Vorfeld festgesetzte statistische Berechnung und Vorgehensweise bewertet. Nach der Beurteilung der Qualität der Erhebung wird abgefragt, ob die Daten alle vollständig vorliegen oder ob die statistische Analyse nach der Erhebung angepasst wurde, was zu negativen Einflüssen in der Aussagekraft führen würde. Um die Aussagekraft dieses Bewertungsinstruments zusammenzufassen, werden mit dessen Hilfe die Reliabilität und Validität der Studien beurteilt (Pursell et al., 2020; Higgins et al., 2022).

#### GRADE TOOL

Die Aussagekraft der gefundenen Studien wurde zusätzlich mit dem GRADE Tool RevMan 5 bewertet (Schünemann et al., 2022). Dieses Instrument führt ebenfalls einen Fragenkatalog an, um die Evidenz der gefundenen Studien zu bewerten. Der Unterschied bestand darin hier die Vergleichbarkeit der Ergebnisse miteinander zu beurteilen. Mit Hilfe des Tools werden die Erhebungszeiträume miteinander verglichen. Es wurden die in den Studien berechneten Mittelwerte und Standardabweichungen in den Interventionsgruppen und Kontrollgruppen hinterlegt. Auch die Gewichtung der einzelnen Studien anhand ihrer untersuchten Population wurde anhand dieses Tools ermöglicht. Das GRADE TOOL berücksichtigt noch weitere Variablen in

der Bewertung. Dabei wurde das vorangegangene RISK OF BIAS eingebunden und um weitere einfließende Faktoren ergänzt. Die Inkonsistenz und Indirektheit ebenso wie fehlende Genauigkeit oder Publikationsbias wurden bewertet. Ein weiterer Punkt ist die Betrachtung der Größe des Effekts in den jeweiligen Studien. Das GRADE TOOL wurde zudem verwendet, um die anschließende Analyse der gebildeten Cluster hinsichtlich ihrer Aussagekraft gegenüber zu stellen und im Bezug zur gefundenen Evidenz zu setzen.

### 4.3.2 Statistische Analyse

Wenn verschiedene Studien die gleiche Rehabilitationstechnik erforscht und die gleichen Outcomes gemessen haben, wurden die Ergebnisse meta-analysiert mit dem Statistik Programm „R 2022.02.1+461“. Im Zuge dessen wurden aus den eingeschlossenen Studien die Mittelwerte und die Standardabweichungen extrahiert. Zur Vergleichbarkeit der in den Studien verwendeten Skalen wurde in „R“ die Standardised Mean Difference (SMD) berechnet (Pursell et al., 2020). Der verwendete R-Code für die Metaanalysen, modifiziert nach Pursell et al., 2020 ist in Abbildung 8 aufgeführt.

```
#install package meta
install.packages("meta")

#open package meta
library(meta)

#read in data
data<-read.csv("CLUSTER.csv", header=T, sep=";")
data

#run meta analysis
MetaA<-metacont(n.e=Nems, mean.e=Mems, sd.e=SDems, n.c=Nreha, mean.c=Mreha, sd.c=SDreha,
studlab=Study.ROM, sm="SMD", data=data, subgroup=CLUSTER, common=FALSE, tau.common=TRUE)
MetaA

#create forest and funnel plot
forest(MetaA, test.overall.fixed=TRUE, test.overall.random=TRUE)
forest(MetaA, test.overall.fixed=TRUE, test.overall.random=TRUE, digits=1, digits.sd=1, label.left="Favours
EMS", label.right="Favours Control")
funnel(MetaA)
```

Abbildung 8: R-Code

## 5 Ergebnisse

Durch die Suche in den elektronischen Datenbanken wurden 3026 Studien bis zum 23.09.2021 gefunden. Wie sich diese Anzahl aus den verschiedenen Datenbanken zusammensetzt ist in Tabelle 5 erkennbar. Davon waren 130 Studien potentiell verwendbar und wurden auf Volltext gescreent. Abschließend wurden die 130 Studien nach den festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien gefiltert. Das Ergebnis waren 24 Studien die in diesem Review eingeschlossen wurden.

### 5.1 Studienlage

Tabelle 5: Literaturrecherche

Datenbank	Anbieter/Host	Recherchedatum	Treffer
Medline via PubMed	Ovid	31.08.2021	307
Cochrane Library	Wiley	02.09.2021	577
Sciencedirect	Elsevier	05.09.2021	2142
		<b>Total</b>	3026
		<b>Duplicate records removed</b>	775
		<b>Removed for other Reasons</b>	2121

### 5.2 PRISMA Flowchart

Das PRISMA Flowchart in Abbildung 9 dient zur Veranschaulichung des Ablaufs der systematischen Literaturrecherche. Dabei wird gezeigt, wie viele Studien aus welchen Gründen ausgeschlossen wurden und aus welchen Datenbanken sich die eingeschlossenen Studien zusammensetzen (Page et al., 2020).

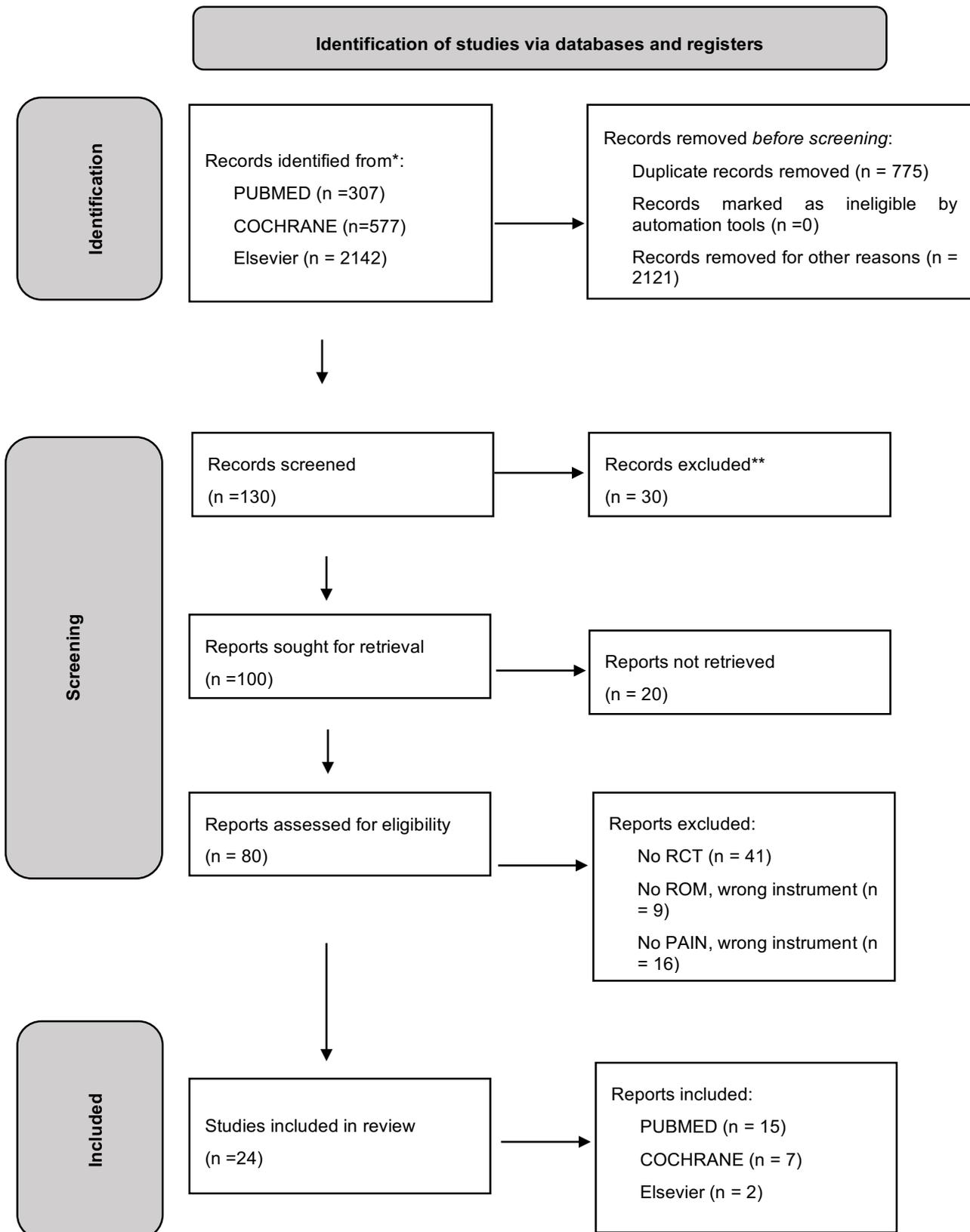


Abbildung 9: Flussdiagramm zur Abbildung der verschiedenen Phasen der systematischen Übersicht (modifiziert nach PRISMA) (Page et al., 2020)

Im Sinne der Forschungsfrage wurden alle gefundenen Verfahren zur Rehabilitation nach VKB Rekonstruktion in diese Arbeit eingebunden. Teilweise wurden mehrere Studien mit gleichen oder ähnlichen Rehabilitationsverfahren gefunden. Um diese miteinander vergleichen zu können wurden Subgruppen in Form von Clustern gebildet.

### 5.3 Deskriptive Auswertung

In den folgenden Tabellen werden die 24 eingeschlossenen Studien beschrieben. Es ist zu erkennen, welches Rehaverfahren Verwendung fand und wie das Studiendesign umgesetzt wurde. Des Weiteren wurden die untersuchte Population und der Versuchsaufbau beschrieben. Im Zuge dessen werden die Zeitpunkte der Datenerhebungen beschrieben und welche Instrumente für die Messung verwendet worden sind. Abschließend werden die Ergebnisse der Studien aufgeführt und diese kritisch eingeschätzt. Der Aufbau der Tabellen dient der Übersichtlichkeit, sodass zwei Studien direkt miteinander verglichen werden können. Die Reihenfolge der dargestellten Tabellen folgt der Reihenfolge der gebildeten Subgruppen.

Tabelle 6 beinhaltet alle Studien welche mit offenen oder geschlossenen Bewegungsketten arbeiteten (CLUSTER 1). Tabelle 7 und 8 beinhalten alle Studien die mit ähnlichen Physiotherapiemodellen gearbeitet haben (CLUSTER 2). Tabelle 9 beinhaltet alle Studien die mit Blutflussrestriktion arbeiteten (CLUSTER 3). Tabelle 10 und 11 beinhalten alle Studien die mit Krafttraining gearbeitet haben (CLUSTER 4). Tabelle 12 und 13 zeigen alle Studien die mit Vibrationstraining arbeiteten (CLUSTER 5). Tabelle 14 und 15 zeigen alle Studien zum Thema Stabilisationstraining (CLUSTER 6). Tabelle 16 und 17 zeigen alle Studien zum Thema EMS Training (CLUSTER 7). In Tabelle 18 und 19 werden Studien gezeigt die keinem Cluster zugeordnet wurden. Die Ergebnisse zeigen zur Übersichtlichkeit den letzten Messzeitpunkt in den Studien.

Tabelle 6: CLUSTER 1 – offene und geschlossene Bewegungsketten

ID/Autor	
UCAR, M. et al., (2014), 25540486,	FUKUDA, T. Y., et al., (2013), CN-02134759,
Rehaverfahren	
Offene OKC und geschlossene CKC Bewegungsketten Auswirkungen offener und geschlossener Bewegungsketten auf die ACL Rekonstruktion	Offenkettiges Training in begrenzter ROM nach VKB Rekonstruktion
Probanden	

## Ergebnisse

<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 30 geschlossene Bewegungsketten</li> <li>• N2 = 28 offene Bewegungsketten</li> <li>• Älter als 17 Jahre bis 39 Jahre</li> <li>• Doppelbündelplastik</li> <li>• teilweise Meniskusschäden beseitigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 25 EOKC VOLLE ROM</li> <li>• N2 = 24 LOKC</li> <li>• Alter zwischen 16 und 50 Jahren</li> <li>• keine komplette Meniskus Entnahme; Reparatur</li> <li>• Strand Semitendinosus; Gracilis Sehne</li> <li>• Autograft inklusive Meniscectomy</li> </ul>
<b>Interventionen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 20 Wdh., isometrische Extension,</li> <li>• 3 - 7 Tage postoperativ Schiene 3 - 4 Sets. 20 - 50 Wdh.</li> <li>• 3 Sets mit 20 Wdh. 15 - 30 Tage volle ROM + schnelles Gehen</li> <li>• Training beginnt 7 - 15 Tage nach Rekonstruktion (Extension eingeschränkt)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach 10 Tagen ein Kinesiotape</li> <li>• geschlossen kettiges Training</li> <li>• (4 Wochen nach OP) ROM Begrenzt zw. 45 und 90 Grad (12 Wochen nach OP)</li> </ul>
<b>Outcomes</b>	
PAIN: Lysholm, VAS (Visuelle Analog Skala)  ROM: Knee Flexion Goniometer  Baseline, t1 = 3 Monate, t2 = 6 Monate	PAIN: Lysholm Score; NPRS (Numerical Pain Rating Scala)  ROM: Arthrometer  Follow Up: 12 Wochen; 19 Wochen; 15 Wochen; 17 Monaten post OP
<b>Ergebnisse</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lysholm nach 6 Mon <math>p &gt; 0.05</math> in CKC und OKC, besser in CKC Gruppe</li> <li>• VAS Score nach 3 und 6 Monaten sig. verbessert in CKC Gruppe</li> <li>• Knie Beugung nach 3 und 6 Monaten sig. verbessert in CKC Gruppe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lysholm OKC nach 17 Monaten; Lysholm score <math>p = 0.004</math></li> <li>• NPRS sig. verbessert in EOKC und LOKC nach 25 Wochen and 17 Monaten, verglichen mit 12 Wochen (<math>0.01 &lt; p &lt; 0.05</math>)</li> <li>• Lysholm verbessert nach 19 und 25 Wochen und 17 Monaten in EOKC und LOKC, verglichen mit 12 Wochen (<math>0.01 &lt; p &lt; 0.05</math>)</li> </ul>

*OKC: Open Kinetic Chain, CKC: Closed Kinetic Chain, EOKC: Early Open Kinetic Chain, LOKC: Late Open Kinetic Chain, ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzband, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, sig.: signifikant*

Tabelle 7: CLUSTER 2 - Physiotherapie

<b>ID/Autor</b>	
ZDUNSKI, S., et al., (2017), CN-01570692, Warsaw Medical University no. KB/35/2013	HOHMANN, E., et al., (2011), CN-00812720,
<b>Rehaverfahren</b>	
Auswirkungen eines ausgewählten Physiotherapiemodells auf Range of Motion und Pain nach VKB Rekonstruktion	Physiotherapeutische Anleitung vs. Home based Training
<b>Probanden</b>	
• N1 = 37 Intervention	• N1 = 20 überwachte Physiotherapie Gruppe;

<ul style="list-style-type: none"> <li>• N2 = 35 Kontrolle</li> <li>• 18 bis 60 Jahre alt</li> <li>• Muskuloskeletale Dysfunktionen</li> <li>• Ausschluss generell schlechter Verfassung</li> <li>• Semitendinosus oder Gracilis Sehne</li> <li>• Einzelbündelplastik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N2 = 20 unüberwachte Home based Gruppe</li> <li>• zwischen 18 und 35 Jahren alt</li> <li>• Ruptur nicht älter als drei Monate</li> <li>• Ausschluss anderer Verletzungen</li> <li>• Bone-Patellar Tendon-Bone</li> </ul>
<b>Interventionen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interventionsgruppe erhielt physiotherapeutische Rehabilitation 4 Wochen vor der Operation</li> <li>• Kontrollgruppe keine Pre-Rehabilitation</li> <li>• Post Operations Rehabilitation bei beiden Gruppen gleich</li> <li>• 2-3 Mal pro Wochen, jeweils 120 Minuten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROM Brace über 6 Wochen, Krücken, Gewichtsbelastung individuell</li> <li>• Interventionsgruppe erhielt ein Mal wöchentlich Training mit Physiotherapeuten über 6 Wochen Post OP, Kräftigung, Mobilisation</li> <li>• Kontrollgruppe gleiche Behandlungsziele aber ohne Überwachung und zu hause</li> </ul>
<b>Outcomes</b>	
<p>ROM: Goniometer, Patient durchbewegt</p> <p>PAIN: VAS</p> <p>t1 = 1 Woche nach Rekonstruktion</p> <p>t2 = 12 Wochen nach Rekonstruktion</p>	<p>PAIN: Lysholm Score, Tegner Scale</p> <p>ROM: Isometric Dynamometer Test</p> <p>t = 3, 6, 9, 12 Monate Post Op</p>
<b>Ergebnisse</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• VAS nach 12 Wochen: Interventionsgruppe Mean 0.7 SD (0.9), Kontrollgruppe Mean 1.4 SD (1.3), p = 0.009</li> <li>• ROM Extension nach 6 Wochen am operierten Bein in Grad: Interventionsgruppe Mean 0 SD (1.1), Kontrollgruppe Mean 1 SD (2.3), p = 0.009</li> <li>• ROM Flexion nach 12 Wochen am operierten Bein in Grad: Interventionsgruppe Mean 133 SD (7.7), Kontrollgruppe Mean 131 SD (8.5), p = 0.388</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lysholm Score 3 Monate Post OP: Intervention Mean 76 SD (48-90), Kontroll Mean 85 SD (41-99), p = 0.001</li> <li>• ROM Extension 3 Monate bei 30 Grad: Intervention Mean 56.4 SD (18.4), Kontroll Mean 71.1 SD (14.1), p = 0.01</li> <li>• Isokinetische exzentrische Stärke bei 120 Grad und 3 bis 12 Monaten Post OP: Intervention Mean 84.7 SD (10.3), Kontroll Mean 75.3 SD (12.3), p = 0.004</li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzband, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Deviation, sig.: signifikant

Tabelle 8: CLUSTER 2 - Physiotherapie

<b>ID/Autor</b>
LEVINGER, P., et al., (2017), CN-01404639, Register: ACTRN12616001379404
<b>Rehaverfahren</b>
WEB_SUPPORT intervention to promote recovery nach VKB Rekonstruktion
<b>Probanden</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 10 Kontroll</li> <li>• N2 = 7 Intervention</li> <li>• Alter zwischen 18 und 45</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>normale Physiotherapie Behandlung</li> <li>Exklusion von Meniskus Schäden und weiteren Verletzungen</li> </ul>
<b>Interventionen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>N1: traditionelle Physiotherapie</li> <li>N2: Internet basierte Physiotherapie für zu hause</li> <li>12 Wochen Intervention</li> <li>1. Woche, tägliches Training</li> <li>2-3. Woche, 3 Mal pro Woche Training</li> <li>4-12. Woche, 1 Mal pro Woche Training</li> </ul>
<b>Outcomes</b>
<p>PAIN: KOOS Score; TSK PAIN SCALE; K-SES</p> <p>Baseline: 2-3 Tagen nach der Rekonstruktion</p> <p>t0 = 1 Woche nach Rekonstruktion</p> <p>t1 = 12 Wochen nach Rekonstruktion</p>
<b>Ergebnisse</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>KOOS ADL: Kontroll Mean 71.9 SD (5.8), Intervention Mean 63.2 SD (12), p = 0.04</li> <li>KOOS Pain p = 0.07 Unterschied zwischen den Gruppen</li> <li>TSK: Kontroll Mean 39.6 SD (3.4), Intervention Mean 39.7 SD (5.9), p = 0.01</li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzband, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t0: erster Erhebungszeitpunkt, t1: zweiter Erhebungszeitpunkt, TSK: The Tampa Scale, SD: Standard Deviation, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome score,

Tabelle 9: CLUSTER 3 - Blutflussrestriktion

<b>ID/Autor</b>	
HUGHES, L., et al., (2019), PMID 31301034, clinicaltrials.gov ID: NCT03418169	ERICKSON L. N., et al., (2018), CN-01938084, Clinicaltrials.gov ID: NCT03364647
<b>Rehaverfahren</b>	
Effekte von Blutfluss Restriktion und traditioneller Reha nach VKB Plastik	BLOOD Flow Restriction
<b>Probanden</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>N1 = 14 Blutfluss Restriktion</li> <li>N2 = 14 traditionelle Reha</li> <li>Alter 29 SD (7)</li> <li>keine Bandage</li> <li>aktive nicht-raucher</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N1 = 30 Physikalische Therapie plus BFRT</li> <li>N2 = 30 Physikalische Therapie plus Placebo BFRT</li> <li>15 bis 40 Jahre alt, keine Meniskus Reparatur</li> <li>keine vorangegangene Knie Verletzung</li> </ul>
<b>Interventionen</b>	
parallel-group, two-arm, single-assessor blinded	<ul style="list-style-type: none"> <li>randomized, double-blind,</li> <li>placebo-controlled clinical Trial,</li> </ul>

## Ergebnisse

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Randomized Controlled Trial, block randomisiert</li> <li>• 8 Wochen Training mit 16 Einheiten min, 48 h Pause,</li> <li>• N1: zusätzlich Blutflussrestriktion 80% Loop Sätze 30,15,15,15 Wdh.</li> <li>• 3x10 Wdh. mit 70% 1-RM einbeinige Beinpresse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Postoperativ 4 bis 5 Monate</li> <li>• Beide Gruppen erhalten Standardreha, Mobilisation, Muskelaktivierung, Hüft Kräftigung, Core Stabilität, Balance, Gang Training</li> <li>• 3 Mal pro Woche für 6 bis 7 Monate</li> <li>• N1: Blutflussrestriktion über 20min pro Einheit</li> <li>• N2: Placebo Blutflussrestriktion mit weniger als 20mmHg</li> </ul>
<b>Outcome</b>	
PAIN: IKDC; KOOS, LYSHOLM  ROM: GONIOMETER; Dynamometer Biodex  t0 und t1 = 8 Wochen	ROM: Dynamometer Biodex;  KEINE PAIN
<b>Ergebnisse</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• KOOS Pain: Intervention Mean 39.74 SD (11.74), Kontroll Mean 22.0 SD (7.48), <math>p &lt; 0.05</math></li> <li>• IKDC: Intervention Mean 35.63 SD (7.06), Kontroll Mean 23.33 SD (8.76), <math>p &lt; 0.01</math></li> <li>• LYSHOLM: Intervention Mean 44.58 SD (14.75), Kontroll Mean 29.50 SD (12.07), <math>p &lt; 0.05</math></li> <li>• ROM Flexion: Intervention Mean 36.33 SD (6.01), Kontroll Mean 20.67 SD (6.85), <math>p &lt; 0.01</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROM Flexion Angle Mean 4 SD (4.7), <math>p \leq 0.05</math></li> <li>• Es handelt sich um ein Studienprotokoll, keine Werte für eine Meta-Analyse</li> </ul>

*ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Diviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome score,*

Tabelle 10: CLUSTER 4 - Krafttraining

<b>ID/Autor</b>	
CHMIELEWSKI, T. L., et al., (2016), CN-02110116, ClinicalTrials.gov NCT01851655	BIELER, T., et al., (2014), CN-00993232, STUDY PROTOCOLL KF01-008/04
<b>Rehaverfahren</b>	
Low- vs. High- Intensity Plyometric exercises in Rehabilitation nach VKB Rekonstruktion	High vs. Low Intensity Resistance Training für Beinstrecker nach VKB Rekonstruktion
<b>Probanden</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 12, Low Intensity</li> <li>• N2 = 12, High Intensity</li> <li>• zwischen 15 und 30 Jahren</li> <li>• VKB Rekonstruktion älter als sechs Monate nach Verletzung</li> <li>• 50 Wochenstunden Sportliche Aktivität vor der Verletzung des Level 1 und Level 2,</li> <li>• volle Extension und Beugung bis 5 Grad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 24 HIGH Intensity</li> <li>• N2 = 26 LOW Intensity (Für die Meta-Analyse N1 als N2 gerechnet)</li> <li>• Alter zwischen 18 und 45</li> <li>• bilaterale Knie Beschädigung</li> <li>• Meniskus Reparatur</li> <li>• vorherige VKB Rekonstruktion,</li> <li>• osteoarthritis</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exklusion bei bilateraler Knie Beschädigung,</li> <li>• vorangegangene Knie Beschädigung,</li> <li>• Meniskusbeschädigung über Grad 1</li> <li>• Keine Komplikationen in der Operation</li> <li>• Allograft 8 und Autograft 16</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bone-Patellar;</li> <li>• Tendon-Bone;</li> <li>• Hamstring Tendon</li> </ul>
<b>Interventionen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Randomized controlled Trail,</li> <li>• double blind, computer generated</li> <li>• 8 Wochen; 2 Mal pro Woche Training:</li> <li>• Running, Jumping und Agilitäts Übungen,</li> <li>• N1: Kräftigungstraining mit 3 Sätzen und 10 WDH</li> <li>• Machine Squat, Leg press, Knie Extension,</li> <li>• Flexibility 2 mal 30 sek und Propriozeption auf instabilem Untergrund für 3 mal 30 sek</li> <li>• N2: geringere Intensität bei den Kräftigungsübungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• single-blinded, randomized clinical Trail</li> <li>• 20 Wochen Reha Training</li> <li>• N1: HIGH Gruppe 20 WDH mehr Gewicht bis auf 8 Wdh. reduziert</li> <li>• N2: LOW Gruppe 30 WDH weniger Gewicht auf 20 Wdh. reduziert</li> </ul>
<b>Outcomes</b>	
<p>PAIN: IKDC SCORE Intensität auf einer numerischen Rating Skala,</p> <p>ROM: BIODEX Dynamometer</p> <p>im Schnitt 14,3 Wochen nach Op begann die Intervention</p>	<p>ROM: Arthrometer;</p> <p>PAIN: KOOS; QoL; LYSHOLMS Score</p> <p>t1 = 7 Wochen</p> <p>t2 = 14 Wochen</p> <p>t3 = 20 Wochen</p>
<b>Ergebnisse</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• IKDC Intervention Mean 87.7 SD (8.4), Kontroll Mean 82.1 SD (12.9), <math>p &lt; 0.001</math></li> <li>• NPRS Intervention Mean 0.5 SD (0.7), Kontroll Mean 0.6 SD (0.6), <math>p &lt; 0.05</math></li> <li>• PCS Intervention Mean 2.8 SD (4.8), Kontroll Mean 2.5 SD (4.2), <math>p = 0.297</math></li> <li>• ROM EXTENSOR TORQUE Intervention Mean 2.8 SD (0.5), Kontroll Mean 3.0 SD (0.7), <math>p = 0.018</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KOOS Intervention Mean 83 SD (65-93), Kontroll Mean 81 SD (78-89), <math>p = 0.0001-0.030</math></li> <li>• LYSHOLM Intervention Mean 80 SD (66-84), Kontroll Mean 80 SD (74-85), <math>p &lt; 0.0001</math></li> <li>• ARTHROMETER Intervention Mean 97.5 SD (3.6), Kontroll Mean 83.5 SD (3.2), <math>p = 0.006</math></li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Diviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome score,

Tabelle 11: CLUSTER 4 - Krafttraining

<b>ID/Autor</b>	
KINIKLI, G. I., et al., (2014), PMID 24901918	GARRISON, J. C., et al., (2014), CN-02136171
<b>Rehaverfahren</b>	
Der Effekt von progressivem exzentrischen und konzentrischen Training auf funktionelle Performance nach Hamstring VKB Rekonstruktion	Effekte von Hüft Kräftigung auf frühe Outcomes nach VKB Rekonstruktion

Probanden	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 16 Intervention</li> <li>• N2 = 17 Kontroll</li> <li>• Alter N1: Mean 33.87 SD (8.19)</li> <li>• Alter N2: Mean 32.64 SD (8.21)</li> <li>• unilaterale Bandverletzung,</li> <li>• concomitant Ligament oder Meniskusverletzung, keine vorangegangene Knie Verletzungen;</li> <li>• Autogenous Semitendinosus;</li> <li>• Gracilis Tendon Grafts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 22 Intervention Hüft Kräftigung</li> <li>• N2 = 21 Kontroll keine Hüft Kräftigung</li> <li>• 21 Weiblich und 22 Männlich,</li> <li>• im Alter zwischen 14-40 Jahren,</li> <li>• isolierter Kreuzbandriss</li> <li>• aktive Menschen minimum 3 Tagen pro Woche, Exklusion: früheren VKB Rupturen,</li> <li>• chondralem Defekt;</li> <li>• Meniskusschäden mit Reparatur;</li> <li>• 38 Patellar Tendon, 3 Hamstring und 2 Allograft</li> </ul>
Interventionen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beide Gruppen erhielten ein Standard Rehabilitationsprotokoll über 12 Wochen 3 Mal pro Woche</li> <li>• Gewichtsbelastung in beiden Gruppen drei Wochen nach Op gestartet</li> <li>• N1: progressives exzentrisches und konzentrisches Training für 12 Wochen auf einem monitored functional Squat System, ähmlich einem Jump Squat</li> <li>• N2: Übungen in geschlossener kinetischer Quadrizeps Kette, hängende Bein Extension für ROM und Beinhebe, Balance Übungen, 3-4. Woche Cycling Theraband strenght training, mini squats, coordination and balance</li> <li>• 1 RM Test zu Beginn, Startbelastung mit 5% bis hin zu 50% 1- RM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beide Gruppen erhielten traditionelle Reha</li> <li>• Die Rehabilitation began im Schnitt am 5 Post OP Tag</li> <li>• 3 Mal pro Woche physikalische Therapie über 12 Wochen für zu Hause</li> <li>• N1: Interventionsgruppe HIP Hüft stärkende Übungen über acht Wochen</li> <li>• N2: Kontrollgruppe No HIP keine Hüft stärkenden Übungen</li> </ul>
Outcomes	
<p>PAIN: LYSHOLM SCORE</p> <p>ROM: DYNAMOMETER</p> <p>t0 und t1=16 Wochen nach OP</p>	<p>ROM: Goniometer</p> <p>PAIN: IKDC und VAS Scale</p> <p>t = 1, 4, 8 und 12 Wochen</p>
Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LYSHOLM Intervention Mean 88.31 SD (3.53), Kontroll Mean 80.76 SD (8.30), p = 0.002</li> <li>• DYNAMOMETER Flex bei 60 Grad Intervention Mean 96.99 SD (32.81), Kontroll Mean 81.19 SD (35.85), p = 0.197</li> <li>• DYNAMOMETER Extension bei 180 Grad Intervention Mean 77.59 SD (23.28), Kontroll Mean 63.52 SD (28.18), p = 0.127</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IKDC Intervention Mean 71.3 SD (10.1), Kontroll Mean 72.7 SD (10.7), p = 0.819</li> <li>• VAS Intervention Mean 0.69 SD (1.1), Kontroll Mean 0.67 SD (1.1), p &lt; 0.001</li> <li>• ROM Knee Extension Intervention Mean 1.4 SD (1.9), Kontroll Mean 1.5 SD (2.2), p &lt; 0.001</li> </ul>

*ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Diviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome score,*

Tabelle 12: CLUSTER 5 - Vibrationstraining

ID/Autor	
PARK, J-M., et al., (2019), 31574964, SAHMYOOK Univ. 2-7001793-AB-N-012018034HR	PISTONE, E. M., et al., (2016), 27735985
Rehaverfahren	
Rehabilitationsprogramm kombiniert mit lokaler VIBROACOUSTIC	GANZ Körper Vibrationstraining und die Auswirkungen auf die Neuromuskuläre Funktion nach VKB Rekonstruktion
Probanden	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 26 Intervention</li> <li>• N2 = 26 Kontroll (Placebo)</li> <li>• Alter Mean 29,25 SD (14,51) Jahre</li> <li>• keine metallischen Materialien im Körper</li> <li>• durften keine Medikamente oder Programme für Gewichtsverlust absolviert haben</li> <li>• Die Patienten wurden nur eingeschlossen, wenn sie 6 Monate nicht trainiert haben</li> <li>• Die Plastikart wird nicht näher beschrieben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 17 Reha Alter Mean 27 SD (7)</li> <li>• N2 = 17 Reha plus Vibrationstraining Alter Mean 29 SD (7)</li> <li>• Inklusion von Meniskusschäden,</li> <li>• identische ACL Rekonstruktion mit ipsilateral tripled Semi-Tendionosus graft mit Inference Schrauben</li> <li>• Exklusion von vorherigen Knie Schäden, keine "competitive Athletes"; keine Kardi-ovaskulären- oder Lungen Erkrankungen</li> <li>• Ipsilateral tripled Semitendinosus graft</li> </ul>
Interventionen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompressionsstrümpfe, Orthesen und Krücken</li> <li>• Beide Gruppen erhielten das gleiche Rehabilitationstraining für 4 bis 6 Wochen, Kräftigung der Muskulatur mit steigender Intensität begonnen wurde bei 3x 10 Wdh., Stretching und Icing</li> <li>• N1: erhielt zusätzlich lokales Vibroakustic Training, Intensität startete bei 20% des Maximal Impulses über 30 Minuten</li> <li>• N2: erhielt ein Placebo, ohne lokale vibroakustic, Gerät wurde angelegt aber ohne Impulse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beide Gruppen erhielten traditionelle Rehabilitation bestehend aus Cryotherapie, passive Beweglichkeit, Kräftigungsübungen, Balance Übungen, Gangbild Training, funktionelle Übungen und propriozeptives Training</li> <li>• Jede Trainingseinheit dauerte 90 Minuten</li> <li>• 3 Wochen lang wurde eine Schiene getragen</li> <li>• 3 Mal pro Woche Training über 12 Wochen</li> <li>• N1: nur traditionelle Rehabilitation</li> <li>• N2: traditionelle Reha und Ganzkörper Vibrationstraining, 35s Belastung 5s Pause, Statische Position in Kniebeugeposition, Steigerung bis 1 Min. Belastung</li> </ul>
Outcomes	
<p>ROM: MOTION; GONIOMETER; STRENGHT; DYNAMOMETER;</p> <p>PAIN: VAS 0-10 BIPOLAR</p> <p>mindestens 7 Tage nach der Rekonstruktion</p> <p>t0 = 0 Wochen,</p> <p>t1 = 4 Wochen,</p> <p>t2 = 8 Wochen</p>	<p>ROM: GONIOMETER</p> <p>PAIN: LYSHOLM Score; Strenght Bosco System; Balance Zebris</p> <p>t1 = 1 Monat nach OP,</p> <p>t2 = 2 Monate nach OP,</p> <p>t3 = 3 Monate nach OP</p>
Ergebnisse	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• VAS Intervention Mean 2.13 SD (0.90), Kontroll Mean 4.54 SD (1.33), p = 0.001</li> <li>• ROM Intervention Mean 127.82 SD (12.46), Kontroll Mean 92.38 SD (27.65), p = 0.002</li> <li>• EXTENSION Torque Intervention Mean 178.73 SD (27.45), Kontroll Mean 110.23 SD (53.88), p = 0.001</li> <li>• FLEXION Torque Intervention Mean 68.00 SD (10.12), Kontroll Mean 50.23 SD (19.43), p = 0.041</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LYSHOLM Intervention Mean 23.7 SD (3.4), Kontroll Mean 16.3 SD (3.1), p &lt; 0.001</li> <li>• ROM Knee Flexion</li> <li>• Time x Group Interaktion F 4.17, p = 0.02</li> <li>• Between Group Comparison</li> <li>• T1-T2 F 0.15, p = 0.69; T2-T3 F 5.95, p = 0.02; T1-T3 F 0.91, p = 0.34</li> <li>• Muskelkräftigung in den Flexoren</li> </ul>
---	---

*ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Deviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome score, WBVT: Whole Body Vibration Training*

Tabelle 13: CLUSTER 5 - Vibrationstraining

<b>ID/Autor</b>
FU, C., et al., (2013), CN-00959981
<b>Rehaverfahren</b>
Frühes ganz Körper Vibrationstraining und die Auswirkungen auf die Neuromuskuläre Funktion nach VKB Rekonstruktion
<b>Probanden</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 24 konventionelle Reha plus ganz Körper Vibration; Alter Mean 25,2 SD (7,3)</li> <li>• N2 = 24 nur konventionelle Reha; Alter Mean 23,3 SD (5,2)</li> <li>• Inklusion von Meniskusschäden auch Meniscectomy wurde inkludiert</li> <li>• Exklusion vorangegangener Verletzungen:</li> <li>• concomitant posterior cruciate ligament</li> <li>• lateral collateral ligament oder medial collateral ligament Verletzung im selben Knie</li> <li>• vorrangigene Operation an beiden unteren Extremitäten, akute Thrombose</li> </ul>
<b>Interventionen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beide Gruppen erhielten ein Rehabilitations Programm basierend auf den klinischen Konditionen welche vom ACSM empfohlen werden</li> <li>• ab der 4. Woche leichtes Gewichtstraining, cryotherapy, magnetotherapy, neuromuskular elektrische Stimulation, Mobilisation, Dehnung, Kräftigung, Propriozeption, Balance, funktionelle Gangschule, Heim Übungen</li> <li>• Ellenbogen Krücken für 4 Wochen und 6 Wochen Schiene.</li> <li>• N1: WBVT startet ein Monat nach der OP</li> <li>• 2 Mal pro Woche insgesamt 16 Einheiten über 2 Monate</li> <li>• Die Vibrationsplatte arbeitete in vertiakaler Bewegungsamplitude von 2-4mm einstellbar</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>N2: ausschließlich Konventionelle Reha</li> </ul>
<b>Outcomes</b>
<p>ROM: BIODEX, Arthrometer:</p> <p>PAIN: KEINE PAIN ERHEBUNG</p> <p>t1 = 3 Month; t2 = 6 Month</p>
<b>Ergebnisse</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ROM: Extension Torque 300 Grad/s Intervention Mean 65.5 SD (15.7), Kontroll Mean 56.8 SD (22.9), p = 0.005 (Rekonstruiertes Bein)</li> <li>ROM: Extension Torque 180 Grad/s Intervention Mean 98.9 SD (22.4), Kontroll Mean 90.0 SD (22.2), p = 0.013 (Rekonstruiertes Bein)</li> <li>ROM: Flexion Torque 300 Grad/s Intervention Mean 58.6 SD (18.0), p = 0.014 (Rekonstruiertes Bein)</li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Deviation, WBVT: Whole Body Vibration Training

Tabelle 14: CLUSTER 6 - Stabilisationstraining

<b>ID/Autor</b>	
ARUNDALE, A., et al., (2017), CN-01443679, Clinicaltrials.gov NCT01773317	SCHLIEMANN, B., et al., (2018), CN-01615735, ETHICS BOAR University Münster 2013-414-f-S
<b>Rehaverfahren</b>	
Vergleich Männer 1 bis 2 Jahre Outcome nach Reha oder Rekonstruktion mit oder ohne Stabilisations-training	Unterschiede im Rehabilitativem Outcome nach dynamischer Intraligamentärer Stabilisation oder Rekonstruktion
<b>Probanden</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>N1 = 20, Intervention SAP+PERT</li> <li>N2 = 20, Kontroll SAP</li> <li>Männer zwischen 23 und 31 Jahren</li> <li>isolierte unilaterale ACL Rekonstruktion</li> <li>Autograft = 27, Allograft = 13</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N1 = 30, Intervention DIS Alter Mean 28.2 SD (11.4)</li> <li>N2 = 30, Rekonstruktion Alter Mean 29.1 SD (12.0)</li> <li>keine Meniskus- und weitere Bandverletzungen keine vorherigen Knie Verletzungen</li> <li>four-stranded semitendinosus autograft</li> </ul>
<b>Interventionen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Beide Gruppen erhielten SAP (Strenght Agility + Prevention) Training</li> <li>2 Mal pro Woche Training über 5 Wochen: Kräftigung Quadrizeps, Präventionsübungen und Agilitätstraining</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beide Gruppen erhielten konventionelle Rehabilitation: 4 Tage Immobilisation, ohne Bandage, Volle Gewichtsbelastung nach zwei Wochen inklusive voller freier Rom 6 Wo-</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>N2: erhielt zusätzlich PERT Training, Übungen zur gezielten Verbesserung der Balance und dynamischen sportspezifischen Übungen zur Muskelstärkungen, zur Verminderung der VKB Risiko Faktoren (Pertubation Training als spezielles Training geeignet als Ersatz für eine OP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>chen Reha, Kräftigung der Beuger und Strecker in geschlossenen Ketten und Propriozeption,</li> <li>Laufen nach 6 Wochen und Wettkampfsport nach fünf Monaten</li> <li>N1: dynamische intraligamentäre Stabilisation Tage 15 bis 60 nach OP</li> <li>N2: Rehabilitation mit Rekonstruktion</li> </ul>
<b>Outcomes</b>	
PAIN: KOOS, IKDC  ROM: BIODEX  t0 und Follow Up 1 Jahr; 2 Jahre	PAIN: LYSHOLM Score und IKDC,  ROM: MOTION ANALYSIS sechs Kamera System  t0 am Tage der Vorstellung danach t1:6 Wochen; t2:6 Monate; t3:12 Monate
<b>Ergebnisse</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>IKDC Intervention Mean 3.9 SD (-0.8-8.5), Kontroll Mean -3.7 SD (-8.6-1.3), p = 0.03</li> <li>KOOS SCORE Intervention Mean 1.3 SD (-3.7-6.3), Kontroll Mean -1.8 SD (-7.1-3.5), p = 0.40</li> <li>ROM Quadrizeps Stärke Intervention Mean 98 SD (14), Kontroll Mean 103 SD (11), p = 0.31</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LYSHOLM Intervention Mean 89.8 SD (11.0), Kontroll Mean 89.9 SD (15.5), p &lt; 0.05</li> <li>IKDC Intervention Mean 85.7 SD (12.4), Kontroll Mean 84.8 SD (19.4), p &lt; 0.05</li> <li>ROM during Stance Intervention Mean 13.8 SD (4.9), Kontroll Mean 13.7 SD (3.9), p = 0.002</li> <li>ROM during Swing Intervention Mean 53.7 SD (9.2), Kontroll Mean 52.7 SD (6.2), p = 0.0005</li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Diviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome score, SAP: Strenght Agility Plyometric, PERT: Pertubation Training, DIS: Dynamic Intraligamentary Stabilization

Tabelle 15: CLUSTER 6 - Stabilisationstraining

<b>ID/Autor</b>
PANCHAL, P., et al., (2017), CN-01336632 REFERENCE No. IRB-SIOR/ Agenda 035/ 04
<b>Rehaverfahren</b>
Einfluss von Lumbaler Core Stabilität auf die Knie Outcomes nach VKB Rekonstruktion
<b>Probanden</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>N1 = 30 Rehabilitation Training;</li> <li>N2 = 30 Core Stabilitäts Training;</li> <li>im Alter zwischen 20 und 40 Jahre</li> <li>vorherige Knie Beschädigung oder Frakturen,</li> <li>neurologische Ausfälle wurden ausgeschlossen</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4-Fach gefaltete Hamstring Tendon Autograft</li> <li>• Zustand Meniskus wurde detailliert aufgeführt</li> </ul>
<b>Interventionen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beide Gruppen erhielten ein standard Rehabilitationsprotokoll: Quadripeds Exercise, Patellar Mobilisation Hüft Abduktion und Adduktion, 1 Satz mit 10 Wdh. gesteigert auf 3 Sätze mit 10 Wdh. zweimal täglich</li> <li>• N2: erhielt ein zusätzliches Core Stabilitäts Training in der 1. Woche 10 Wdh. mit 10 Sekunden halten gesteigert auf 3 Sätze mit 10 Wdh. und 10 Sekunden halten</li> </ul>
<b>Outcomes</b>
PAIN: VAS SKALA, MLSS
ROM: GONIOMETER
<b>Ergebnisse</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PAIN VAS Intervention Mean 0.94 SD (1.2), Kontroll Mean 1.99 SD (2.23), p = 0.001</li> <li>• MLSS Intervention Mean 71.5 SD (7.67), Kontroll Mean 62 SD (15.7), p = 0.038</li> <li>• ROM in Grad Intervention Mean 109.23 SD (19.06), Kontroll Mean 110.93 SD (17.02), p = 0.001</li> <li>• ROM total available Intervention Mean 66.4 SD (18.68), Kontroll Mean 75.06 SD (17.21), p = 0.067</li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Deviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome Score, MLSS: Modified Lysholm Scoring Scale

Tabelle 16: CLUSTER 7 - EMS Training

ID/Autor	
LABANCA, L., et al., (2018) CN-01665622	Christanell, F., et al., (2012) CN-00911962
Rehaverfahren	
Effekte Neuromuskulärer Elektrischer Stimulation auf frühe VKB Rekonstruktion Outcome Movement	Einfluss von Elektromyographische Biofeedback Therapie
Probanden	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 21 Intervention NMES+STSTS</li> <li>• N2 = 21 Intervention STSTS ONLY</li> <li>• N3 = 21 Kontroll NAT</li> <li>• Alter zwischen 18 und 40; Männliche Probanden</li> <li>• keine vorherige Knie Verletzung</li> <li>• Meniskusreparatur wurde gestattet</li> <li>• Tenger activity level 7-10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 8 Kontroll Standard Reha</li> <li>• N2 = 8 Intervention Standard Reha mit EMG</li> <li>• Alter zwischen 20 und 49,</li> <li>• Patellar Autograft per Endoskop</li> <li>• Schmerzfreiheit</li> <li>• Freie Range of Motion</li> <li>• Isolierte ACL Ruptur</li> <li>• Cartilage Damage &lt; level 2</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• knee flexion 90 Grad</li> <li>• ipsilateral bone-patellar tendon-bone graft</li> </ul>	
<b>Interventionen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assessments and data analyses were blinded,</li> <li>• the assessor was blinded</li> <li>• Alle Gruppen erhielten ein standardisiertes Reha Programm unter Aufsicht an 5 Tage pro Woche, es wurde eine Schiene für zwei Tage verordnet, die ersten zwei Wochen passive Mobilisation mit NMES auf der Quadrizeps Muskulatur, Woche 3-4 Übungen in Wasser, 2. Monat Kräftigung</li> <li>• N1: NMES + STSTS erhielt zusätzlich neuromuskuläres Training auf M. Vastus lateralis und M. Vastus medialis während STSTS Übungen absolviert wurden. 3x15 Wdh. mit unterschiedlichen exzentrischen und konzentrischen Phasen</li> <li>• N2: STSTS Sit-to-Stand-to-Sit</li> <li>• N3: Standardrehabilitation</li> <li>• insgesamt 15 - 60 Tage nach der OP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Randomized Controlled Trail</li> <li>• 6 Wochen EMG Gruppe</li> <li>• N2: erhielt zusätzlich zur Standardrehabilitation von der ersten bis zur sechsten Woche eine Biofeedback Therapy mit Übungen für den vastus medialis: maximus isometische Anspannung, one leg standing, mini squats; insgesamt 16 Einheiten mit einem Physiotherapeuten</li> <li>• N1: erhielt ein Standard Reha Protokoll mit Full Weight Bearing, Knie Scheine, mit 0 Grad Extension; 90 Grad Flexion, Elektrical Stimulation ohne Biofeedback, Aquatics; Propriozeptives Training</li> </ul>
<b>Outcomes</b>	
<p>ROM: Flexion und Extension Technogym Maschinen Inkl. Muscle Lab BOSCO-System;</p> <p>PAIN: numerical rating Scale 0-10; Sit to Stand movement,</p> <p>69 und 180 Tage nach OP</p>	<p>ROM: GONIOMETER</p> <p>PAIN: IKDC SCALE; VAS</p> <p>Follow Up: t1=6 Wochen</p>
<b>Ergebnisse</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROM Flexion N1 Mean 98.7 SD (14.1), N2 Mean 96.3 SD (16.9), Kontroll Mean 98.5 SD (13.2), <math>p = 0.001</math></li> <li>• PAIN 30 Degree at 60 Days after surgery <math>\chi^2 = 6.724</math> <math>df = 2</math> <math>p &lt; 0.05</math>.</li> <li>• Änderung in der Auswertung zu CHI Quadrat da, ANOVA keine Unterschiede erkannte meiste Antwort war 4 also moderater Schmerz <math>6,724</math> <math>df = 2</math>, <math>p &lt; 0.05</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PAIN VAS nach sechs Wochen fast 1</li> <li>• IKDC Intervention Mean 3.3 SD (0.7), Kontroll Mean 2.1 SD (0.6), <math>p = 0.72</math></li> <li>• ROM Extension Intervention Mean 1.1 SD (0.4), Kontroll Mean 2.4 SD (0.5), <math>p &lt; 0.002</math></li> <li>• ROM Flexion Defizit Intervention Mean 8.1 SD (8.7), Kontroll Mean 8.1 SD (8.7), <math>p = 0.05</math></li> <li>• HHD <math>p &lt; 0.01</math> besser in EMG BFB Gruppe</li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Diviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome Score, NMES: Neuromuscular electrical Stiumulation, STSTS: Sit-to-stand-to-sit Exercises, NAT: No additional Treatment, HHD: High-Heel-Distance

Tabelle 17: CLUSTER 7 - EMS Training

<b>ID/Autor</b>	
EDIZ, L., et al., (2012) CN-00882313	TARADAJ, J., et al., (2013) ID 3870113 Registry ACTRN12613001168741

Rehaverfahren	
Elektrostimulation und die Effekte auf Pain und Recovery	Effekte eines Neuromuskulären Elektrischen Stimulationstraining auf Quadrizeps Strength und Knie Funktion
Probanden	
<ul style="list-style-type: none"> <li>N1 = 13 Kontroll Exercise Reha</li> <li>N2 = 13 Intervention Exercise Reha+ EMS</li> <li>Alter zwischen 18 und 40 Jahren,</li> <li>Meniskus Schädigung mit notwendiger Operation war nicht inkludiert; auch Giving Ways mehr als 1 auf der Skala nicht</li> <li>four stranded Autogenius hamstring tendon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N1 = 40 Intervention Standard Reha+ NMES</li> <li>N2 = 40 Kontroll Standard Reha</li> <li>Männliche Probanden</li> <li>Alter zwischen 17 und 29</li> <li>Fußballspieler 2. und 3. Liga</li> <li>Exklusion von vorangegangenen Knochenbrüchen, Achilles Sehnen Verletzung</li> <li>Gracilis und semitendinosus Tendon</li> </ul>
Interventionen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Standardisiertes exercise Rehabilitationsprotokoll nach Shelbourne et al. vom 1 Tag bis 6 Wochen Post OP</li> <li>N1: sechs wöchiges Exercise Training postoperativ kein placebo Ems Training</li> <li>N2: sechs wöchiges Ems Training mit aufgeklebten PADS zusätzlich zum Exercise Training für sechs Wochen, 30 Einheiten Elektrostimulation</li> <li>EMS Training für Quadrizeps femoris, Tibialis anterior, Trizeps surae und Hamstrings</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beide Gruppen erhielten Exercise Trainingsprogramm 3 Mal pro Wochen über einen Monat, Agilitäts Drill, Jogging, Single Leg plyometrics, Cutting/Pivotin, High Intensität aerobic/anaerobic Sport spezifisches Training, Kräftigung der Beine und einbeinige Verticale Sprünge</li> <li>N1: erhielt zusätzlich Neuromuskuläres Stimulationstraining für rechtes und linkes Bein</li> <li>3 Mal in der Woche für einen Monat</li> <li>Gym Training wurde verboten</li> </ul>
Outcomes	
<p>ROM: GONIOMETER</p> <p>PAIN: IKDC, Tenger, VAS</p> <p>Follow Up nach 7. Tag, 14. Tag, in der 8. Woche, 12. Woche, nach 6 Monaten</p>	<p>ROM: GONIOMETER with Tailortape;</p> <p>PAIN: keine Pain Erhebung</p> <p>Follow Up: t1= 1 Monat, t2= 3 Monate</p>
Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> <li>PAIN VAS SCALE Intervention Mean 10.2 SD (6.8), Kontroll Mean 16.7 SD (6.1), p = 0.033</li> <li>ROM EXTENSION Intervention Mean 1.2 SD (2.0), Kontroll Mean 2.3 SD (3.1), p = 0.036</li> <li>IKDC Score Intervention Mean 77.19 SD (18.78), Kontroll Mean 65.56 SD (15.33), p = 0.036</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ROM Intervention Mean 3.32 SD (1.25), Kontroll Mean 3.33 SD (1.30), p &gt; 0.05</li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Diviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome Score, NMES: Neuromuscular electrical Stiumulation,

Tabelle 18: NO CLUSTER

ID/Autor	
MAYR, H. O., et al., (2014), PMID 23807029	DAMBROS, C., et al., (2012), PMID 24453619
Rehaverfahren	
Bandage oder keine Bandage nach VKB Rekonstruktion	EFFEKTE von Cryotherapy nach VKB Rekonstruktion
Probanden	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 32 Reha ohne Bandage;</li> <li>• N2 = 32 Reha mit Bandage;</li> <li>• Alter zwischen 18 und 65; BMI zwischen 18 und 30</li> <li>• vorangegangene Ligament Rekonstruktion wurde ausgeschlossen sowie Bandinstabilitäten, Meniskus Reparatur war generell gestattet jedoch nicht mehr als zwei Zentimeter Schaden</li> <li>• ipsilateral petellar tendon autograft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 10 Intervention physikalische Therapie inklusive ICE</li> <li>• N2 = 9 Kontroll Physikalische Therapie ohne ICE</li> <li>• Über 18 Jahre alt, männlich und weiblich, isolierte VKB Ruptur in Verbindung mit Teil- oder komplett Meniscectomy von einem oder beiden Menisken, keine Komplexe Knieverletzungen</li> <li>• Flexor Tendon</li> </ul>
Interventionen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prospektive randomized Study,</li> <li>• Wochen Reha nach der OP</li> <li>• Beide Gruppen erhielten dieselbe Reha, Drainage, Physiotherapie, Mobilisation und Unterarmkrücken</li> <li>• N2: am ersten Tag nach der OP wurde die Schiene angelegt mit Begrenzung Extension/Flexion 0-0-90 Grad. Nach vier Wochen wurde die Beweglichkeit angepasst.</li> <li>• N1: gleicher Mobility Plan mit selber Physiotherapie und Unterarm Krücken für Teilbelastung über 6 Wochen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Randomization von einer nicht involvierten Person; nummern in versiegelten Umschlägen;</li> <li>• Beide Gruppen erhielten das selbe Behandlungsprotokoll ab dem ersten Tag nach der Operation: Patellar Mobilisation, Isometrie Gluteus und Quadrizeps, Progressive Rom, Stärkung lateral Rotatoren und Hüft Abduktoren, Teilbelastung mit Krücken;</li> <li>• N1: Erhielt zusätzlich als Intervention Eis Verbände für 20 Minuten morgens und abends</li> </ul>
Outcomes	
PAIN: IKDC 2000; LYSHOLM Score, VAS	PAIN: VAS
ROM: ARTHROMETER	ROM: GONIOMETER
Follow Up nach einem und vier Jahren	Erhebung nach jeder Physiotherapeutischen Intervention
Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LYSHOLM Intervention Mean 87.4 SD (12.7), Kontroll Mean 92.2 SD (8.5), <math>p &gt; 0.05</math></li> <li>• ROM Intervention Mean 0.6 SD (2.4), Kontroll Mean 1.9 SD (3.4), <math>p &gt; 0.05</math></li> <li>• PAIN VAS Intervention Mean 1.9 SD (1.4), Kontroll Mean 1.0 SD (1.2), <math>p = 0.015</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROM Flexion Intervention Mean 83.7 SD (7.9), Kontroll Mean 70.8 SD (12.8)</li> <li>• ROM Extension Intervention Mean -7.8 SD (7.2), Kontroll Mean -5.8 SD (5.8)</li> <li>• PAIN Intervention Mean 1.19 SD (1.8), Kontroll Mean 2.5 SD (2.0)</li> </ul>

ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Diviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome Score,

Tabelle 19: NO CLUSTER

ID/Autor	
BALKI, C., et al. PMID 27784622, (2015)	VELAZQUES-SAORNIL, J., et al. CN-01372049, (2017) Clinicaltrail NCT02699411
Rehaverfahren	
Kinesio Taping in der Akut Phase nach VKB Rekonstruktion.	Effekte von "dry needling" des Quadrizeps Vastus Medialis in einem Rehabilitation Protokoll nach VKB Rekonstruktion
Probanden	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 15 Intervention Standard Reha+ Taping</li> <li>• N2 = 15 Kontroll Standard Reha</li> <li>• männliche Patienten; im Alter 18 - 39</li> <li>• Exklusion vorangegangene Verletzungen der unteren Extremitäten; keine Knie Verletzungen mit mehreren Bändern</li> <li>• 9 Probanden hatten Meniskus Reparatur</li> <li>• 10 Probanden hatten eine teilweise Entfernung des Meniskus</li> <li>• 1 Proband hatte eine komplette Entnahme des Meniskus.</li> <li>• unilaterale anatomische single Band Rekonstruktion using Hamstring tendon autograft auch tibialis posterior or peroneus longus allograft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N1 = 22 Intervention Standard Reha+TrP-DN</li> <li>• N2 = 22 Kontroll Standard Reha</li> <li>• 18 - 55 Jahre alt</li> <li>• bilaterale vorangegangene Diagnose, neuropathischer Schmerz, Frakturen, rheumatoide oder surgeries thrombosen; Beinlängen Differenz mehr als 0,5 cm</li> <li>• Meniskuszustand wurde erhoben, Knorpelzustand und andere Bandverletzungen wurden abgefragt</li> </ul>
Interventionen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beide Gruppen erhielten dieselbe Standard Reha: 5x wöchentlich die ersten 2 Wochen postoperativ, 2x wöchentlich für die nachfolgenden 4 Wochen</li> <li>• 6-Wochen Programm für Zuhause, 4 bis 6 Wochen Kompressionsstrümpfe, Orthesen und Krücken</li> <li>• In den ersten 4 Wochen wurden mit Teilgewichten die operativen Knie mobilisiert</li> <li>• Ab der 4 Wochen leichtes Gewichtstraining</li> <li>• N1: Vier Tage postoperativ zehn Tage KT Anwendung und anschließende Reha für drei Monate.</li> <li>• Ab dem vierten Tag postoperativ: 1 Test-Tape 24 Stunden, nach 5 Tagen ein Kinesiotape, nach 10 Tagen ein Kinesiotape</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beide Gruppen erhielten das selbe Standard Rehabilitationsprotokoll von einem Physiotherapeuten über 5 Wochen, manuelle passive Mobilisation, isometrische Kontraktion des Quadrizeps und Hamstrings, elektrische Stimulation, Kräftigungsübungen, Offene Bewegungsketten, Velocity Training und propriozeptive Übungen, Cycle Ergometer, Walking aerobic exercise</li> <li>• N1: Reha Protokoll plus Dry Needling trigger Punkte vastus medialis Kontrollgruppe nur Reha Protokoll</li> <li>• 7 bis 21 Tage nach OP</li> </ul>
Outcomes	
ROM: GONIOMETER und Rolimeter.	ROM: GONIOMETER
PAIN:LYSHOLM and Tenger	PAIN: VAS Skala; WOMAC physical Funktion
Follow Up: t1= 1Monat, t2= 3Monat	Follow Up: t1= 1 Woche, t2=5 Wochen

Ergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROM Flexion Intervention Mean 76.80 SD (14.85), Kontroll Mean 60.13 SD (8.79), p = 0.001</li> <li>• ROM Flexoren Stärke Intervention Mean 9.86 SD (2.32), Kontroll Mean 7.53 SD (2.16), p = 0.008</li> <li>• PAIN LYSHOLM Intervention Mean 85.13 SD (6.27), Kontroll Mean 86.93 SD (5.86), p = 0.424</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PAIN VAS Intervention Mean 1.81 SD (1.0), Kontroll Mean 2.29 SD (1.0), p &lt; 0.001</li> <li>• PAIN WOMAC Intervention Mean 14.08 SD (3.7), Kontroll Mean 18.60 SD (3.9), p = 0.001</li> <li>• ROM Intervention Mean 159.05 SD (3.0), Kontroll Mean 156.19 SD (5.9), p &lt; 0.001</li> </ul>

*ACL: Anterior Cruciate Ligament, VKB: Vorderes Kreuzabnd, N1: Interventionsgruppe, N2: Kontrollgruppe, ROM: Range Of Motion, OP: Operation, Wdh.: Wiederholungen, t1: erster Erhebungszeitpunkt, t2: zweiter Erhebungszeitpunkt, VAS: Visuelle Analog Skala, SD: Standard Deviation, IKDC: International Knee Documentation Committee, KOOS: Knee injury and osteoarthritis outcome Score, TrP-DN: Trigger Point Dry Needling, WOMAC: The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index*

## 5.4 Risk of Bias Tool

Die 24 eingeschlossenen Studien wurden mit diesem Tool hinsichtlich ihres Verzerrungsrisikos bewertet. Es wird erkennbar welche Intervention die Experimentalgruppen bekamen und mit welchen Kontrollgruppen verglichen wurden. Anhand der Darstellung in Abbildung 10 ist zu erkennen, dass die vorliegenden Studien in verschiedenen Bereichen potenzielle Risiken zur Verzerrung (im Folgenden Bias genannt) aufwiesen. Zwei Studien wiesen Bias im Randomisierungsprozess auf (Christanell et al, 2012; Garrison et al., 2014). Die Studie von Hohmann et al. (2011) wies Abweichungen in dem was in der Studie beabsichtigt wurde auf. Risiken für Bias wurde in der Datenerhebung bei einer Studie gefunden (Zdunski et al., 2017). Wie in der folgenden Abbildung zu erkennen ist, wird ein Bereich mit negativer Bewertung angemerkt, ist die komplette Studie als risikobehaftet zu werten. Alles in allem ist zu erkennen, dass die hier verwendeten Studien wenig rote Markierungen aufzeigten, daher ist generell von wenigen Risiken hinsichtlich verzerrt dargestellter Ergebnisse auszugehen.

# Ergebnisse

Study ID	Experimental	Comparator	Outcome	D1	D2	D3	D4	D5	Overall
25540486	Closed Kinetic Chain	Open Kinetic Chain	ROM, PAIN	+	!	+	+	+	!
2134759	Early Start Closed Kinetic Chain	Late Start Closed Kinetic Chain	ROM, Pain	+	!	+	!	+	!
1570692	presurgical physiotherapy+ postsurgical REHA	No Presurgical physiotherapy	ROM, Pain	+	!	+	-	+	-
812720	Supervised Physiotherapy	Home Baesd unsupervised Therapy	ROM, PAIN	+	-	+	!	+	-
1404639	Internet Intervention (Home Based Training)	Exercise Training (Physiotherapy Care)	PAIN	+	!	+	!	!	!
31301034	Blood Flow Restriction	Heavy Load Resistance Training	PAIN, ROM	+	+	+	+	+	+
2110116	High Intensity Exercise Training	Low Intensity Exercise Training	ROM, Pain	+	+	+	!	+	!
993232	High Intensity Resistance Training	Low Intensity Resistance Training	ROM, Pain	+	+	+	!	+	!
24901918	Rehabilitation Programm with excentric and kon	Standart Rehabilitation Training	ROM, Pain	+	+	+	!	!	!
2136171	Exercise Training with Hip Strenghtening	Exercise Training NO Hip Strenght	ROM, PAIN	-	!	+	+	+	-
31574964	LBV	non-LBV	PAIN, ROM	+	+	+	!	+	!
27735985	Whole Body Vibration + TRP	Traditional Rehabilitation	ROM, LYSHOLM	+	+	+	!	+	!
959981	Early hole Body Vibration	conventionell Rehabilitation	ROM, PAIN	+	+	+	+	+	+
1443679	SAP + PERT	SAP	ROM, PAIN	+	+	+	+	+	+
1615735	ACL Reconstruction with normal Rehabilitation	Dynamic Intraligamentäre Stabilisation	ROM, Pain	+	+	+	!	!	!
1336632	Rehabilitation Training	Core Training	ROM, Pain	+	+	+	+	+	+
1665622	Standartisierte REHA + Elektrische Stimulation	NO Intervention	ROM Strenght in Angle, Pain	+	+	+	+	+	+
911962	Standart Reha Protokoll mit elektrischer Stimula	Standart Reha Protokoll mit elektrischer	ROM ; Pain	-	+	+	!	+	-
882313	Exercise training with EMS six weeks	Exercise training with Placebo Ems six w	ROM, PAIN	+	+	+	!	+	!
3870113	Exercise Training + EMS	Exercise Training	ROM	+	+	+	+	+	+
1263159	Kinesiotaping	without Kinesio taping	ROM, Pain	+	+	+	!	!	!
1372049	REHA Protokoll + Dry Needling	REHA Protokoll	ROM, PAIN	+	+	+	!	+	!
1938084	Physical Therapy + BFRT	Physical Therapy + Placebo	NA						
1396912	Cydical Loading before Reconstruction	Pretensioning on tendonboard before at	NA						
1069517	NA	NA	NA						
964719	NA	NA	NA						

- + Low risk
- ! Some concerns
- High risk

- D1 Randomisation process
- D2 Deviations from the intended
- D3 Missing outcome data
- D4 Measurement of the outcome
- D5 Selection of the reported result

Abbildung 10: Ergebnisse Risk of Bias Tool

## 5.5 Statistische Auswertung

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die Ergebnisse der Meta-Analysen in den verschiedenen Clustern.

In Abbildung 11 ist die Auswertung der Studien nach Range of Motion (im Folgenden ROM genannt) aufgeführt. Es werden nacheinander die einzelnen Cluster kohärent dargestellt, welche jeweils aus den Studien gebildet wurden. Die Aussagekraft der einzelnen Subgruppen wurde durch zusätzliche Analysen der einzelnen Cluster hinsichtlich der Signifikanz verstärkt. Cluster 1 beschreibt die Studien welche mit offenen und geschlossenen Bewegungsketten intervenierten. Es ist erkennbar, dass die Studien mit  $p = 0.03$  signifikante Ergebnisse im Hinblick auf die ROM zeigten. Des Weiteren wird ein kleiner bis moderater negativer Effekt der Intervention mit SMD -0.4 abgebildet. Die Heterogenität liegt in diesem Cluster bei 0%. Im Cluster 2 werden die Studien mit Physiotherapiemodellen arbeiteten dargestellt. In diesem Bereich wurde mit einem  $p = 0.42$  keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interventions- und Kontrollgruppen nachgewiesen und der Effekt war klein mit SMD 0.2. Im Cluster 3 konnte keine Meta-Analyse durchgeführt werden, da hinsichtlich des Blutflussrestriktionstrainings nur eine Studie die ROM als Outcome besitzt. Das Krafttraining in Cluster 4 zeigte keine signifikanten Ergebnisse mit ( $p = 0.30$ , SMD 1.0). In diesem Bereich war die Heterogenität der untersuchten Populationen mit 95% sehr groß. Die Werte bei Bieler et al. (2014) streuten stark um den Mittelwert mit SMD (4.1), was für eine hohe Heterogenität sprach. Im Cluster 5 werden die Studien gezeigt, welche mit Vibrationstraining intervenierten. In diesem Bereich konnten signifikante Ergebnisse mit  $p < 0.01$  gezeigt werden. Der gefundene Effekt war mit 1.0 als durchaus groß und positiv einzuordnen. Die Heterogenität der untersuchten Population in diesem Bereich ist mit 74% als moderat einzuschätzen. Das Cluster 6 arbeitete mit Stabilisationstraining. In diesem ausgewerteten Bereich wurden keine signifikanten Ergebnisse gefunden mit  $p = 0.68$ . Der gefundene Effekt war mit -0.1 sehr klein und negativ. Im Cluster 7 wurde mit EMS Training interveniert und auch hier konnten keine signifikanten Ergebnisse im Hinblick auf die ROM gefunden werden ( $p = 0.54$ ). Der hier vorliegende Effekt war mit -0.2 klein und negativ. Auffällig ist, dass bei Christanell et al. (2012) ein großer Effekt vorlag mit SMD -1.3. In diesem Bereich war die Heterogenität der untersuchten Populationen mit 63% moderat. Generell ist zu erkennen, dass alle Studien in dieser Analyse sehr ähnlich gewichtet wurden. Die abschließende Betrachtung des Random Effekts Modell für alle Studien insgesamt ( $n = 813$ ) zeigte große statistische Heterogenitäten mit 85%. Hinsichtlich

der Range of Motion konnten keine signifikanten Zusammenhänge gefunden werden ( $p = 0.14$ , SMD 0.4).

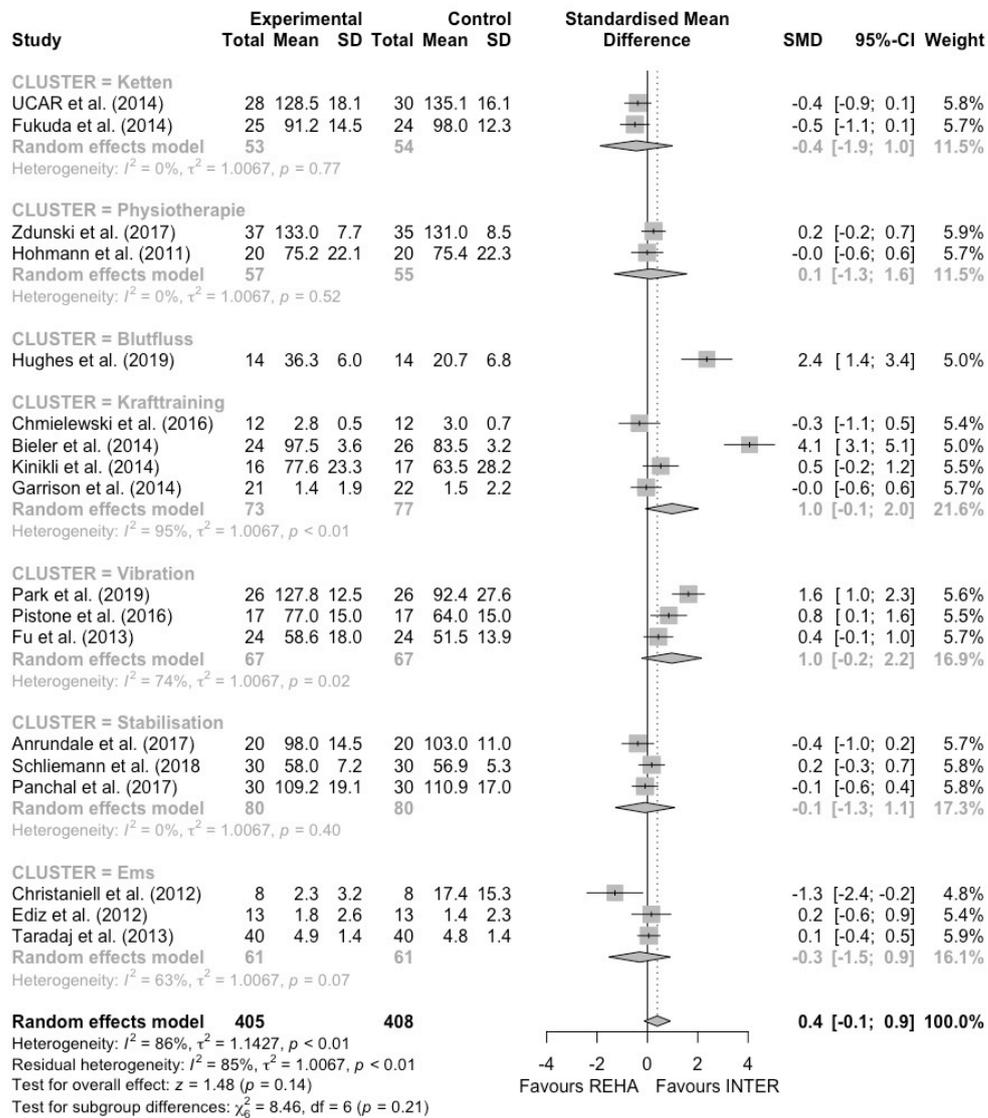


Abbildung 11: Ergebnisse Metaanalyse Outcome Rom

In Abbildung 12 ist die Auswertung der Studien hinsichtlich des Schmerzgeschehens (wird im Folgenden Pain genannt) kohärent zu entnehmen. Das Cluster 1 zeigte die Studien welche mit offenen und geschlossenen Bewegungsketten arbeiteten. Es war erkennbar, dass die Effekte dieser Interventionsart signifikant sind ( $p < 0.01$ ) und der Effekt mit SMD -0.8 groß und zugunster der Intervention war. Dabei konnte die Heterogenität der untersuchten Population mit 51% als substantiell beschrieben werden. Hinsichtlich des zweiten Clusters konnte mangels Datenlage keine Meta-Analyse durchgeführt werden. Die in Cluster 3 analysierten Studien rehabilitierten die Probanden mit unterschiedlichen Arten des Krafttrainings. Die Meta-Analyse

zeigte in diesem Bereich keine signifikanten Ergebnisse hinsichtlich des Schmerzgeschehens ( $p = 0.21$ ). Die ermittelte SMD lag bei 0.5. Die hier vorliegende Heterogenität lag bei 71%. Die Studien des vierten Clusters intervenierten mit Vibrationstraining. Die Heterogenität in diesem Cluster war mit 98% sehr hoch. Bei Park et al. (2019) lag die SMD bei -1.7 und bei Pistone et al. (2016) lag die SMD bei 2.2. Die Datenlagen in diesem Bereich zeigten keine signifikanten Effekte hinsichtlich der Pain Erhebung ( $p = 0.89$ , SMD 0.3). Die Studien im fünften Cluster arbeiteten mit Stabilisationstraining. Die Meta-Analyse zeigte hier keine signifikanten Ergebnisse hinsichtlich des Schmerzgeschehens ( $p = 0.19$ ). Hierbei war der Effekt jedoch stark im negativen Bereich mit SMD -1.0. Weiterhin war zu erkennen, dass die Heterogenität der untersuchten Daten mit 92% hoch war obwohl hier der Umfang der Population am größten war mit  $n = 160$ . Arundale et al. (2017) zeigte als einzige der drei eingeschlossenen Studien große Effekte der Intervention mit SMD -2.5. Das sechste Cluster zeigte die Studien mit EMS Training. Der in diesem Bereich gefundene Unterschied zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe war klein mit SMD 0.1 und die Ergebnisse waren nicht signifikant mit  $p = 0.75$ . Abschließend konnte das Random Effekts Model für alle Studien insgesamt mit dem Outcome Pain ( $n = 631$ ) berechnet werden. Die betrachteten Daten zeigten große Heterogenitäten mit 89% und das Ergebnis war nicht signifikant ( $p = 0.44$ ).

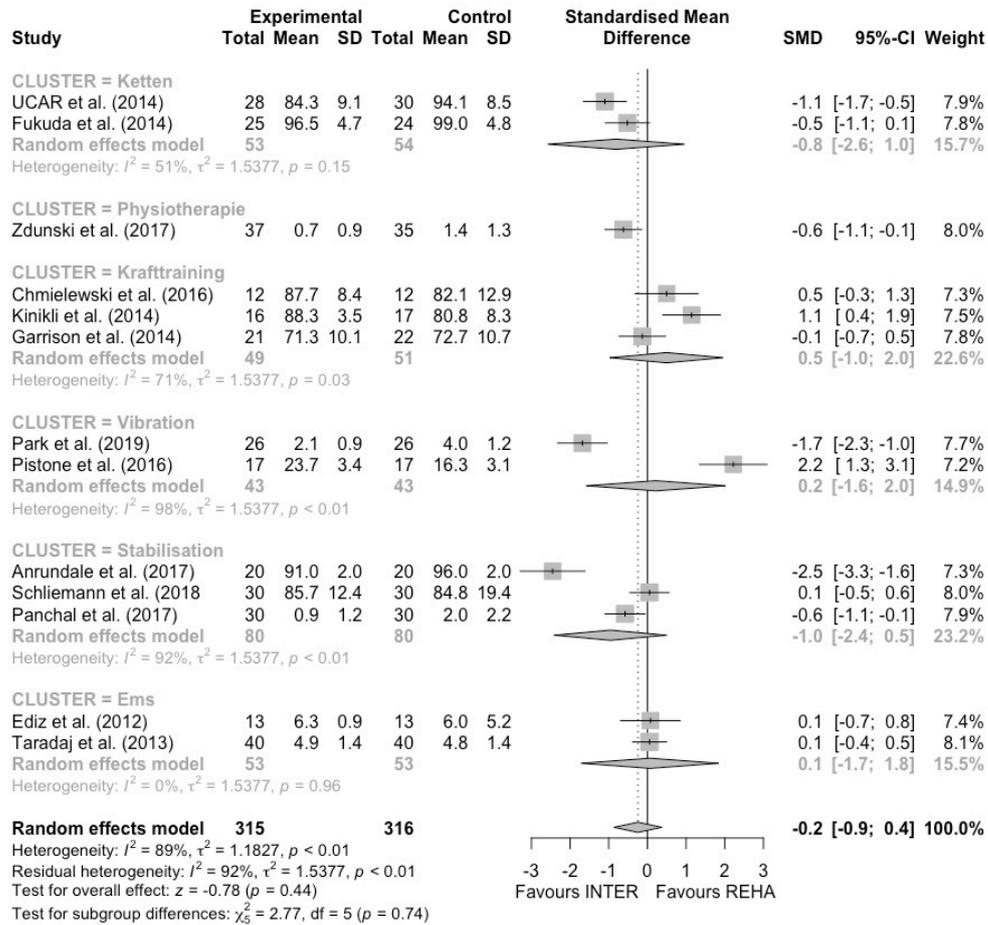


Abbildung 12: Ergebnisse Metaanalyse Outcome Pain

## 5.6 GRADE TOOL

Mit dem GRADE TOOL werden in Tabelle 20 alle gefundenen Ergebnisse dargestellt. Übergeordnet wurden die angewendeten Verfahren der Rehabilitation aufgeführt. Dabei wurde der Untersuchungszeitraum und das betrachtete Erhebungsinstrument für die jeweilige Schmerz- und Beweglichkeitsanalyse gezeigt. Weiterhin ist der Abbildung zu entnehmen, welche Interventionsgruppe mit welcher Kontrollgruppe verglichen wurde und welche Unterschiede (in SD) zwischen den Gruppen gemessen wurden. Dabei wurden alle Studien die zu der jeweiligen Interventionsart vorlagen zusammengefasst, indem angegeben wie viele RCT's eingebunden wurden und wie viele Probanden dabei gesamt betrachtet worden sind. Des Weiteren floss in diese Art der evaluierten Darstellung auch die im Vorfeld getätigte RISK OF BIAS Analyse mit ein. Aus allen ermittelten Ergebnissen wurde dann ein Grad an Evidenz für den berechneten

Effekt der jeweiligen Interventionsart ermittelt. Der Grad an Evidenz setzt sich aus den Ergebnissen der einzelnen Studien zusammen, berücksichtigt aber auch die Qualität der Durchführung welche im Risk of Bias Tool bewertet wurde.

Tabelle 20: Summary of Findings Tabelle

Summary of Findings:

**Alternative REHA verglichen mit REHA TRAINING bei VKB REKONSTRUKTION**

**Patient oder Population:** VKB REKONSTRUKTION

**Setting:** Postoperativ

**Intervention:** Alternative REHA

**Vergleich:** REHA TRAINING

Endpunkte	Risiko mit REHA TRAINING (Kontrollgruppe)	Risiko mit Alternative REHA (Interventionsgruppe)	Nr der Teilnehmer (Studien)	Certainty of the evidence (GRADE)	Kommentare
Offene/ Geschlossene Bewegungsketten					
(PAIN) bewertet mit: Lysholm/ KOOS / VAS nachbeobachtung: Mean 17 Monate	Der Mean (PAIN) reichte von <b>96.5-84.3</b> Punkten auf der Pain Skala.	Der Mean PAIN in der Interventionsgruppe war <b>0.8 SD weniger</b> (1.4 weniger bis 0.2 weniger)	107 (2 RCTs)	⊕○○○ Sehr niedrig <sup>a,b</sup>	SMD different Scales of Measurement
(ROM) bewertet mit: Dynamometer nachbeobachtung: Mean 17 Monate	Der Mean (ROM) reichte von <b>91.2-128.5</b> Grad auf dem Dynamometer.	Der Mean ROM in der Interventionsgruppe war <b>0.4 SD weniger</b> (0.8 weniger bis 0)	107 (2 RCTs)	⊕○○○ Sehr niedrig <sup>a,b</sup>	SMD different Scales of Measurement
Physiotherapie					
(ROM) bewertet mit: Goniometer / Dynamometer nachbeobachtung: Mean 12 Monate	Der Mean (ROM) reichte von <b>75.2-133</b> Grad auf dem Dynamometer.	Der Mean ROM in der Interventionsgruppe war <b>0.2 SD höher</b> (0.2 weniger bis 0.5 höher)	112 (2 RCTs)	⊕⊕⊕○ Moderat	SMD different Scales of Measurement
Krafttraining					

Summary of Findings:

**Alternative REHA verglichen mit REHA TRAINING bei VKB REKONSTRUKTION**

**Patient oder Population:** VKB REKONSTRUKTION

**Setting:** Postoperativ

**Intervention:** Alternative REHA

**Vergleich:** REHA TRAINING

Endpunkte	Risiko mit REHA TRAINING (Kontrollgruppe)	Risiko mit Alternative REHA (Interventionsgruppe)	Nº der Teilnehmer (Studien)	Certainty of the evidence (GRADE)	Kommentare
(ROM) bewertet mit: Arthrometer/ Extensor torque nachbeobachtung: Mean 20 Wochen	Der Mean (ROM) reichte von <b>97.5-1.4</b> Grad auf dem Arthrometer.	Der Mean ROM in der Interventionsgruppe war <b>1 SD höher</b> (0.9 weniger bis 3 höher)	150 (4 RCTs)	⊕⊕○○ Niedrig <sup>a</sup>	SMD different Scales of Measurement
Vibrationstraining					
(PAIN) bewertet mit: Lysholm / VAS nachbeobachtung: Mean 3 Monate	Der Mean (PAIN) war <b>23.7-2.1</b> Punkte auf der Pain Skala.	Der Mean PAIN in der Interventionsgruppe war <b>0.3 SD höher</b> (3.6 weniger bis 4.1 höher)	86 (2 RCTs)	⊕⊕○○ Niedrig <sup>a</sup>	SMD different Scales of Measurement
(ROM) bewertet mit: Goniometer /Arthrometer nachbeobachtung: 6 Monate	Der Mean (ROM) war <b>58.6-127.8</b> Grad auf dem Goniometer.	Der Mean ROM in der Interventionsgruppe war <b>1 SD höher</b> (0.3 höher bis 1.7 höher)	134 (3 RCTs)	⊕⊕○○ Niedrig <sup>a</sup>	SMD different Scales of Measurement
Stabilisationstraining					
(PAIN) bewertet mit: KOOS /Lysholm /VAS nachbeobachtung: Mean 24 Monate	Der Mean (PAIN) reichte von <b>0.9-91</b> Punkten auf der Pain Skala.	Der Mean PAIN in der Interventionsgruppe war <b>1 SD weniger</b> (0.2 weniger bis 0.5 höher)	160 (3 RCTs)	⊕⊕⊕○ Moderat	SMD different Scales of Measurement

Summary of Findings:

**Alternative REHA verglichen mit REHA TRAINING bei VKB REKONSTRUKTION**

**Patient oder Population:** VKB REKONSTRUKTION

**Setting:** Postoperativ

**Intervention:** Alternative REHA

**Vergleich:** REHA TRAINING

Endpunkte	Risiko mit REHA TRAINING (Kontrollgruppe)	Risiko mit Alternative REHA (Interventionsgruppe)	Nº der Teilnehmer (Studien)	Certainty of the evidence (GRADE)	Kommentare
(ROM) bewertet mit: BIODEX/ Dynamometer nachbeobachtung: Mean 24 Monate	Der Mean (ROM) reichte von <b>109.2-58</b> Grad auf dem Dynamometer.	Der Mean ROM in der Interventionsgruppe war <b>0.1 SD weniger</b> (0.4 weniger bis 0.2 höher)	160 (3 RCTs)	⊕⊕⊕○ Moderat	SMD different Scales of Measurement
EMS TRAINING					
(ROM) bewertet mit: Dynamometer nachbeobachtung: Mean 6 Wochen	Der Mean (ROM) reichte von <b>1.8 - 4.9</b> Grad auf dem Dynamometer.	Der Mean ROM in der Interventionsgruppe war <b>0.2 SD weniger</b> (1 weniger bis 0.5 höher)	122 (3 RCTs)	⊕○○○ Sehr niedrig <sup>a</sup>	SMD different Scales of Measurement

\*Das Risiko in der Interventionsgruppe basiert auf dem vermuteten Risiko in der Vergleichsgruppe und der relativen Wirkung der Intervention.

CI: confidence interval

**GRADE Working Group grades of evidence**

**High certainty:** we are very confident that the true effect lies close to that of the estimate of the effect.

**Moderate certainty:** we are moderately confident in the effect estimate: the true effect is likely to be close to the estimate of the effect, but there is a possibility that it is substantially different.

**Low certainty:** our confidence in the effect estimate is limited: the true effect may be substantially different from the estimate of the effect.

**Very low certainty:** we have very little confidence in the effect estimate: the true effect is likely to be substantially different from the estimate of effect.

**Explanations**

- a. RISK OF BIAS TOOL some concerns
- b. Trials or one Trial is not listed in an Register (trials.gov)

Im Folgenden wird abschließend diskutiert welche der Forschungshypothesen anhand der Ergebnislage angenommen wird oder ob ein der Nullhypothesen angenommen wird.

## 6 Diskussion

### 6.1 Ergebnisdiskussion

Die Auswirkungen von Rehabilitationsmaßnahmen nach dem Ersatz des vorderen Kreuzbandes sind unterschiedlich. Für das Cluster der geschlossenen und offenen Bewegungsketten ergab die Random Effekts Meta-Analyse einen signifikanten Unterschied im Schmerzgeschehen zwischen den Kontroll- und Interventionsgruppen (Mittelwert Pain Score 0.8 SD niedriger in der Interventionsgruppe, p-Wert < 0.01) (Ucar et al., 2014; Fukuda et al., 2013). Die Analyse der Beweglichkeit im selben Cluster ergab eine bessere Beweglichkeit in der Interventionsgruppe (Mittelwert ROM 0.4 SD höher, p-Wert = 0.03). Der gefundene Unterschied im Effekt mit -0.8 SD für die Analyse des Schmerzgeschehens ist als groß einzuordnen, wo hingegen der Unterschied im Effekt auf die Beweglichkeit mit -0.4 SD als mittlerer Effekt eingeordnet wird. Die Heterogenität der untersuchten Population mit 51 % ist als moderat einzuordnen (Pursell et al., 2021). Die betrachteten Studien in diesem Cluster weisen einige Unterschiede auf, da wesentliche Einflussfaktoren unterschiedlich gehandhabt wurden. Bei Ucar et al. (2014) wurden Teilnehmer mit teilweise beseitigten Meniskusschäden in der untersuchten Population inkludiert. In der Vergleichsstudie Fukuda et al. (2013) wurden die Teilnehmer mit Meniskus Reparaturen gänzlich ausgeschlossen. Die Beschaffenheit des Meniskus hat Einfluss auf die Stabilität und kann somit auch die Beweglichkeit beeinflussen. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass der unterschiedliche Umgang mit dem Zustand des Meniskus in den Studien hier einen verzerrenden Einfluss im Hinblick auf die Betrachtung der Beweglichkeit aufweisen könnte. Bei Ucar et al. (2014) wurde 7-15 Tage nach der OP mit der Therapie begonnen. In der Vergleichsstudie von Fukuda et al. (2013) wurde 4 Wochen postoperativ mit der Therapie begonnen. Im Hinblick auf den Wundheilungsprozess und die auftretenden Bewegungseinschränkungen bei zu langer postoperativer Ruhephase kann sich hier ein weiterer Einfluss auf die Beweglichkeit abzeichnen (Fukuda et al., 2013). Bei Ucar et al. (2014) wurde das Belastungsgefüge inklusive Intensität und den angewandten Übungen klar beschrieben, in der Vergleichsstudie wurde nur von offenen und geschlossenen Übungen gesprochen aber nicht, welche Übungen im Detail durchgeführt wurden. Ucar et al. (2014) beschreiben in den Untersuchungsergebnissen, dass die geschlossenen Bewegungsketten nach drei und sechs Monaten eine signifikante Verbesserung der VAS Skala im Hinblick auf das Schmerzgeschehen ergeben haben. Die Beweglichkeit hat sich in den geschlossenen Bewegungsketten Gruppe nach drei und sechs Monaten ebenfalls signifikant verbessert. Der Lysholm Score hat sich in den Ergebnissen bei Fukuda et al. (2013) mit

einem p-Wert = 0.004 in der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant verbessert. Auch bei Ucar et al. wird von einer signifikanten Verbesserung in der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe mit einem p-Wert = 0.05 nach sechs Monaten berichtet. Die Populationen unterscheiden sich hinsichtlich des Alters: Ucar et al. (2014) untersuchen im Alter zwischen 17-39 Jahren im Gegensatz zu Fukuda et al. (2013) untersuchen im Alter zwischen 16–50 Jahren. Insgesamt wurde der Grad der Evidenz in diesem Cluster mit dem GRADE Tool als „Sehr niedrig“ eingeordnet. Das bedeutet, dass aufgrund des geringen Vertrauens in die Ergebnisse, der wirkliche Effekt von dem gefundenen Effekt abweichen kann.

Im Cluster des physiotherapeutischen Trainings zeigten die Ergebnisse der Random Effekt Meta-Analyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interventions- und Kontrollgruppen nicht signifikant sind (Mittelwert ROM 0.1 SD höher in der Interventionsgruppe, p-Wert = 0.42) (Hohmann et al., 2011; Zdunski et al., 2017). Trotz einer statistischen Heterogenität von 0 %, gab es klinische und methodische Heterogenitäten zwischen den Studien. Hohmann et al. vergleichen in der Studie physiotherapeutische Anwendungen im Sinne eines Home Based Training (Interventionsgruppe) mit einem standardisierten Rehabilitationsprotokoll (Kontrollgruppe). Die Interventionsgruppe von Zdunski et al. (2017) erhält eine preoperative Rehabilitation. Die Kontrollgruppe erhält bei Zdunski et al. (2017) ausschließlich eine standardisierte Rehabilitation nach der Operation, wie auch die Interventionsgruppe. Diese werden mit Home Based Training bei Hohmann et al. (2011) verglichen. Die Gewichtung der Analyse liegt mit 67 % eindeutig zu Gunsten bei Zdunski et al. (2017). Das liegt an der unterschiedlichen Größe der Populationen, da Hohmann et al. mit n = 40 Probanden arbeiten und Zdunski mit n = 72 Teilnehmern (Hohmann et al., 2011; Zdunski et al., 2017). Weiterhin sind die Probanden bei Zdunski et al. (2017) maximal 60 Jahre alt, also im Vergleich zu Hohmann et al. sind sie etwa 25 Jahre älter. In beiden Studien wurden unterschiedliche Transplantate verwendet, was einen Einfluss auf die Ergebnisse darstellt. Bei Zdunski et al. (2017) wurde eine semitendinosus oder gracilis Sehne als Transplantat verwendet und bei Hohmann et al. wurde eine Bone patellar tendon bone Sehne mit Knochenankern benutzt. Weiterhin ist anzumerken, dass die Untersuchungszeitpunkte variieren. Zdunski et al. (2017) messen t2 nach 12 Wochen und Hohmann et al. (2011) messen t2 nach 12 Monaten. Ein weiterer Punkt ist, dass bei Zdunski et al. (2017) die Meniskusschäden inkludiert werden und bei Hohmann et al. wurden weitere Schäden am Bandapparat oder den Meniskus betreffend generell ausgeschlossen. Generell ist in diesem Cluster anzumerken, dass die Physiotherapeuten selber festlegen wie im Einzelnen therapiert

wird und daher wird hier das Belastungsgefüge nicht näher erläutert (Hohmann et al., 2011; Zdunski et al., 2017). Der mit dem GRADE Tool ermittelte Grad an Evidenz beläuft sich auf „moderat“. Damit besteht ein moderates Vertrauen, dass der gefundene Effekt nahe dem wirklichen Effekt liegt. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, dass der wirkliche Effekt vom gefundenen Effekt abweicht.

Im Cluster Blutfluss Restriktion werden in beiden Studien physikalische Therapie Anwendungen in den Kontrollgruppen durchgeführt (Hughes et al., 2019; Erickson et al., 2018). Die untersuchten Gruppen sind in diesem Cluster ebenfalls unterschiedlich groß, da Hughes et al. (2019) mit  $n = 28$  arbeiten und Erickson et al. (2018) mit  $n = 60$  arbeiten. Bei Erickson et al. wurden Meniskusschäden und vorangegangene Knieverletzungen ausgeschlossen. Bei der Studie von Hughes et al. (2019) wurde auf Ausschlusskriterien nicht weiter eingegangen. Generell ist zu diesem Cluster zu sagen, dass die statistischen Angaben in den Studien für eine Meta-Analyse unzureichend sind und daher nur die Range of Motion bei Hughes et al. (2019) betrachtet wird. Hierbei ist in Abbildung 11 zu sehen, dass ein signifikanter Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Beweglichkeit nachgewiesen werden konnte. In Abbildung 12 ist zu erkennen, dass das Schmerzgeschehen in den Ergebnissen der Studie von Hughes et al. mit  $p > 0.05$  nicht signifikant verbessert werden konnte. Es ist hier anzumerken, dass der Messzeitpunkt für t2 nach 8 Wochen angesetzt wurde (Hughes et al., 2019). Weiterhin wurde bei Erickson et al. (2018) keine Erhebung für das Schmerzgeschehen durchgeführt. In diesem Punkt wäre ein längerer Untersuchungszeitraum interessant gewesen. Im Bereich der Blutfluss Restriktion ist markant, dass es weniger Studien im Vergleich zu anderen Therapiebereichen gibt. Diese Art des Trainings ist sehr wenig erforscht und könnte im medizinischen Bereich kontrovers diskutiert werden, da es den Blutfluss venös limitiert und eventuelle Risiken für die Metaboliten und lokale Hypoxien gibt.

Im Cluster des Krafttrainings wurden vier Studien miteinander verglichen (Bieler et al., 2014; Garrison et al., 2014; Kinikli et al., 2014; Chmielewski et al., 2016). Die Random Effekts Meta-Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede im Schmerzgeschehen zwischen Interventions- und Kontrollgruppe (Mittelwert Pain Score 0.5 SD höher in der Interventionsgruppe, p-Wert = 0.21). Die Metaanalyse zeigt eine große statistische Heterogenität mit 71 %. Weiterhin ergab die Random Effekt Meta-Analyse keinen signifikanten Unterschied in der Range of Motion

zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe (Mittelwert ROM 1.0 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.30). Hier zeigte die Meta-Analyse eine große statistische Heterogenität mit 95%. Die ROM wurde in den vier Studien allerdings mit ähnlichen Messinstrumenten erhoben. Chmielewski et al. (2016) messen mit einem Biodex Dynamometer, Bieler et al. messen mit einem Arthrometer, Kinikli et al. (2014) messen ebenfalls mit einem Dynamometer und Garrison et al. (2014) messen die ROM mit einem Goniometer. Bieler et al. arbeiten mit hohen (Intervention, n=24) und niedrigen (Kontrollgruppe, n=26) Intensitäten in einer Knieextensionsübung. Das betrachtete Alter liegt zwischen 14 und 40 Jahren. Die Trainingsintensitäten wurden mit 20 Wiederholungen in der Gruppe mit höherer Intensität festgelegt und die Gruppe mit niedriger Intensität wurde mit 30 Wiederholungen und niedrigem Gewicht belastet. Die untersuchte Population bei Chmielewski et al. ist mit n = 24 kleiner als bei Bieler et al. (2014). Chmielewski et al. (2016) setzen in ihrer Population eine sportliche Aktivität von 50 Stunden pro Jahr in Level 1 und Level 2 Aktivitäten voraus. Daher ist die Intervention von Chmielewski et al. (2016) mit Laufen, Springen und Agilitätsübungen und weiterem Krafttraining mit jeweils 3 Sätzen und 10 Wiederholungen an der Beinpresse und Extensionsmaschine, weitaus intensiver gestaltet. Chmielewski et al. (2016) begannen im Durchschnitt 14,3 Wochen nach der Operation. Hingegen bei Bieler et al. (2014) war der t1 Messzeitpunkt schon nach Sieben Wochen angesetzt. In der Untersuchung von Garrison et al. wurden als Krafttraining nur kräftigende Übungen der Hüfte angewandt. In der Studie von Kinikli et al. (2014) wurden progressive exzentrische und konzentrische Übungen an Geräten angewendet. Dazu wurde zu Beginn ein 1-RM Test mit 5 % Belastung mit einer Steigerung zu 50 % 1-RM über 12 Wochen trainiert. Hinsichtlich der verwendeten Transplantate wird bei Chmielewski et al. (2016) von acht Mal Allograft und 16 Mal Autograft in der Population berichtet. In der Studie von Bieler et al. sind generell Bone – Patellar Tendon- Bone und Hamstring Tendon zu finden. Autogenus semitendinosus und Gracilis Tendon sind als Transplantattypen bei Kinikli et al. (2014) zu finden. Garrison et al. beschreiben, dass 38 Patellar Tendon, drei Hamstring und drei Allograft Transplantate in der Population zu finden sind. Auch in diesem Cluster werden die Schäden am Meniskus betrachtet. Bei Chmielewski et al. (2016) werden Meniskusschäden über Grad 1 ausgeschlossen. Bei Bieler et al. (2014) und Garrison et al. (2014) werden Meniskusreparaturen ausgeschlossen. Kinikli et al. (2014) schließen Meniskusverletzungen gänzlich aus. Weiterhin könnte hier ein zu betrachtender Punkt der unterschiedliche Startpunkt nach der Operation sein. Es wird mit 12 und 14 Wochen nach der Operation begonnen. Die Teilbelastungen nach der Operation sind nicht in allen Studien gleich gehandhabt. Die individuellen Ergebnisse bei Bieler et al. und Garrison et al. zeigen, dass Schmerzskaalen signifikant verbessert worden sind (p =

0.001). Allerdings wird berichtet, dass die volle Range of Motion nicht erreicht wird und es keine signifikante Veränderung zwischen den Gruppen in Extension und Flexion gab. Die Metaanalyse zeigte, dass die Unterschiede des Krafttrainings in den hier betrachteten Studien eine große statistische Heterogenität aufwiesen und die klinische Aussagekraft daher hemmen könnten. Weiterhin ist am Forrest Plot in Abbildung 11 zu erkennen, dass es sich bei der Studie von Bieler et al. (2014) um einen statistischen Ausreißer handelt. In der Untersuchung von Bieler et al. (2014) werden nur junge Leistungssportler untersucht. Daher könnte die Trainingserfahrung der Probanden als ein weiterer Einflussfaktor auf die Ergebnisse gesehen werden. Weiterhin kann der Zeitpunkt des Interventionsbeginns nach dem Eingriff eine weitere Rolle spielen und gegebenenfalls die Heterogenität in der Meta-Analyse erhöhen. Am Beispiel von Garisson et al. (2014), welche nur die Kräftigung der Hüfte fokussierten, ist zu sehen, dass das Belastungsgefüge in allen Studien hier unterschiedlich definiert wurde. Die verschiedenen angewendeten Intensitäten können weiteren Einfluss auf die Heterogenität ausüben. Weiterhin werden eher junge Probanden mit maximal 40 Jahren untersucht womit die Aussagekraft für ältere Patienten nicht gegeben ist. Teilweise wird mit Intensitätssteuerung gearbeitet und diese mit konzentrischer und exzentrischer Belastung verglichen, was sich rein methodisch schwierig gestaltet. Auch dass die Transplantatwahl zwar angegeben wurde aber keinen Einfluss auf die Trainingsintervention übte, ist als kritisch zu sehen. Der mit dem GRADE TOOL ermittelte Evidenzgrad für dieses Cluster ist als "niedrig" einzuschätzen. Damit ist das Vertrauen in die gefundenen Ergebnisse eingeschränkt und der wirkliche Effekt könnte sich substantiell von diesem Effekt unterscheiden.

Die Random Effekt Meta-Analyse für das Cluster zum Vibrationstraining zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Interventions- und Kontrollgruppen hinsichtlich der Beweglichkeit (Mittelwert ROM 1.0 SD höher in der Interventionsgruppe, p-Wert < 0.01) (Fu et al., 2013; Pistone et al., 2016; Park et al., 2019). Der Effekt ist als signifikant einzuschätzen. Die Heterogenität ist mit 74 % substantiell. Die Random Effekt Meta-Analyse zeigte, dass die Unterschiede im Schmerzgeschehen zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe der Vibrationsstudien nicht signifikant waren (Mittelwert Pain Score 0.2 SD höher in der Interventionsgruppe, p-Wert = 0.89). Die statistische Heterogenität war mit 98 % groß. Pistone et al. und Fu et al. inkludieren Meniskusschäden, was einen Einfluss auf Beweglichkeit ergeben kann. Die in diesem Cluster verglichenen drei Studien therapierten unterschiedlich: In zwei Studien (Fu et al., 2013; Pistone et al., 2016) wird mit Ganzkörpervibrationstraining interveniert, in der weiteren

Studie wurde mit lokaler Vibroakustik gearbeitet (Park et al., 2019). In diesem Fall ist die Vergleichbarkeit eher fragwürdig. In zwei Studien dieses Clusters werden die Meniskusschäden inkludiert, im Vergleich zu den anderen Clustern werden diese dort ausgeschlossen (Fu et al., 2013; Pistone et al., 2016). Bei Park et al. (2019) wurde nicht näher auf den Zustand der Menisken zur Baseline eingegangen. Die Interventionsgruppe bei Park et al. (2019) erfuhr eine standardisierte Rehabilitation inklusive lokaler Vibroakustik, wobei in der Kontrollgruppe die lokale Vibroakustik ausgelassen wurde. Unterschiedlich ist, dass bei Park et al. (2019) sieben Tage nach der Op begonnen wird. Bei Pistone et al. (2016) wurde vier Wochen nach der Rehabilitation begonnen und bei Fu et al. (2013) ebenso nach vier Wochen postoperativ. Bei Fu et al. (2013) wurden die Teilnehmer nur inkludiert, wenn sie mindestens sechs Monate nicht trainiert haben. Des Weiteren wurden die Teilnehmer in den Wochen 4 - 6 mit Kompressionsstrümpfen, Orthesen und Unterarmgehstützen versorgt. Bei Pistone et al. (2016) wurde gleiches berichtet. Weiterhin ist der zweite Erhebungszeitpunkt bei Fu et al. (2013) mit  $t_2 = 6$  Monaten, bei Park et al. (2019) mit  $t_2 = 8$  Wochen und Pistone et al. (2016) mit  $t_2 = 3$  Monaten unterschiedlich. Es werden in diesem Cluster auch eher junge Patienten untersucht, da sie durchschnittlich 29 Jahre alt sind. Interessant ist, dass in der Studie von Park et al. (2019) nicht näher auf die Transplantatart eingegangen wird. Die teilweise hohe Heterogenität könnte mitunter darin begründet liegen, dass die Interventionen teilweise sieben Tage nach OP begannen und diese im Vergleich zu vier Wochen nach OP stehen. Generell ist zu sagen, dass die untersuchten Gruppen von Fu et al. und Park et al. signifikante Unterschiede zu Gunsten der Interventionsgruppe für die ROM ( $p = 0.002$ ) und das Schmerzgeschehen ( $p < 0.001$ ) zeigen. Es ist zu bemerken, dass Park et al. (2019) sieben Tage nach Op mit lokaler Vibroakustik beginnen und mit einer bipolarer VAS Scala die Schmerzen erheben. Hingegen Pistone et al. (2016) einen Monat nach OP mit Ganzkörpervibration beginnen und zudem mit einem Lysholm Score erheben. Das zeigt wie unterschiedlich die gefundenen Studien arbeiten und daher ist die Vergleichbarkeit eingeschränkt. Der mit dem GRADE TOOL ermittelte Evidenzgrad für dieses Cluster ist als "niedrig" einzuschätzen. Damit ist das Vertrauen in die gefundenen Ergebnisse eingeschränkt und die wirklichen Effekte könnten sich substantziell von diesen Effekten unterscheiden.

Im Cluster Stabilitätstraining wurde mit unterschiedlichen Arten des Stabilitätstrainings gearbeitet (Arundale et al., 2017; Panchal et al., 2017; Schliemann et al., 2018). Die Random Effekt Meta-Analyse zeigt, dass im Hinblick auf die Beweglichkeit keine signifikanten Unterschiede

zwischen Kontroll- und Interventionsgruppen gefunden wurden (Mittelwert ROM -0.1 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.68). Der gefundene Effekt ist als eher klein und negativ einzuordnen. Die Random Effekt Meta-Analyse für die Schmerzwahrnehmung zeigt auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kontroll- und Interventionsgruppen (Mittelwert Pain Score -1.0 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.19). Die statistische Heterogenität lag bei 92 %. In diesem Cluster werden ebenfalls nur junge Patienten im Alter zwischen 13 und 40 Jahren betrachtet. Arundale et al. arbeiten mit Strenght Agility und Pertubation Training. Wöhingegen Schliemann et al. mit dynamischen intraligamentären Stabilisations Übungen arbeiten. Panchal et al. arbeiten mit lumbaler Core Stabilität. Die untersuchten Populationen sind unterschiedlich. Arundale et al. betrachten nur Männer (n = 40) im Alter zwischen 23 und 31 Jahren. Schliemann et al. (2018) arbeiten in der Interventionsgruppen mit einem n = 30 im durchschnittlichen Alter von 28.2 Jahren (11.4 SD) und in der Kontrollgruppe mit einem n = 30 im Alter von 29.1 Jahren (12.0 SD). Es wird jeweils mit Männern und Frauen gearbeitet. Auch Panchal et al. (2017) arbeiten mit einem n = 60 im Alter zwischen 20 und 40 Jahren und inkludieren Männer und Frauen. Die verwendeten Transplantate sind ebenfalls unterschiedlich. Arundale et al. beschreiben 27 Autograft und 13 Allograft in der Population, gehen nicht näher auf die Zustände der Menisken ein. Schliemann et al. (2018) nennen single bundle semitendinosus Autograft und keine Meniskus- oder weiteren Bandverletzungen. Panchal et al. arbeiten mit 4-fach gefaltetem Hamstring Tendon Autografts aber gehen ebenfalls nicht näher auf die Zustände der Menisken bei den Probanden ein. Schliemann et al. (2018) intervenieren nach zwei Wochen mit voller Gewichtsbelastung inklusive voller Beweglichkeit. Über einen Zeitraum von sechs Wochen wurde in geschlossenen Ketten die beugende und streckende Muskulatur gekräftigt. Arundale et al. (2017) intervenieren über einen Zeitraum von fünf Wochen mit der Kräftigung der gleichen Muskulatur. Panchal et al. (2017) intervenierten über einen Zeitraum von vier Wochen mit Kräftigung derselben Muskulatur. Obwohl die Studien unterschiedlich arbeiten und sich verschiedener Interventionen bedienen sind alle Studien registriert, was einen Qualitätsanspruch mit sich bringt. Generell ist zu sagen, dass die Ergebnisse der individuellen Studien signifikante Verbesserung in der Beweglichkeit zeigen. Als generelle Unterschiede sind anzumerken, dass Panchal et al. nur mit lumbaler Core Stabilität intervenieren und Schliemann et al. (2018) mit einem Motion Axis Sensor als Erhebungsinstrument für die ROM arbeiten. Der mit dem GRADE Tool ermittelte Grad an Evidenz beläuft sich auf „moderat“. Damit besteht ein moderates Vertrauen, dass der gefundene Effekt nahe dem wirklichen Effekt liegt. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, dass der wirkliche Effekt vom gefundenen Effekt abweicht.

Die vorliegende statistische Analyse dient unter anderem der Beurteilung der Studien hinsichtlich der statistischen Heterogenität, da die einzelnen Cluster aus wenigen Studien gebildet wurden und damit eine geringe Probandenstichprobe einhergeht. Anhand des Forrest-Plot ist erkennbar welche Studien grobe Ausreißer in den Ergebnissen liefern und es kann im Folgenden kritisch betrachtet werden, was dazu geführt haben könnte: Die Random Effekt Meta-Analyse für das Ems-Trainings Cluster ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe für die Beweglichkeit (Mittelwert ROM 0.2 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.54). Die statistische Heterogenität ist mit 63 % moderat. Die Signifikanz des Unterschieds zwischen Interventions- und Kontrollgruppe war auch in der Meta-Analyse für die Schmerzwahrnehmung nicht gegeben (Mittelwert Pain Score 0.1 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.75). Zudem war der gefundene Unterschied mit 0.1 SD sehr klein. Da sich gerade im EMS Cluster (Christaniell et al., 2012; Ediz et al., 2012; Taradaj et al., 2013; Labanca et al., 2018) ein großer, signifikanter Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe bei Christanell et al. (2012) erkennen lässt, wird diese Studie zu Beginn näher betrachtet: Es wird nicht ausschließlich mit EMS Training gearbeitet, sondern beide Gruppen erfahren ein Standard REHA Protokoll und die Interventionsgruppe erhält ein zusätzliches EMS Biofeedback Training über sechs Wochen als zusätzliche Belastung. Zusätzlich ist die Probandengruppe mit  $n = 16$  kleiner. Die anderen Interventionsstudien von Ediz et al. (2012) arbeiten mit einer Stichprobe von  $n = 26$  und Taradaj et al. beobachten  $n = 80$  Probanden. Die Unterschiede in den Datenerhebungen von Christanell et al. (2021) könnten trotz der gleichen Erhebungsmethoden zu statistischer Heterogenität beitragen. Es wird in allen Studien mit einem Goniometer gemessen. Bei Christanell et al. (2021) jedoch in absoluten Werten und damit die Winkelveränderung der ROM in mm und nicht in Grad. Aus diesem Grund wurde die SMD Berechnung in der Meta-Analyse angewendet, trotzdem sollte in zukünftigen Studien auf einheitliche Werte getestet werden. Weiterhin ist zu bemerken, dass Taradaj et al. (2013) nur mit Fußballspielern arbeiten. Bei Ediz et al. (2012) wird klar beschrieben, dass wenn eine Meniskusschädigung eine Operation notwendig machte, diese auch ausgeschlossen wurde. Bei Christaniell et al. (2012) und Taradaj et al. (2013) wird auf den Zustand der Menisken nicht näher eingegangen. Im Hinblick auf die verwendeten Transplantate geben Ediz et al. (2012) an, dass vierfach gefaltete Autogenius Hamstring Tendons verwendet wurden. Labanca et al. (2018) geben an, dass die Population über Bone-Patellar Tendon-Bone Transplantate versorgt wurden. Christaniell et al. (2012) beschreiben, dass ihre Population über Patellar Autografts verfügten. Die Studie von Christanell erfährt in der Berechnung eine Gewichtung von 24.3 % als Anteil der Analyse, weil die Stichprobe sehr klein ist mit  $n = 16$  Probanden. Die Auswirkungen auf

die Aussagekraft könnte mitunter daherkommen, dass das lokale EMS Training in geschlossenen Ketten bei Christaniell et al. mit dem EMS Training für einzelne Muskelpartien bei Ediz et al. (2012) verglichen wurde. Auch hier ist das Alter der Probanden eher jung, mit 18-49 Jahren. Weiterhin muss davon ausgegangen werden, dass die Dauer der Beobachtung eine zentrale Rolle spielt, da die Zeiträume von 6 Monaten bei Ediz et al. (2012) mit den sechs Wochen bei Christaniell et al. (2012) verglichen werden. Die Ergebnisse der individuellen Studien zeigen langfristige Effekte für die Beweglichkeit. Die Ergebnisse sind für die Extensoren mit einem ( $p < 0.002$ ) waren Bei Christaniell et al. in der Interventionsgruppe signifikant besser. Zusätzlich unterscheidet sich die Interventionsgruppe signifikant von der Kontrollgruppe, im Hinblick auf das Schmerzgeschehen ( $p = 0.033$ ) und die Beweglichkeit der Extension mit ( $p = 0.036$ ) in der Studie von Ediz et al. (2012). Generell ist in diesem betrachteten Cluster der Untersuchung die geringste Evidenz zu finden, auch da die Studien teilweise nicht registriert sind und daher möglicherweise keinen einheitlichen Standards hinsichtlich der Durchführung unterliegen. Der mit dem GRADE Tool ermittelte Grad an Evidenz ist in diesem Cluster als „sehr niedrig“ einzuschätzen. Das bedeutet, dass aufgrund des geringen Vertrauens in die Ergebnisse, der wirkliche Effekt wahrscheinlich erheblich von dem gefundenen Effekt abweicht.

Anhand der in diesem Review dargestellten Studienlage lässt sich zeigen, dass vielfältige Therapieansätze im internationalen Vergleich vorliegen. Diese unterscheiden sich weitestgehend in ihren Ansätzen und Strategien zur Umsetzung der Rehabilitationsprogramme.

## 6.2 Methodendiskussion

Die Methodik dieser Arbeit beschreibt die durchgeführten Arbeitsschritte strukturiert und zeigt, welche Vorgänge notwendig waren, um zu diesem Ergebnis zu gelangen. Innerhalb der einzelnen Schritte ist zu erkennen, welche Datenbanken mit welchen Suchbegriffen durchsucht wurden. Im nächsten Schritt ist genau die Anwendung der Filter beschrieben und daher ist die notwendige Transparenz eines Reviews gegeben. Generell kann gesagt werden, dass sich die hier genutzte Methodik auf repräsentative Werke von Higgins et al. (2021) sowie auf das PRISMA Schema (Moher et al., 2009; Page et al., 2020) stützt und daher als wissenschaftlich fundiert gewertet werden kann.

Die Limitationen der Methodik waren, dass nur in drei Datenbanken nach Studien recherchiert wurde. Wohin gegen die verwendeten Datenbanken mit Pubmed, Elsevier und gerade mit

Cochrane den höchsten medizinischen Ansprüchen gerecht werden. Weiterhin sind in die Analyse nur Studien inkludiert, die jünger als zehn Jahre sind. Daher besteht die Möglichkeit, dass weitere relevante Studien nicht eingeschlossen wurden. Der Zeitraum von zehn Jahren wird aber darin begründet, dass die modernen Trainingsmethoden wie Vibrationstraining und EMS-Training in diesem Zeitraum an Bedeutung für die Forschung gewonnen haben (Monk et al., 2016). Die Vergleichbarkeit der Studien hinsichtlich der Messwertbestimmung ist durch die SMD Meta-Analyse gegeben. Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit sind die betrachteten Erhebungsinstrumente reliabel, weil die auszuwertenden Outcomes passend erhoben wurden: Da die Messwerte der Outcomes in ihrer generellen Aussage vergleichbar sein mussten, wurden Studien deren Messinstrumente grundlegend anders gestaltet waren, ausgeschlossen. Ein weiterer beachtenswerter Punkt ist, dass Studien ohne Registrierungsnummer eingeschlossen wurden und daher die Qualität und Evidenz eventuell vermindert sein kann. Um die Qualität nach einem einheitlichen Standard zu bewerten, wurde eine Risk Of Bias Analyse nach Cochrane durchgeführt. Auch der Gesamtgrad der Evidenz wurde nach einem einheitlichen Standard bewertet und anhand des GRADE Tools bestimmt. Somit kann der Einfluss auf die Evidenz durch die Qualität der Studien als umfangreich betrachtet gesehen werden. Zudem ist in dieser Arbeit keine reine Analyse der verwendeten Transplantate und der Meniskusschäden zu finden und teilweise sind diese in den Studien nicht beschrieben. Daher kann aber wiederum erkannt werden, welche Vielzahl an Ansätzen für die Therapie nach VKB Rekonstruktion zur Rate gezogen werden können. Gerade im Hinblick auf die Therapie direkt nach der Operation werden kaum Angaben gefunden und wir betrachten in dieser Arbeit nur den Zeitraum der Therapie im Anschluss an die Heilbehandlung. Gerade in diesem wichtigen Zeitraum direkt nach der Operation, ist die Verwendung von Unterarmgehstützen, Orthesen und Bandagen von zentraler Bedeutung und wird in dieser Arbeit nicht zentral betrachtet. In diesem Punkt kann diese Arbeit keine Aussagen und Empfehlungen für die Praxis treffen.

### 6.3 Schlussfolgerungen / Konklusionen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die gefundenen Random Effekte der Meta-Analyse für das Cluster der offenen und geschlossenen Bewegungsketten einen signifikanten Unterschied im Schmerzgeschehen zwischen den Kontroll- und Interventionsgruppen (Mittelwert Pain Score 0.8 SD niedriger in der Interventionsgruppe, p-Wert < 0.01) ergaben. Auch die Meta-

Analyse der Beweglichkeit ergab eine signifikant bessere Beweglichkeit in der Interventionsgruppe (Mittelwert ROM 0.4 SD höher, p-Wert = 0.03). Insgesamt wurde der Grad der Evidenz in diesem Cluster mit dem GRADE Tool aber als „Sehr niedrig“ eingeordnet. Das bedeutet, dass aufgrund des geringen Vertrauens in die Ergebnisse, der wirkliche Effekt wahrscheinlich erheblich von dem gefundenen Effekt abweicht. Die Random Effekt Meta-Analyse für das Cluster zum Vibrationstraining zeigte signifikante Effekte für den Unterschied zwischen den Interventions- und Kontrollgruppen hinsichtlich der Beweglichkeit (Mittelwert ROM 1.0 SD höher in der Interventionsgruppe, p-Wert < 0.01). Die Unterschiede im Schmerzgeschehen zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe der Vibrationsstudien waren nicht signifikant (Mittelwert Pain Score 0.3 SD höher in der Interventionsgruppe p-Wert = 0.89). Der mit dem GRADE TOOL ermittelte Evidenzgrad für das Cluster des Stabilisationstrainings ist als „niedrig“ einzuschätzen. Damit ist das Vertrauen in die gefundenen Ergebnisse eingeschränkt und der wirkliche Effekt könnte sich substantiell von diesem Effekt unterscheiden. Im Cluster des physiotherapeutischen Trainings zeigten die Ergebnisse der Random Effekt Meta-Analyse, dass die Unterschiede in der Beweglichkeit zwischen den Interventions- und Kontrollgruppen nicht signifikant sind (Mittelwert ROM 0.2 SD höher in der Interventionsgruppe, p-Wert = 0.42). Der mit dem GRADE Tool ermittelte Grad an Evidenz beläuft sich für das physiotherapeutische Training auf „moderat“. Damit besteht ein moderates Vertrauen, dass der gefundene Effekt nahe dem wirklichen Effekt liegt. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, dass der wirkliche Effekt vom gefundenen Effekt abweicht. Im Cluster der Blutfluss Restriktion ist markant, dass es weniger Studien im Vergleich zu anderen Therapiebereichen gibt. Daraus ist zu schlussfolgern, dass Diese Art des Trainings sehr wenig erforscht ist. Im Cluster des Krafttrainings wurden keine signifikanten Unterschiede im Schmerzgeschehen zwischen Interventions- und Kontrollgruppe (Mittelwert Pain Score 0.5 SD höher in der Interventionsgruppe, p-Wert = 0.21) gefunden. Weiterhin ergab die Random Effekt Meta-Analyse keinen signifikanten Unterschied in der Range of Motion zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe (Mittelwert ROM 1.0 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.30). Der mit dem GRADE TOOL ermittelte Evidenzgrad für das Cluster des Krafttrainings ist als „niedrig“ einzuschätzen. Damit ist das Vertrauen in die gefundenen Ergebnisse eingeschränkt und der wirkliche Effekt könnte sich substantiell von diesem Effekt unterscheiden. Die Random Effekt Meta-Analyse im Cluster des Stabilisationstrainings zeigt, dass im Hinblick auf die Beweglichkeit keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontroll- und Interventionsgruppen gefunden wurden (Mittelwert ROM -0.1 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.68). Für die Schmerzwahrnehmung zeigen sich auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kontroll- und Interventionsgruppen (Mittelwert Pain

Score -1.0 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.19). Der mit dem GRADE Tool ermittelte Grad an Evidenz beläuft sich auf „moderat“. Damit besteht ein moderates Vertrauen, dass der gefundene Effekt nahe dem wirklichen Effekt liegt. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, dass der wirkliche Effekt vom gefundenen Effekt abweicht. Die Random Effekt Meta-Analyse für das EMS-Trainings Cluster ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe für die Beweglichkeit (Mittelwert ROM 0.3 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.54). Die Signifikanz des Unterschieds zwischen Interventions- und Kontrollgruppe war auch für die Schmerzwahrnehmung nicht gegeben (Mittelwert Pain Score 0.1 SD höher in der Kontrollgruppe, p-Wert = 0.75). Der mit dem GRADE Tool ermittelte Grad an Evidenz ist in diesem Cluster als „sehr niedrig“ einzuschätzen. Das bedeutet, dass aufgrund des geringen Vertrauens in die Ergebnisse, der wirkliche Effekt wahrscheinlich erheblich von dem gefundenen Effekt abweicht. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass basierend auf dem aktuellen Stand der Evidenz die Nullhypothesen „Es gibt keinen Unterschied zwischen den angewandten Rehabilitationstechniken und der Schmerzfreiheit nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion.“ und „Es gibt keinen Unterschied zwischen den angewandten Rehabilitationstechniken und der Beweglichkeit nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion.“ weder bestätigen noch verworfen werden können. Zudem kann nicht gesagt werden, ob es einen „Gold Standard“ in der Therapie nach Ersatz des vorderen Kreuzbands gibt. Dazu sollten am besten weitere RCTs mit niedrigem Bias Risiko und einem höheren Grad der Evidenz durchgeführt werden. Ein höherer Grad an Evidenz kann durch einheitlichere Interventionen zur jeweiligen Therapieart erreicht werden. Zusätzlich könnte sich die Evidenz positiv verändern, würden die untersuchten Populationen homogener verteilt sein. Diesbezüglich könnte eine differenzierte Betrachtung hinsichtlich des Leistungszustands der Probanden in Korrelation mit einer passenden Therapieart gesetzt werden. Weiterhin sollte nur mit validierten Erhebungsinstrumenten gearbeitet werden. Die Evidenz könnte sich zusätzlich erhöhen lassen, wenn die betrachteten Interventionszeiträume ähnlicher wären. Auch der Beteiligung des Zustandes des Meniskus sollte in den Studien einheitlicher abgebildet werden.

Alles in allem zeigt die Arbeit, dass es viele verschiedenen Rehabilitationsverfahren gibt. Der aktuelle Stand der Evidenz für die Unterschiede der verschiedenen Verfahren im Hinblick auf ROM und wahrgenommenen Schmerz ist aber unzureichend, um klare Therapieempfehlungen zu machen. Dazu sollten weitere RCTs mit niedrigem Bias Risiko und einem höheren Grad der Evidenz durchgeführt werden.

## 7 Literaturverzeichnis

Abrams GD, Harris JD, Gupta AK, McCormick FM, Bush-Joseph CA, Verma NN, Cole BJ, Bach BR, Jr. (2014) Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med* 2:2325967113518305

Abrams GD, Harris JD, Gupta AK, McCormick FM, Bush-Joseph CA, Verma NN, Cole BJ, Bach BR, Jr. (2014) Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med* 2:2325967113518305

Adie S, Kwan A, Naylor JM, Harris IA, Mittal R (2012) Cryotherapy following total knee replacement. *Cochrane Database Syst Rev*:CD007911

Akpinar B, Thorhauer E, Irrgang JJ, Tashman S, Fu FH, Anderst WJ (2018) Alteration of Knee Kinematics After Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Is Dependent on Associated Meniscal Injury. *Am J Sports Med* 46:1158-1165

Alghadir AH, Anwer S, Iqbal A, Iqbal ZA (2018) Test-retest reliability, validity, and minimum detectable change of visual analog, numerical rating, and verbal rating scales for measurement of osteoarthritic knee pain. *J Pain Res* 11:851-856

Arroyo-Morales M, Martin-Alguacil J, Lozano-Lozano M, Cuesta-Vargas AI, Fernandez-Fernandez AJ, Gonzalez JA, Tegner Y, Cantarero-Villanueva I (2019) The Lysholm score: Cross cultural validation and evaluation of psychometric properties of the Spanish version. *PLoS One* 14:e0221376

Arumugam A, Björklund M, Mikko S, Häger C K (2020) Effects of neuromuscular training on knee proprioception in individuals with anterior cruciate ligament injury: a systematic review and GRADE evidence synthesis. *BMJ Open* 2021;11: e049226. doi:10.1136/bmjopen-2021-049226

Arundale AJH, Cummer K, Capin JJ, Zarzycki R, Snyder-Mackler L (2017) Report of the Clinical and Functional Primary Outcomes in Men of the ACL-SPORTS Trial: Similar Outcomes in Men Receiving Secondary Prevention With and Without Perturbation Training 1 and 2 Years After ACL Reconstruction. Clin Orthop Relat Res 475:2523-2534

Balki S, Goktas HE, Oztemur Z (2016) Kinesio taping as a treatment method in the acute phase of ACL reconstruction: A double-blind, placebo-controlled study. Acta Orthop Traumatol Turc 50:628-634

Barie A, Sprinckstub T, Huber J, Jaber A (2020) Quadriceps tendon vs. patellar tendon autograft for ACL reconstruction using a hardware-free press-fit fixation technique: comparable stability, function and return-to-sport level but less donor site morbidity in athletes after 10 years. Arch Orthop Trauma Surg 140:1465-1474

Bartrow K, (2019) Untersuchen und Befunden in der Physiotherapie. 3. Auflage. Springer-Verlag GmbH Deutschland. Berlin Heidelberg.

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-58298-5.pdf>

Bieler T, Sobol NA, Andersen LL, Kiel P, Lofholm P, Aagaard P, Magnusson SP, Krogsgaard MR, Beyer N (2014) The effects of high-intensity versus low-intensity resistance training on leg extensor power and recovery of knee function after ACL-reconstruction. Biomed Res Int 2014:278512

Bizzini M, (2000) Sensomotorische Rehabilitation nach Beinverletzungen. Georg Thieme Verlag. Stuttgart.

Boer BC, Hoogeslag RAG, Brouwer RW, Demmer A, Huis In 't Veld R (2018) Self-reported functional recovery after reconstruction versus repair in acute anterior cruciate ligament rupture (ROTOR): a randomized controlled clinical trial. BMC Musculoskelet Disord 19:127

Bordes P, Laboute E, Bertolotti A, Dalmay JF, Puig P, Trouve P, Verhaegue E, Joseph PA,

Dehail P, De Seze M (2017) No beneficial effect of bracing after anterior cruciate ligament reconstruction in a cohort of 969 athletes followed in rehabilitation. *Ann Phys Rehabil Med* 60:230-236

Böttcher W, Caspari A, Hense J, Kalman M, Meyer W (2016) Standards für Evaluation. DeGEval - Gesellschaft für Evaluation e.V. [https://www.degeval.org/fileadmin/Publikationen/DeGEval-Standards\\_fuer\\_Evaluation.pdf](https://www.degeval.org/fileadmin/Publikationen/DeGEval-Standards_fuer_Evaluation.pdf) (abgerufen August 2020)

Buschmann-Steinhage R, Haaf H-G, Koch U (2008) Internetausgabe des Tagungsbandes zum 17. Rehabilitationswissenschaftlichen Kolloquium. Deutsche Rentenversicherung Bund. [https://www.eservice-drv.de/ForschPortalWeb/ressource?key=tagungsband\\_17\\_reha\\_kolloqu.pdf#page=36](https://www.eservice-drv.de/ForschPortalWeb/ressource?key=tagungsband_17_reha_kolloqu.pdf#page=36) (abgerufen September 2022)

Carlson VR, Sheehan FT, Boden BP (2016) Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injuries: A Systematic Review. *JBJS Rev* 4

Christanell F, Hoser C, Huber R, Fink C, Loumajoki H (2012) The influence of electromyographic biofeedback therapy on knee extension following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology* 2012, 4:41

Chmielewski TL, George SZ, Tillman SM, Moser MW, Lentz TA, Indelicato PA, Trumble TN, Shuster JJ, Cicuttini FM, Leeuwenburgh C (2016) Low- Versus High-Intensity Plyometric Exercise During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 44:609-617

Cronström A, Risberg MA, Englund M, Tiderius CJ, Önnarfjord P, Struglics A, Svensson J, Peterson P, Månsson S, Ageberg E (2020) Is good muscle function a protective factor for early signs of knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction? The SHIELD cohort study protocol. *Osteoarthritis and Cartilage Open* 2

Dambros C, Martimbianco A L C, Polachini L O, Lahoz G L, Chamlian T R, Cohen M (2012) Effectiveness of cryotherapy after anterior cruciate ligament reconstruction. Acta Ortop Bras. [online]. 2012;20(5): 285-90

Vasconceloes W, Santos C, Ferracini A M, Dejour D (2011) INFLUENCE OF ANTERIOR PAIN ON RESULTS FROM ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION. Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Rev Bras Ortop. 2011;46(1):40-4

Dietz MJ, Sprando D, Hanselman AE, Regier MD, Frye BM (2017) Smartphone assessment of knee flexion compared to radiographic standards. Knee 24:224-230

Ediz L, Ceylan MF, Turktas U, Yanmis I, Hiz O (2012) A randomized controlled trial of electrostimulation effects on effusion, swelling and pain recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: a pilot study. Clin Rehabil 26:413-422

Eifler C (2013) Empirische Überprüfung der Effekte verschiedener Ansätze zur Intensitätssteuerung im fitnessorientierten Krafttraining. Saarbrücken. <https://scidok.sulb.uni-saarland.de/handle/20.500.11880/23424> (abgerufen September 2022)

Eitzen I, Moksnes H, Snyder-Mackler L, Risberg MA (2010) A progressive 5-week exercise therapy program leads to significant improvement in knee function early after anterior cruciate ligament injury. J Orthop Sports Phys Ther 40:705-721

Erickson L N, Hickey Lucas K C, Davis K A, Jacobs C A, Thompson K L, Hardy P A, Andersen A H, Fry C S, Noehren B W (2019) Effect of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Strength, Morphology, Physiology, and Knee Biomechanics Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Protocol for a Randomized Clinical Trial. Phys Ther. 2019; 99:1010–1019.]

Feistenauer C (2018) Gesundheits- und arbeitsbezogene Effekte von Bewegungsinterventionen der betrieblichen Gesundheitsförderung – eine Metanalyse. München: Universität der Bundeswehr. Fakultät für Humanwissenschaften. <https://d-nb.info/1179133072/34> (abgerufen am September 2022)

Fink B (2022) Femoral Revision Arthroplasty. Orthopaedic Clinic Markgröningen. Springer Berlin Heidelberg <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-84821-7.pdf> (abgerufen September 2022)

Filbay SR, Roos EM, Frobell RB, Roemer F, Ranstam J, Lohmander LS (2017) Delaying ACL reconstruction and treating with exercise therapy alone may alter prognostic factors for 5-year outcome: an exploratory analysis of the KANON trial. Br J Sports Med 51:1622-1629

Filbay SR, Culvenor AG, Ackerman IN, Russell TG, Crossley KM (2015) Quality of life in anterior cruciate ligament-deficient individuals: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med 49:1033-1041

Flagg KY, Karavatas SG, Thompson S, Jr., Bennett C (2019) Current criteria for return to play after anterior cruciate ligament reconstruction: an evidence-based literature review. Ann Transl Med 7:S252

Flosadottir V, Frobell R, Roos EM, Ageberg E (2018) Impact of treatment strategy and physical performance on future knee-related self-efficacy in individuals with ACL injury. BMC Musculoskelet Disord 19:50

Fukuda TY, Fingerhut D, Moreira VC, Camarini PM, Scodeller NF, Duarte A, Jr., Martinelli M, Bryk FF (2013) Open kinetic chain exercises in a restricted range of motion after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial. Am J Sports Med 41:788-794

Fu CL, Yung SH, Law KY, Leung KH, Lui PY, Siu HK, Chan KM (2013) The effect of early whole-body vibration therapy on neuromuscular control after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 41:804-814

Frobell R B, Roos E M, Roos H P, Ranstam J, Lohmander L S (2010) A Randomized Trial of Treatment for Acute Anterior Cruciate Ligament Tears. *N Engl J Med* 2010; 363:331-4

Garrison J C, Bothwell J, Cohen K, Conway J (2014) EFFECTS OF HIP STRENGTHENING ON EARLY OUTCOMES FOLLOWING ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION. *The International Journal of Sports Physical Therapy*. Volume 9, Number 2. April 2014. Page 157

Ghaderi M, Letafatkar A, Thomas AC, Keyhani S (2021) Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 13:49

GKV-Spitzenverband (2017) Kapitel 5: Leistungen zur individuellen verhaltensbezogenen Prävention nach § 20 Abs. 4 Nr. 1 SGB V aus dem Leitfaden Prävention. [https://www.gkv-spitzenverband.de/media/dokumente/krankenversicherung\\_1/praevention\\_selbsthilfe\\_beratung/praevention/praevention\\_leitfaden/2017\\_3/Leitfaden\\_Praevention\\_12-2017\\_P170262\\_final\\_V.pdf](https://www.gkv-spitzenverband.de/media/dokumente/krankenversicherung_1/praevention_selbsthilfe_beratung/praevention/praevention_leitfaden/2017_3/Leitfaden_Praevention_12-2017_P170262_final_V.pdf) (abgerufen September 2022)

Gokeler A, Zantop T, Jöllenbeck T (2010) Vorderes Kreuzband Epidemiologie. GOTS-Expertenmeeting: Vorderes Kreuzband, 3-14 (2010)

[https://www.researchgate.net/profile/AlliGokeler/publication/285766108\\_VORDERES\\_KREUZBAND\\_EPIDEMIOLOGIE/links/56631b0708ae192bbf8eed91/VORDERES-KREUZBAND-EPIDEMIOLOGIE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/AlliGokeler/publication/285766108_VORDERES_KREUZBAND_EPIDEMIOLOGIE/links/56631b0708ae192bbf8eed91/VORDERES-KREUZBAND-EPIDEMIOLOGIE.pdf) (Abgerufen September 2022)

Golish SR, Baumfeld JA, Schoderbek RJ, Miller MD (2007) The effect of femoral tunnel starting position on tunnel length in anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study. *Arthroscopy* 23:1187-1192

Griffin LY, Agel J, Albohm M J, Arendt E A, Dick R W, Garrett W E, Garrick J G, Hewett T E, Huston L, Ireland M L, Johnson R J, Kibler W, Benjamin L S, Lewis J L, Lindenfeld T N, Mandelbaum B R, Marchak P T, Carol C, Wojtys E M (2000) Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: Risk Factors and Prevention Strategies. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons: May 2000 - Volume 8 - Issue 3 - p 141-150

Hajouj E, Hadian MR, Mir SM, Talebian S, Ghazi S (2021) Effects of Innovative Land-based Proprioceptive Training on Knee Joint Position Sense and Function in Athletes with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. Archives of Neuroscience 8

Heijne A, Werner S (2007) Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15:402-414

Herbort M, Lenschow S, Fu FH, Petersen W, Zantop T (2010) ACL mismatch reconstructions: influence of different tunnel placement strategies in single-bundle ACL reconstructions on the knee kinematics. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 18:1551-1558

Hewett T E, Shultz S J, Griffin L Y (2007) Understanding and Preventing Noncontact ACL Injuries. American Orthopaedic Society for Sports Medicine. Human Kinetics 2007.

[https://marylloydireland.com/PPT\\_PDF\\_V/2007\\_Ch13\\_Sports\\_Specific\\_Injury\\_Mechanisms\\_Assoc\\_with\\_Pivoting\\_Cutting\\_and\\_Landing.pdf](https://marylloydireland.com/PPT_PDF_V/2007_Ch13_Sports_Specific_Injury_Mechanisms_Assoc_with_Pivoting_Cutting_and_Landing.pdf) (abgerufen September 2022)

Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, Ferris G, Dawes J, Paton B, Patterson SD (2019) Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. Sports Med 49:1787-1805

Higgins J, P T, Green S (2011) „Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions“. The cochrane Collaboration. Version 5.1.0. <http://handbook-5-1.cochrane.org> (abgerufen September 2022)

Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, Welch VA (editors). Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.3 (updated February 2022). Cochrane, 2022. Available from [www.training.cochrane.org/handbook](http://www.training.cochrane.org/handbook) (abgerufen September 2022)

Hohmann E, Tetsworth K, Bryant A (2011) Physiotherapy-guided versus home-based, unsupervised rehabilitation in isolated anterior cruciate injuries following surgical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:1158-1167

Höher J, Enneper J (2003) Prophylaxe der Gonarthrose. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. Jahrgang 54, Nr. 6 (2003)

<https://www.germanjournalsportsmedicine.com/fileadmin/content/archiv2003/heft06/Enneper.pdf> (abgerufen September 2022)

Imhoff A B, Feucht M J (2017) *Atlas sportorthopädisch-sporttraumatologische Operationen*. 2. Auflage. Springer Nature. Heidelberg: Berlin

Isberg J, Faxen E, Laxdal G, Eriksson BI, Karrholm J, Karlsson J (2011) Will early reconstruction prevent abnormal kinematics after ACL injury? Two-year follow-up using dynamic radiostereometry in 14 patients operated with hamstring autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:1634-1642

Ithurburn MP, Altenburger AR, Thomas S, Hewett TE, Paterno MV, Schmitt LC (2018) Young athletes after ACL reconstruction with quadriceps strength asymmetry at the time of return-to-sport demonstrate decreased knee function 1 year later. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26:426-433

Jakob RP, Stäubli HU (1990) Kniegelenk und Kreuzbänder. Springer Nature. Heidelberg: Berlin

Jha RK, Sen RK, Tripathy SK, Gopinathan NR, Goyal T, Sharma SK (2021) Cross-cultural validation of Hindi version Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) in osteoarthritis knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 29:1742-1749

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00167-020-06211-1.pdf> (abgerufen September 2022)

Kempf H –D, Fröhlich M (2014) *Funktionelles Training mit Hand- und Kleingeräten*. Springer Verlag Berlin Heidelberg. [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-43659-2\\_1.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-43659-2_1.pdf) (abgerufen September 2022)

Khare R, Lal H, Vidyarthi K, Jangira V, Mittal D (2017) Randomised comparison of pretensioning using cyclical loading and on tendon board for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring autograft. *J Clin Orthop Trauma* 8:259-264

Kim DK, Park G, Kadir K, Kuo LT, Park WH (2018) Comparison of Knee Stability, Strength Deficits, and Functional Score in Primary and Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knees. *Sci Rep* 8:9186

Kinikli GI, Yuksel I, Baltaci G, Atay OA (2014) The effect of progressive eccentric and concentric training on functional performance after autogenous hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study. *Acta Orthop Traumatol Turc* 48:283-289

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

[https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/VBG-Sportreport\\_2021.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/VBG-Sportreport_2021.pdf?__blob=publicationFile&v=6) (abgerufen September 2022)

Klein C, Bloch H, Burkhardt K, Kühn N, Pietzonka M, Schäfer M (2020) VBG-Sportreport 2020 – Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Liegen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball, Handball. Hamburg: VBG [https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/VBG-Sportreport\\_2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/VBG-Sportreport_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (abgerufen September 2022)

Kobayashi H, Kanamura T, Koshida S, Miyashita K, Okado T, Shimizu T, Yokoe K (2010) Mechanisms of the anterior cruciate ligament injury in sports activities: A twenty-year clinical research of 1,700 athletes. *Journal of Sports Science and Medicine* (2010) 9, 669-675

Kombrink M (2006) Dissertation – Einfluss mechanischer oszillierender Stimuli im Rahmen der frühfunktionellen Aktivierung des propriozeptiven Systems auf die Oberschenkelmuskulatur nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes des Kniegelenkes. Aus der Klinik für Orthopädie der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin [https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/1898/0\\_Kombrink.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/1898/0_Kombrink.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (abgerufen September 2022)

Kohn L, Rembeck E, Rauch A (2020) [Anterior cruciate ligament injury in adults : Diagnostics and treatment]. *Orthopäde* 49:1013-1028

Kohn D, Schneider G, Dienst M, Rupp S (2012) Diagnostik der Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 2002 · 31:719–730 DOI 10.1007/s00132-002-0341-x. Springer-Verlag 2002

Kruse LM, Gray B, Wright RW (2012) Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am* 94:1737-1748

Krug S, Jordan S (2013) *Körperliche Aktivität – Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1)*. Bundesgesundheitsblatt Jg. 56. S. 765–771. DOI 10.1007/s0010301216616 oder <https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-012-1661-6> (abgerufen September 2022)

Krug S, Jordan S, Mensink G B M, Müters S, Finger J D, Lampert T, et al. (2013). Körperliche Aktivität - Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsblatt Jg. 56. S. 765–771. <http://edoc.rki.de/oa/articles/reportQDxaXz2/PDF/29NRTMbhpOAI.pdf> (abgerufen September 2022)

Krolikowska A, Sikorski L, Czamara A, Reichert P (2018) Effects of Postoperative Physiotherapy Supervision Duration on Clinical Outcome, Speed, and Agility in Males 8 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Med Sci Monit* 24:6823-6831

Krosshaug T, Andersen TE, Olsen OE, Myklebust G, Bahr R (2005) Research approaches to describe the mechanisms of injuries in sport: limitations and possibilities. *Br J Sports Med* 39:330-339

Kümmel D, Preiss S, Harder LP, Leunig M, Impellizzeri FM (2018) Measurement properties of the German version of the IKDC subjective knee form (IKDC-SKF). *J Patient Rep Outcomes* 2:31

Kuenze C, Eltoukhy M, Kelly A, Kim CY (2017) Impact of quadriceps strengthening on response to fatiguing exercise following ACL reconstruction. *J Sci Med Sport* 20:6-11

Labanca L, Rocchi JE, Laudani L, Guitaldi R, Virgulti A, Mariani PP, Macaluso A (2018) Neuromuscular Electrical Stimulation Superimposed on Movement Early after ACL Surgery. *Med Sci Sports Exerc* 50:407-416

Laborie M, Klouche S, Herman S, Gerometta A, Lefevre N, Bohu Y (2015) Inefficacy of

Kinesio-Taping((R)) on early postoperative pain after ACL reconstruction: Prospective comparative study. *Orthop Traumatol Surg Res* 101:963-967

LaPrade RF, DePhillipo NN, Cram TR, Cinque ME, Kennedy MI, Dornan GJ, O'Brien LT (2018) Partial Controlled Early Postoperative Weightbearing Versus Nonweightbearing After Reconstruction of the Fibular (Lateral) Collateral Ligament: A Randomized Controlled Trial and Equivalence Analysis. *Am J Sports Med* 46:2355-2365

Laver L, Myklebust G (2015). Handball Injuries: Epidemiology and Injury Characterization. In *Sports Injuries*, pp. 2781-2805.

Lebon F, Guillot A, Collet C (2012) Increased muscle activation following motor imagery during the rehabilitation of the anterior cruciate ligament. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 37:45-51

Lefebvre C, Manheimer E, Glanville J. Chapter 6: Searching for studies. In: Higgins J, Green S (editors). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 5.1.0 (updated March 2011). The Cochrane Collaboration, 2011. [www.cochrane-handbook.org](http://www.cochrane-handbook.org) (abgerufen September 2022)

Levinger P, Hallam K, Fraser D, Pile R, Ardern C, Moreira B, Talbot S (2017) A novel web-support intervention to promote recovery following Anterior Cruciate Ligament reconstruction: A pilot randomised controlled trial. *Phys Ther Sport* 27:29-37

Lorenz S, Leyser D, Imhoff AB (2011) Nachbehandlung nach vorderem Kreuzbandersatz. *Trauma und Berufskrankheit* 14:55-60  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10039-011-1773-5.pdf> (abgerufen September 2022)

Luque-Seron JA, Medina-Porqueres I (2016) Anterior Cruciate Ligament Strain In Vivo: A Systematic Review. *Sports Health* 8:451-455

Markstrom JL, Tengman E, Hager CK (2018) ACL-reconstructed and ACL-deficient individuals show differentiated trunk, hip, and knee kinematics during vertical hops more than 20 years post-injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26:358-367

Mayer C, Siems W (2011) 100 Krankheitsbilder in der Physiotherapie. Behandlungsideen und Tipps. Springer Medizin Verlag Heidelberg 2011

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-17267-0.pdf> (abgerufen September 2022)

Mayr HO, Stueken P, Munch EO, Wolter M, Bernstein A, Suedkamp NP, Stoehr A (2014) Brace or no-brace after ACL graft? Four-year results of a prospective clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:1156-1162

Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009) Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement

<http://www.prisma-statement.org/documents/PRISMA%20German%20flow%20diagram.pdf>

<http://www.prisma-statement.org/documents/PRISMA%20German%20checklist.pdf> (abgerufen September 2022)

Monk AP, Davies LJ, Hopewell S, Harris K, Beard DJ, Price AJ (2016) Surgical versus conservative interventions for treating anterior cruciate ligament injuries. *Cochrane Database Syst Rev* 4:CD011166

Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

Patterson BE, Barton CJ, Culvenor AG, Cooper RL, Crossley KM (2021) Exercise-therapy and education for individuals one year after anterior cruciate ligament reconstruction: a pilot randomised controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 22:64

Park JM, Park S, Jee YS (2019) Rehabilitation Program Combined with Local Vibroacoustics Improves Psychophysiological Conditions in Patients with ACL Reconstruction. *Medicina (Kaunas)* 55 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6843143/pdf/medicina-55-00659.pdf> (abgerufen September 2022)

Petersen W, Zantop T (2009) *Das vordere Kreuzband. Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie.* Deutscher Ärzte Verlag 2009. Köln

Petersen W, Tillmann B (2002) [Anatomy and function of the anterior cruciate ligament]. *Orthopade* 31:710-718. Springer Nature. Heidelberg: Berlin

Petersen W, Herbort M, Hoyneck E, Zantop T, Mayr H (2014) [Stage-adapted treatment of infection after reconstruction of the anterior cruciate ligament]. *Oper Orthop Traumatol* 26:63-74

<https://www.germanjournalsportsmedicine.com/fileadmin/content/archiv2005/heft06/178.pdf> (abgerufen September 2022)

Petersen W, Herbort M, Hoyneck E, Zantop T, Mayr H (2014) [Stage-adapted treatment of infection after reconstruction of the anterior cruciate ligament]. *Oper Orthop Traumatol* 26:63-74

[https://www.online-oup.de/media/article/2012/06/1C8D3D6C-7EE2-4FCE-B00C-EB2286523CEF/1C8D3D6C7EE24FCEB00CEB2286523CEF\\_petersen\\_1\\_original.pdf](https://www.online-oup.de/media/article/2012/06/1C8D3D6C-7EE2-4FCE-B00C-EB2286523CEF/1C8D3D6C7EE24FCEB00CEB2286523CEF_petersen_1_original.pdf) (abgerufen September 2022)

Pistone EM, Laudani L, Camillieri G, Di Cagno A, Tomassi G, Macaluso A, Giombini A (2016) Effects of early whole-body vibration treatment on knee neuromuscular function and postural

control after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. J Rehabil Med 48:880-886

Platzer W (2018) Taschenatlas Anatomie: 1 Bewegungsapparat. Stuttgart: Georg Thieme Verlag

Priyanka P, Nilima B, Parag S, Ashok S (2017) Effects of Lumbar Core Stability Exercise Programme on Knee Pain, Range of Motion, and Function Post Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation 23:39-44

Pursell E, McCrae N (2020) How to Perform a Systematic Literature Review.

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-49672-2.pdf>

<https://bjsm.bmj.com/content/49/16/1033.long> (abgerufen September 2022)

Quatman CE, Hewett TE (2009) The anterior cruciate ligament injury controversy: is "valgus collapse" a sex-specific mechanism? Br J Sports Med 43:328-335

Rauch G, Schoepp C, Herbort M, Krusch W (2019) Vordere Kreuzbandverletzungen: Bewährte und neue Therapien. Dtsch Arztebl 2019; 116(13): A-634 / B-520 / C-512

<https://www.aerzteblatt.de/treffer?mode=s&wo=1041&typ=16&aid=206339&s=VKB> (abgerufen September 2022)

Rajasekar S, Marchand AM (2017) Fascial Manipulation((R)) for persistent knee pain following ACL and meniscus repair. J Bodyw Mov Ther 21:452-458

Reijman M, Eggerding V, van Es E, van Arkel E, van den Brand I, van Linge J, Zijl J, Waarsing E, Bierma-Zeinstra S, Meuffels D (2021) Early surgical reconstruction versus rehabilitation with elective delayed reconstruction for patients with anterior cruciate ligament rupture: COMPARE randomised controlled trial. BMJ 372:n375

Risberg MA, Holm I (2009) The long-term effect of 2 postoperative rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial with 2 years of follow-up. *Am J Sports Med* 37:1958-1966

Roemer F (2018) *Arthrose am Kniegelenk. Arthroskopie* 32:95-104. Springer Nature. Heidelberg: Berlin

Ruffilli A, Buda R, Castagnini F, Di Nicolantonio D, Evangelisti G, Giannini S, Faldini C (2015) Temperature-controlled continuous cold flow device versus traditional icing regimen following anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized comparative trial. *Arch Orthop Trauma Surg* 135:1405-1410

Saka T (2014) Principles of postoperative anterior cruciate ligament rehabilitation. *World J Orthop* 5:450-459

Sandau I, Langen G, Ueberscher O, Nosaka K, Behringer M (2020) Methodical approaches to determine the rate of radial muscle displacement using tensiomyography: A scoping review and new reporting guideline. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. Volume 67, December 2022, 102702

Schaffrath N E C, (2022) Längsschnittliche Messung der posturalen Kontrolle und Stabilität von Patienten nach vorderer Kreuzbandoperation. Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. [https://opendata.uni-halle.de/bitstream/1981185920/88229/1/Dissertation\\_Schaffrath\\_ULB\\_.pdf](https://opendata.uni-halle.de/bitstream/1981185920/88229/1/Dissertation_Schaffrath_ULB_.pdf) (abgerufen September 2022)

Schliemann B, Glasbrenner J, Rosenbaum D, Lammers K, Herbort M, Domnick C, Raschke MJ, Kusters C (2018) Changes in gait pattern and early functional results after ACL repair are comparable to those of ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26:374-380

Schmucker C, Motschall E, Meerpohl J (2016) Methoden des Evidence Mappings: Eine Systematische Übersicht. Freiburg: Deutsches Cochrane Zentrum. [https://www.researchgate.net/profile/Christine\\_Schmucker/publication/303340743\\_Methoden\\_des\\_Evidence\\_Mappings\\_Eine\\_Systematische\\_Ubersicht/links/573d997708ae9ace84110921/Methoden-des-Evidence-Mappings-Eine-Systematische-Uebersicht.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Christine_Schmucker/publication/303340743_Methoden_des_Evidence_Mappings_Eine_Systematische_Ubersicht/links/573d997708ae9ace84110921/Methoden-des-Evidence-Mappings-Eine-Systematische-Uebersicht.pdf) (abgerufen September 2022)

Schoepp C (2015) Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. Trauma und Berufskrankheit 18:33-38. Springer Nature. Heidelberg: Berlin

Schüle K, Huber G (2012) *Grundlagen der Sport- und Bewegungstherapie. Prävention, ambulante und stationäre Rehabilitation*. 3.Aufl. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag. <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0031-1284018> (abgerufen September 2022)

Schünemann HJ, Higgins JPT, Vist GE, Glasziou P, Akl EA, Skoetz N, Guyatt GH. Chapter 14: Completing ‘Summary of findings’ tables and grading the certainty of the evidence. In: Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, Welch VA (editors). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* version 6.3 (updated February 2022). Cochrane, 2022. [www.training.cochrane.org/handbook](http://www.training.cochrane.org/handbook) (abgerufen September 2022)

Schünke M, Schulte E, Schumacher U (2005) *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem Prometheus LernAtlas der Anatomie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag

Statista (2017) Wie oft haben Sie in den letzten 12 Monaten Rückenschmerzen gehabt? Zitiert nach [de.statista.com https://de.statista.com/statistik/daten/studie/668036/umfrage/umfrage-zur-haeufigkeit-von-rueckenschmerzen-in-deutschland/](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/668036/umfrage/umfrage-zur-haeufigkeit-von-rueckenschmerzen-in-deutschland/) (abgerufen September 2022)

Sonnery-Cottet B, Archbold P, Cucurulo T, Fayard JM, Bortolletto J, Thauinat M, Prost T, Chambat P (2011) The influence of the tibial slope and the size of the intercondylar notch on rupture of the anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg Br 93:1475-1478

Steffel J, Lüscher T (2014) *Herz-Kreislauf*. Universitätsspital Zürich. Berlin: Springer Verlag  
<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-16718-8> (abgerufen September 2022)

Sung KS, Yi YG, Shin HI (2019) Reliability and validity of knee extensor strength measurements using a portable dynamometer anchoring system in a supine position. *BMC Musculoskelet Disord* 20:320

Takahashi S, Nagano Y, Ito W, Kido Y, Okuwaki T (2019) A retrospective study of mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in high school basketball, handball, judo, soccer, and volleyball. *Medicine (Baltimore)* 98:e16030

Takashi N, Schilaty N D, Laskowski E R, Hewett T E, (2020) Hop tests can result in higher limb symmetry index values than isokinetic strength and leg press tests in patients following ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* volume 28, pages 816–822 (2020)

Taradaj J, Halski T, Kucharzewski M, Walewicz K, Smykla A, Ozon M, Slupska L, Dymarek R, Ptaszkowski K, Rajfur J, Pasternok M (2013) The effect of neuromuscular electrical stimulation on quadriceps strength and knee function in professional soccer players: return to sport after ACL reconstruction. *Biomed Res Int* 2013:802534

Tittelbach S, Knyrim H, Baumeister J, Bös K (2001) *Motorische Tests*. Springer Verlag.  
[https://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloadaddocument/9783540625360-c1.pdf%3FSGWID=0-0-45-106945-p2578949](https://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloadaddocument/9783540625360-c1.pdf%3FSGWID=0-0-45-106945-p2578949) (abgerufen September 2022)

Ucar M, Koca I, Eroglu M, Eroglu S, Sarp U, Arik H O, Yetisgin A (2014) Evaluation of Open and Closed Kinetic Chain Exercises in Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J. Phys. Ther. Sci.* Vol. 26, No. 12, 1875- 1878.2014.

Valkering KP, van Bergen CJ, Buijze GA, Nagel PH, Tuinebreijer WE, Breederveld RS (2015)

Pain experience and functional outcome of inpatient versus outpatient anterior cruciate ligament reconstruction, an equivalence randomized controlled trial with 12 months follow-up. *Knee* 22:111-116

Van Driessche S, Van Roie E, Vanwanseele B, Delecluse C (2018) Test-retest reliability of knee extensor rate of velocity and power development in older adults using the isotonic mode on a Biodex System 3 dynamometer. *PLoS One* 13:e0196838

Ventura A, Iori S, Legnani C, Terzaghi C, Borgo E, Albisetti W (2013) Single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: assessment with vertical jump test. *Arthroscopy* 29:1201-1210

Velazquez-Saornil J, Ruiz-Ruiz B, Rodriguez-Sanz D, Romero-Morales C, Lopez-Lopez D, Calvo-Lobo C (2017) Efficacy of quadriceps vastus medialis dry needling in a rehabilitation protocol after surgical reconstruction of complete anterior cruciate ligament rupture. *Medicine (Baltimore)* 96:e6726

Wei M, Liu Y, Li Z, Wang Z (2013) Short-term effects of radiofrequency shrinkage treatment for anterior cruciate ligament relaxation on proprioception. *J Int Med Res* 41:1586-1593

Wellsandt E, Failla MJ, Axe MJ, Snyder-Mackler L (2018) Does Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Improve Functional and Radiographic Outcomes Over Nonoperative Management 5 Years After Injury? *Am J Sports Med* 46:2103-2112

White K, Zeni J, Snyder-Mackler L (2014) ACL-RSI and KOOS Measures Predict Normal Knee Function after ACL-SPORTS Training. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 2

Wilke A (2013) *Vordere Kreuzbandläsion*. Springer Verlag Berlin-Heidelberg 2004.

Williams D, Heidloff D, Haglage E, Schumacher K, Cole BJ, Campbell KA (2016) Anterior Cruciate Ligament Functional Sports Assessment. *Operative Techniques in Sports Medicine* 24:59-64

World Health Organization (2010) *Global Recommendations on Physical Activity for Health*  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK305060/#ch1.s1>(abgerufen September 2022)

Zalpour C (2010) Springer Lexikon Physiotherapie. 2. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, 2014.

Zantop T, Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Fu FH, Petersen W (2008) Anatomical and nonanatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: importance of femoral tunnel location on knee kinematics. *Am J Sports Med* 36:678-685

Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W (2007) The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med* 35:223-227

Zdunski S, Rongies W, Ziolkowski M, Koziel T, Kazimierski P, Halaj R, Sierdzinski J (2017) Assessment of knee joint range of motion and the level of pain in patients after arthroscopic ACL reconstruction in the selected physiotherapy model. *Postępy Rehabilitacji* (3), 41 – 54, 2017

Zhu W, Wang D, Han Y, Zhang N, Zeng Y (2013) Anterior cruciate ligament (ACL) autograft reconstruction with hamstring tendons: clinical research among three rehabilitation procedures. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 23:939-943

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Indikation und Kontraindikation der Transplantatwahl (modifiziert nach Schoepp, 2016) .....	16
Abbildung 2: Muskeltrainingsformen (modifiziert nach Kombrink, 2006) .....	25
Abbildung 3: Lysholm Score (Luzerner Kantonsspital, 2018) .....	29
Abbildung 4: Pubmed Searchhistory 31.08.2021 .....	39
Abbildung 5: Pubmed Searchhistory 04.09.2021 .....	39
Abbildung 6: Pubmed Searchhistory 23.09.2021 .....	40
Abbildung 7: Cochrane Searchhistory 01.09.2021 .....	41
Abbildung 8: R-Code .....	47
Abbildung 9: Flussdiagramm zur Abbildung der verschiedenen Phasen der systematischen Übersicht (modifiziert nach PRISMA) (Page et al., 2020) .....	49
Abbildung 10: Ergebnisse Risk of Bias Tool .....	67
Abbildung 11: Ergebnisse Metaanalyse Outcome Rom .....	69
Abbildung 12: Ergebnisse Metaanalyse Outcome Pain .....	71

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Operanten Population .....	37
Tabelle 2: Operanten Intervention .....	37
Tabelle 3: Operanten Outcome .....	38
Tabelle 4: Suchstrategie Science Direkt September 2021 .....	41
Tabelle 5: Literaturrecherche .....	48
Tabelle 6: CLUSTER 1 – offene und geschlossene Bewegungsketten .....	50
Tabelle 7: CLUSTER 2 - Physiotherapie.....	51
Tabelle 8: CLUSTER 2 - Physiotherapie.....	52
Tabelle 9: CLUSTER 3 - Blutflussrestriktion .....	53
Tabelle 10: CLUSTER 4 - Krafttraining .....	54
Tabelle 11: CLUSTER 4 - Krafttraining .....	55
Tabelle 12: CLUSTER 5 - Vibrationstraining.....	57
Tabelle 13: CLUSTER 5 - Vibrationstraining.....	58
Tabelle 14: CLUSTER 6 - Stabilisationstraining .....	59
Tabelle 15: CLUSTER 6 - Stabilisationstraining .....	60
Tabelle 16: CLUSTER 7 - EMS Training .....	61
Tabelle 17: CLUSTER 7 - EMS Training .....	62
Tabelle 18: NO CLUSTER.....	64
Tabelle 19: NO CLUSTER.....	65
Tabelle 20: Summary of Findings Tabelle.....	72

## 10 Abkürzungsverzeichnis

ebd.	ebender
zit.	zitiert nach
vgl.	vergleiche
sig.	signifikant
wk	Week Woche
bzw.	beziehungsweise
u.a.	unter anderem
OCQ	Organisational Commitment Questionnaire
ESC	European Society of Cardiology
min.	Minuten
BMI	Body Maß Index
Wdh.	Wiederholungen
Sek	Sekunde
%	Prozent
ca.	Circa
1-RM	1 Repetition Maximum Test
kg	Kilogramm
g	Gramm
km/h	Kilometer pro Stunde
ff	fort folgende
RKI	Robert Koch-Institut
N	Stichprobengröße
KG	Kontrollgruppe
EG	Ereignisgruppe

t1	Testzeitpunkt 1
P	P-Wert Signifikanzniveau
SD	Standartabweichung
SMD	Standardised Mean Difference
CI	Confidenz Intervall
MW	Mittelwert
M	männlich
VKB	vorderes Kreuzband
ACL	Anterior Cruciate Ligament
W	weiblich
Lig.	Ligament
OKC	Open Kinetic Chain
CKC	Closed Kinetic Chain
EOKC	Early Start Open Kinetic Chain
LOKC	Late Start Open Kinetic Chain
ROM	Range of Motion
OP	Operation
VAS	Visuelle Analog Skala
Ext	Extensor
Flex	Flexor
HRT	High Intensity Resitance Training
NPRS	Numeric Pain Rating Scale
PCS	Pain Catastrophizing Score
NoHip	Keine Hüft Kräftigung
Hip	Hüft Kräftigung
WBVT	whole Body Vibration Training

SAP	Strenght Agility Prevention
PERT	Pertubation Training
DIS	Dynamische Intraligamentäre Stabilisation
EMG	Elektromyographic
NMES	Neuromuskuläre Elektrische Stimulisation
BFB	Biofeedback
EMS	Elektromyostimulisation
KT	Kinesio Taping
DRY	Dryneedling
INT	Intervention
KONT	Kontroll

## 11 Publikation / Danksagung

### 11.1 Publikation

### 11.2 Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Jäger bedanken, der mir die Möglichkeit dieser Dissertation eingeräumt hat und mit geduldig führender freundlicher Hand über mich wachte.

Mein weiterer großer Dank gebührt Frau Dr. Volz-Willems, die sich der Begleitung des Themas annahm und jederzeit mit Rat und Tat bis zur Fertigstellung der Arbeit an meiner Seite stand.

Weiterhin möchte ich mich ganz besonders bei meiner Familie bedanken, welche zu jeder Zeit meines Studiums zu mir hielt und mir den Rücken freihielt.

Meinen Eltern Karin Dierich und Jürgen Dierich, die mich auf den bisherigen Lebensweg unermüdlich unterstützten und bei jedem weiteren Schritt an mich glaubten.

Mein Dank gilt darüber hinaus meinen Freunden und meinem Team des ReVital, die seelisch und arbeitstechnisch jederzeit Unterstützung boten und immer zu mir gehalten haben.

Vielen Dank!

## 12 Lebenslauf

Tabellarischer Lebenslauf.

## 13 Anhang

....