

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Führt frühe Spezialisierung im Nachwuchsleistungssport zu
einer höheren Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzungen -
Systematischer Review

verfasst von | submitted by
Laura Stütz B.Sc.

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Kurzzusammenfassung

Hintergrund: Die Diskussion über eine frühe Sportspezialisierung im Nachwuchsleistungssports nimmt unter dem Aspekt des Verletzungsrisikos für junge Athlet*innen zu. Obwohl eine frühe Spezialisierung mit einer besseren Leistung im Sport verbunden wird, zeigte die Studienlage, dass ein erhöhtes Risiko für muskuloskelettale Verletzungen, insbesondere Überlastungsverletzungen, besteht.

Zielsetzung: Ziel des systematischen Reviews war herauszufinden, inwiefern eine frühe Sportspezialisierung mit der Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzungen assoziiert ist. Dabei wurden insbesondere akute Verletzungen und Überlastungsverletzungen betrachtet sowie potenzielle moderierende Faktoren wie Geschlecht, Trainingsvolumen oder Sportart identifiziert.

Methode: In diesem systematischen Review wurden unter Beachtung der PRISMA-Richtlinien Studien aus den Datenbanken PubMed, SportDiscus und SPOLIT miteingeschlossen. Die Bewertung der methodischen Qualität erfolgte durch die Newcastle Ottawa Scale und das AXIS Tool und die Datenanalyse durch eine qualitative Analyse.

Ergebnisse: In die Datenanalyse wurden 12 Studien miteinbezogen. Dabei zeigten die Ergebnisse zumeist ein signifikant erhöhtes Risiko für Überlastungsverletzungen für hochspezialisierte Athlet*innen. Der Zusammenhang zwischen hoher Spezialisierung und der Anfälligkeit für akute Verletzungen wurde nicht eindeutig sichtbar. Faktoren wie die Sportart, das Geschlecht und das Trainingsvolumen beeinflussten ebenfalls das Verletzungsrisiko.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse des systematischen Reviews zeigten, dass die Anfälligkeit für muskuloskelettale Überlastungsverletzungen durch eine frühe Spezialisierung signifikant erhöht wurde, jedoch kein eindeutiger Zusammenhang mit akuten Verletzungen bestand. Dennoch müssten weitere Studien durchgeführt werden, um den Zusammenhang zwischen dem frühen Spezialisierungsalter und dem erhöhten Risiko für muskuloskelettale Verletzungen zu analysieren und festzustellen, inwiefern eine Spezialisierung im jungen Alter Auswirkungen auf das Verletzungsrisiko im pubertären Alter hat. Für den Vergleich im gesamten Altersspektrum sollten Längsschnittstudien durchgeführt werden.

Abstract

Background: Early sports specialization in youth competitive sports is more and more discussed recently especially regarding risk of injury in young athletes. Although early specialization is related to better performance in sports, studies have shown an increased risk of musculoskeletal injuries especially overuse injuries.

Study Aim: The aim of the systematic review was to find out to what extent an early sports specialization is associated with susceptibility to musculoskeletal injuries. In particular acute injuries and overuse injuries were considered. Potential moderating factors such as gender, training volume or type of sport were identified.

Methods: Studies from the databases PubMed, SportDiscus and SPOLIT were included in this systematic review under consideration of the PRISMA guidelines. Methodological quality was evaluated using the Newcastle Ottawa Scale and the AXIS Tool. The data analysis was performed using qualitative analysis.

Results: The data analysis included 12 studies. In most cases, results have shown that there is a significant increased risk of overuse injuries for high specialized athletes. The association between high specialization and susceptibility to acute injuries was not explicit. Factors like type of sport, gender or training volume also influenced the risk of injury.

Conclusion: The results of the systematic review have shown that early specialization increases the susceptibility to musculoskeletal overuse injuries but there was no clear evidence for an association with acute injuries. Nevertheless further studies need to analyze the connection between early specialization and increased risk for musculoskeletal injuries. It should also be determined to what extent specialization at a young age influences the injury risk at pubertal age. Longitudinal studies should be conducted for comparison across the entire age spectrum.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	7
2 Einführung in das Thema	9
2.1 Definition Sportspezialisierung	9
2.2 Definition der Verletzungsarten.....	12
2.3 Einfluss des Alters auf Verletzungen.....	13
3 Methodik.....	15
3.1 Suchstrategie.....	15
3.2 Einschluss- und Ausschlusskriterien	18
3.3 Studienauswahl	22
3.4 Qualitätsbewertung der Studien.....	27
3.5 Datenextraktion und Datenanalyse	32
4 Ergebnisse.....	34
4.1 Einführung in die Ergebnisse.....	34
4.2 Darstellung der eingeschlossenen Studien.....	34
4.3 Methodische Qualität der Studien.....	45
4.4 Ergebnisse nach Kategorien.....	46
4.4.1 Verletzungstyp	46
4.4.2 Altersspezifische Unterschiede	50
4.4.3 Sportartspezifische Unterschiede	52
4.4.4 Geschlechtsspezifische Unterschiede.....	54
4.4.5 Zusammenhang zwischen Trainingsvolumen und Verletzungsrisiko.....	56
5 Diskussion.....	59
6 Limitationen	64
7 Schlussfolgerung	64

Literaturverzeichnis.....	65
----------------------------------	-----------

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Flussdiagramm zur Auswahl der Studien (modifiziert nach Ziegler et al. 2011)</i>	
.....	26

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Drei-Punkte-Jayanthi-Skala (modifiziert nach Popkin et al., 2019, S.2)</i>	<i>10</i>
<i>Tabelle 2: Definition der Sportspezialisierung und ihrer Elemente (modifiziert nach Bell et al., 2021, S.1242)</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 3: Zusammenfassung der Statements zur früheren Spezialisierung von verschiedenen Organisationen (modifiziert nach Jayanthi et al., 2019, S.1042)</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 4: Wachstums- und Entwicklungsfaktoren von Jugendlichen (Patel et al., 2017) .</i>	<i>15</i>
<i>Tabelle 5: Die im systematischen Review verwendeten Suchstrings</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 6: Einschluss- und Ausschlusskriterien für den Selektionsprozess</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 7: Beurteilung des Verzerrungsrisikos der Fall-Kontroll- und Kohortenstudien ..</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 8: Beurteilung des Verzerrungsrisikos der Querschnittsstudien.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 9: : Übersicht über die Studienqualität, das Verzerrungsrisiko und der Verwendbarkeit der Studien</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 10: Zusammenfassung der untersuchten Studien</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 11: Verteilung der Spezialisierung in den einzelnen Studien.....</i>	<i>42</i>

1 Einleitung

Das große Ziel im Sport ist der Erfolg. Doch wie werden Sportler*innen zu Elite-Sportler*innen und wie erkennt man Talente, die das Potential haben diesen Status zu erlangen? Das Entdecken und gezielte Fördern von Talenten liegt im Fokus des Sportsystems, welches durch die richtigen Maßnahmen die Chance auf Erfolg und langfristige Leistungen im Spitzensport erhöhen will. Ein wichtiger Punkt hierfür ist die Talententwicklung und das Verständnis, wie sich erfolgreiche Spitzensportler von weniger erfolgreichen unterscheiden und was sie im jungen Alter anders gemacht haben. Da es darum geht Talente frühzeitig zu erkennen und zu fördern, spielt die sogenannte frühe sportspezifische Spezialisierung eine wichtige Rolle. Damit ist der Fokus auf eine Sportart und das intensive Training in dieser Sportart gemeint (Güllich & Krüger, 2022). Allgemein kann man Sportspezialisierung als ein „ganzjähriges, intensives Training in einer Sportart unter Ausschluss anderer Sportarten“ definieren (übersetzt nach Jayanthi et al., 2013). Die Methode der frühen Spezialisierung findet sich auch in dem theoretischen Konzept der „deliberate practise“ wieder. Dabei wird davon ausgegangen, dass Sportler*innen, die sich früher auf ein spezifisches Training fokussieren, den Gleichaltrigen, die später anfangen, voraus sind (Ericsson et al., 1993). Auch wenn es Evidenz gibt, dass gezieltes Training und Üben einen positiven Einfluss auf die Entwicklung von Sportler*innen allgemein hat, ist die Notwendigkeit dieses intensiven und sehr gezielten Übens im Kindesalter in Hinblick auf die Entwicklung von Spitzenleistung im Erwachsenenalter nur wenig belegt (Baker, 2003; LaPrade et al., 2016; Petersen et al., 2020). Man denkt eine frühe Spezialisierung sei notwendig, um später eine erfolgreiche Sportkarriere zu haben. Jedoch sind außergewöhnliche Leistungen im Jugendalter kein Prädiktor für den Erfolg und gute Leistungen als Erwachsene*r wodurch sie keine notwendige Bedingung für eine spätere Karriere im Spitzensport sind (Güllich & Krüger, 2022; McLellan et al., 2022). Obwohl eine frühe Spezialisierung in manchen Sportarten nicht notwendig ist, um erfolgreich zu werden, kann die Aussage nicht für alle Sportarten generalisiert werden. Sportarten wie Turnen, Eislaufen, Tanz oder Tauchen profitieren davon, da in diesen Bereichen die Spitzenleistungen zumeist schon vor der vollen Reife erreicht werden (DiSanti & Erickson, 2019; Feeley et al., 2016; Jayanthi et al., 2013; Malina, 2010; McLellan et al., 2022).

Viele bekannte Spitzensportler*innen haben bereits sehr früh mit einem spezifischen Training begonnen und sich auf eine Sportart konzentriert: Tiger Woods (Golf), Mikaela Shiffrin (Skialpin), sowie Venus und Serena Williams (Tennis). Aber einige Elitesportler haben im Kindes- und Jugendalter mehrere Sportarten ausgeübt, bevor sie sich für eine Sportart entschieden haben: Roger Federer (Tennis), Wayne Gretzky (Eishockey), Chris Hoy (Radsport), Michael Jordan (Basketball), Rafael Nadal (Tennis) und Michael Phelps (Schwimmen). Auch hier wird der Zwiespalt der Notwendigkeit einer frühen Spezialisierung sichtbar (Güllich & Krüger, 2022).

Äußere Faktoren, wie der Druck der Eltern, die denken eine frühe Spezialisierung in einer Sportart sei der einzige Weg, um ein Spitzenniveau und damit verbundene Stipendien zu erreichen, haben einen Einfluss darauf, wie sich die jungen Athlet*innen entscheiden. Da die Leistung der Kinder durch Eltern oder Coaches oftmals durch das Erlangen von Stipendien oder den Angeboten professioneller Verträge gemessen wird, steigt der Druck sich früh auf eine Sportart zu spezialisieren (Malina, 2010; McLellan et al., 2022; Smucny et al., 2015; Wiersma, 2000). Doch obwohl der elterliche Druck durchaus eine große Rolle in der Entscheidung spielt, entscheiden sich viele Sportler*innen selbst für den Weg der frühen Spezialisierung (McLellan et al., 2022)

Viele erfolgreiche Jugendliche haben sich früh spezialisiert und spezifisch trainiert, wodurch sie im Jugendalter schnell erfolgreich waren. Dennoch kann das forcierte und gezielte Training im jungen Alter das Risiko für Überlastungsschäden, Burnout, sozialer Isolation oder Sportabbruch erhöhen (Baker, 2003; DiSanti & Erickson, 2019; Güllich & Krüger, 2022; N. Jayanthi et al., 2013; Smucny et al., 2015). Durch das gezielte Training in einer Sportart und somit wenig Erfahrung in anderen Bewegungsmuster besteht die Möglichkeit, dass neuromuskuläre Muster, die vor Verletzungen schützen nicht vollständig entwickelt werden können. Um das erhöhte Verletzungsrisiko bei jungen Sportler*innen verstehen zu können, müssen die Unterschiede in der Physiologie und der Struktur zwischen unreifen und reifen Athlet*innen verstanden werden. Aus orthopädischer Sicht wird das Alter, in dem Athlet*innen wachsen als kritisch angesehen, da in diesem Zeitraum ein erhöhtes Verletzungsrisiko bei repetitiven Aktivitäten besteht (Baker, 2003; Feeley et al., 2016; Jayanthi et al., 2013; LaPrade et al., 2016; Smucny et al., 2015).

Mit diesem Hintergrundwissen bezüglich des Verletzungsrisikos ist das Ziel dieses systematischen Reviews durch die Überprüfung vorhandener Literatur folgende Forschungsfrage zu

beantworten: Führt eine frühe Spezialisierung im Nachwuchsleistungssport zu einer erhöhten Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzungen?

Dabei wird untersucht, ob es einen Unterschied zu denen gibt, die sich nicht frühzeitig spezialisieren. Die vorhandene wissenschaftliche Literatur kann Einblicke auf die negativen Folgen einer Spezialisierung im jungen Alter geben und somit helfen Empfehlungen bezüglich dem Sportverhalten von Nachwuchssportler*innen geben.

2 Einführung in das Thema

2.1 Definition Sportspezialisierung

Sportspezialisierung wird als „ganzjähriges, intensives Training in einer Sportart unter Ausschluss anderer Sportarten“ definiert (übersetzt nach Jayanthi et al., 2013). Basierend auf dieser Definition wurde der Grad der Sportspezialisierung in die Kategorien niedrig, moderat oder hoch eingeteilt. Dieser Sport Spezialisierungswert wurde anhand dreier Fragen beurteilt und wird von den meisten Studien als Drei-Punkte-Jayanthi-Skala referiert. Die Definition der Sportspezialisierung wurde als Grundlage zur Ausarbeitung dieser Skala genutzt, da diese auf den wesentlichen Merkmalen basiert. Die erste Frage bezieht sich auf das Einzelsporttraining, also den Aspekt in der Definition, der das Training in einer Sportart beschreibt. Als nächstes wurde der Ausschluss andere Sportarten genutzt, um die zweite Frage zu formulieren. Und zu guter Letzt wurde das ganzjährige Training als Training in mehr als acht Monaten pro Jahr definiert, wodurch sich die dritte Frage erklärt. Dabei wurde bewusst weder die Intensität noch das wöchentliche Volumen des Trainings mit einbezogen, da versucht wurde, das unabhängige Risiko der Spezialisierung von den beiden Faktoren zu trennen. Für jede positiv beantwortete Frage gibt es einen Punkt und die Summe dieser Punkte wird verwendet, um den Grad der Spezialisierung zuzuweisen. Die positive Beantwortung aller drei Fragen führt zur Kategorisierung in den hoch spezialisierten Spezialisierungsgrad. Treffen die Aussagen von zwei der drei Fragen zu, führt das zu Zuteilung in die Kategorie der moderat spezialisierten Athlet*innen und ist keine oder eine Frage zutreffend folgt Einteilung in die niedrig spezialisierte Kategorie (Jayanthi et al., 2015). Die Skala ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Drei-Punkte-Jayanthi-Skala (modifiziert nach Popkin et al., 2019, S.2)

Drei-Punkte-Jayanthi-Skala

<i>Die drei zu beantwortenden Fragen: (1 Punkt für jedes Ja)</i>	<i>Erreichte Punktzahl = Spezialisierungsgrad</i>	
<i>Kann eine Hauptsportart ausgewählt werden?</i>	0-1	Niedrig spezialisiert
<i>Wurden andere Sportarten aufgegeben, um sich auf die Hauptsportart zu konzentrieren?</i>	2	Moderat spezialisiert
<i>Umfasst das Training mehr als acht Monate im Jahr?</i>	3	Hoch spezialisiert

Unter Verwendung der Delphi-Methode, an der eine Gruppe multidisziplinärer Expert*innen teilnahm, wurde eine konsensbasierte, konzeptionelle Definition für Sportspezialisierung entwickelt. Dabei lautete die endgültige Konsensdefinition wie folgt: „Sportliche Spezialisierung ist eine gezielte und fokussierte Teilnahme an einer einzigen Sportart für den Großteil des Jahres, die die Möglichkeiten zur Teilnahme an anderen Sportarten und Aktivitäten einschränkt“ (übersetzt nach Bell et al., 2021). Dabei können Sportler*innen, die eine oder mehrere Sportarten ausüben, bei der Erfüllung von vereinzelten Kriterien als spezialisierte betrachtet werden. Darunter fallen beispielsweise Athlet*innen, die gezielt und fokussiert an einer einzigen Sportart über mehr als acht Monate im Jahr teilnehmen und dadurch regelmäßig organisierte Trainingseinheiten, Wettkämpfen oder andere strukturierte Trainingsformen absolvieren, wodurch sich die Möglichkeiten zur Ausübung anderer Aktivitäten oder Sportarten einschränken. Sportler*innen gelten ebenfalls als spezialisiert, wenn die Ausübung anderer Sportarten bewusst reduziert oder beendet werden muss, um sich auf die Teilnahme an einer Sportart zu fokussieren. Alternativ kann die Aktivität in nur einem Sport ebenso möglich sein. Außerdem kann eine Spezialisierung die Zeit für andere Aktivitäten einschränken, wie beispielsweise andere Sportarten, schulische oder außerschulische Unternehmungen oder soziale Kontakte. Eine Übersicht der Definition wird in Tabelle 2 dargestellt (Bell et al., 2021).

Tabelle 2: Definition der Sportspezialisierung und ihrer Elemente (modifiziert nach Bell et al., 2021, S.1242)

Sportspezialisierung

Sportliche Spezialisierung ist eine gezielte und fokussierte Teilnahme an einer einzigen Sportart für den Großteil des Jahres, die die Möglichkeiten zur Teilnahme an anderen Sportarten und Aktivitäten einschränkt. Einzel- oder Mehrsportler*innen können als spezialisiert betrachtet, wenn sie einige oder alle der folgenden Kriterien erfüllen.

Teilnahme in einer Sportart für >8 Monate/Jahr, der regelmäßige organisierte Trainingseinheiten, Wettkämpfe und/oder andere strukturierte Trainings umfasst	Der *die Athlet*in hat möglicherweise die Teilnahme an anderen Sportarten eingeschränkt oder beendet habe, um sich auf eine einzige Sportart zu fokussieren, oder hat möglicherweise nur an einer Sportart teilgenommen	Fokussierte Teilnahme an einer Sportart schränkt die Möglichkeiten und verfügbare Zeit für Aktivitäten wie andere Sportarten, akademische Leistungen, außerschulische Aktivitäten, Zeit mit Freund*innen und Engagement in der Gemeinschaft ein.
---	---	--

Da diese Definitionen keine Altersgrenzen angeben, war die Frage offen, ab wann Sportspezialisierung als frühe Sportspezialisierung zählt. Die American Orthopaedic Society of Sports Medicine (AOSSM) führte erstmals das Konzept der frühen Sportspezialisierung ein, in dem es darum ging sich für eine einzelne Sportart zu entscheiden vor dem 12. Lebensjahr (Jayanthi et al., 2019; LaPrade et al., 2016). Jedoch existieren verschiedene Definitionen für eine frühe Spezialisierung und der Mangel an festgelegten Kriterien erschwert die genaue Identifizierung. Die meisten Definitionen geben kein Alter oder Reifegrad an, ab wann die Spezialisierung als früh betrachtet werden kann. Somit wird mit früher Sportspezialisierung im Allgemeinen auf die Spezialisierung vor beziehungsweise während der Reifung in der Pubertät referiert (DiCesare et al., 2019b).

Jayanthi et al. (2019) haben sich mit unterschiedlichen Stellungnahmen zur frühen Sportspezialisierung und zur Entwicklung von Jugendlichen von folgenden Organisationen beschäftigt: American Academy of Pediatrics (AAP), American Medical Orthopaedic Society of Sports Medicine (AOSSM), Fédération Internationale de Médecine du Sport (FIMS), International Olympic Committee (IOC), National Athletic Trainers' Association (NATA) und National Strength and Conditioning Association (NSCA). Die Statements zu unterschiedlichen Themen wurden in Tabelle 3 zusammengefasst (Jayanthi et al., 2019).

Tabelle 3: Zusammenfassung der Statements zur früheren Spezialisierung von verschiedenen Organisationen (modifiziert nach Jayanthi et al., 2019, S.1042)

<i>Thema</i>	<i>Statements zur früheren Sportspezialisierung von verschiedenen Organisationen</i>
<i>Einstellung zur frühen Spezialisierung</i>	Überwiegend abgelehnt (AAP, AMSSM, AOSSM, FIMS, NATA, NSCA), Akzeptable bei Einhaltung breiter Palette an biomechanischen Belastungen im Sport und Gleichgewicht zwischen Sport und Leben (IOC)
<i>Psychosoziale und physische Risiken von früher Spezialisierung</i>	Erhöhtes Risiko für Verletzungen, Stress, Burnout, Überlastungsschäden und psychosoziale Belastungen
<i>Vorteile eines frühen vielseitigen Trainings</i>	Förderung von langfristiger Sportbeteiligung, motorischer Entwicklung und körperlicher Fitness. Reduktion des Verletzungsrisikos. Verbesserung der allgemeinen sportlichen Leistungsfähigkeit
<i>Empfohlenes Alter der Spezialisierung</i>	Spätes Jugendalter (ca. 15-16 Jahre)
<i>Sportliche Ausnahmen</i>	Sportarten wie Turnen, Tauchen oder Eiskunstlauf, bei denen eine frühe Spezialisierung für den sportlichen Erfolg erforderlich ist.
<i>Weitere Empfehlungen</i>	1-2 Ruhetage pro Woche und Sportpausen von 2-3 Monaten im Jahr

2.2 Definition der Verletzungsarten

Die Teilnahme am Sport bringt ein Risiko für Verletzungen mit sich. Dabei betreffen die meisten Sportverletzungen das muskuloskelettale System. Sportverletzungen im Jugendbereich zu definieren ist schwierig, da sie oft von Studie zu Studie variieren. Jedoch kann man verallgemeinernd sagen, dass der Ausfall im Training oder im Spiel, eine verringerte Aktivitätsstufe und die Notwendigkeit einer medizinischen Betreuung Kennzeichen für eine sportbedingte Verletzungen sind. Als Indikator für die Schwere der Verletzung wird häufig der Verlust von Spiel- oder Trainingszeit genutzt. Dabei wird zwischen nicht meldepflichtigen Verletzungen, das sind Verletzungen, bei denen keine Zeit verloren wird, geringfügige Verletzungen mit ein bis sieben Tagen Ausfall, moderaten Verletzungen mit acht bis 21 Tagen Ausfall und schweren Verletzungen mit mehr als 21 Tagen Ausfall oder dauerhafte Beeinträchtigungen differenziert. Außerdem werden weitere Faktoren bei der Bestimmung der Verletzungsschwere berücksichtigt wie beispielsweise die Art der Verletzung, die Behandlungsdauer oder auch Fehlzeiten in der Schule sowie Behandlungskosten (Centers for

Disease Control and Prevention (CDC), 2006; Ekegren et al., 2016; Patel et al., 2017; Patel & Baker, 2006). Die Einteilung von Sportverletzungen erfolgt in zwei große Gruppen, da Verletzungen unfallbedingt, oder überlastungsbedingt auftreten können. Dabei treten ungefähr 60% aller Sportverletzungen im Bereich der unteren Extremitäten auf, ungefähr 30% betreffen die oberen Extremitäten und ungefähr 10% beziehen sich auf den Kopf- und Rumpfbereich. Wichtig dafür ist die Abgrenzung zwischen akuten Verletzungen und Verletzungen durch Überlastung. Akute Verletzungen treten plötzlich auf wie beispielsweise ein Knochenbruch nach einem Sturz. Heißt hierbei werden auch Verletzungen durch Kontakt mit Mitspieler*innen oder Gegenspieler*innen miteinbezogen. Dahingegen entstehen Verletzungen durch Überlastung durch ein Missverhältnis zwischen der Belastbarkeit des Gewebes und der Belastung. Ursachen für Überlastungsverletzungen sind beispielsweise wiederholte hohe Belastungen, die dadurch zu mikroskopisch kleinen Verletzungen im muskuloskelettalen System führen, oder Vorverletzungen, die nicht adäquat berücksichtigt worden sind. Vor allem Sportarten mit anspruchsvoller Technik oder repetitiven Bewegungen können der Entstehung von Überlastungsverletzungen begünstigen. Das gleiche gilt für chronische Wiederholungen spezifische Belastungen des muskuloskelettalen Systems. Ebenso können diese Belastungen bei unzureichender Ruhezeit dazu führen, dass strukturellen Anpassungen nicht ermöglicht werden können, wodurch das Risiko für Verletzungen durch Überlastung steigt (Biese et al., 2020; DiFiori et al., 2014; Güllich & Krüger, 2022; Malina, 2010; Post et al., 2017b). Schätzungsweise führen 30-50% aller sportbedingten Verletzungen bei jugendlichen Sportler*innen auf Überlastung zurück, wobei Verletzungen durch Überlastung bei Jugendlichen weitaus häufiger vorzufinden sind als akute Verletzungen. Akute Verletzungen treten häufiger im Training auf als in Wettkämpfen und sind meistens Weichteilverletzungen, wie beispielsweise Verstauchungen, Prellungen oder Zerrungen. Im Vergleich der verlorenen Trainings- und Wettkampfzeit geht durch Überlastungsverletzungen mehr Zeit verloren als durch akute Traumata (Patel & Baker, 2006).

2.3 Einfluss des Alters auf Verletzungen

Der Zusammenhang zwischen Überlastungsverletzungen bei jugendlichen Athlet*innen ist oftmals durch ihre muskuläre und physiologische Unreife bedingt. Bei wiederholter Beanspruchung kann es somit durch das nicht vollständig entwickelte muskuloskelettale System

zu Verletzungen kommen. Während der Pubertät wächst und reift der Körper jedoch nicht linear, sondern ungleichmäßig. Durch den Wachstumsschubs in der Adoleszenz treten durch die skelettale Unreife Überlastungsverletzungen möglicherweise häufiger auf, da Epiphysen, Apophysen und Gelenkflächen während einer schnellen Wachstumsphase weniger widerstandsfähiger auf Zug-, Druck- und Scherkräfte als reife Knochen oder präpubertäre Knochen sind. Durch die veränderten Eigenschaften des muskuloskelettalen Systems kann es zu Verzerrungen der Biomechanik kommen, wodurch das Risiko für Überlastungsverletzungen steigt. Mögliche Ungleichgewichte zwischen Gliedmaßen und Kraft während des Wachstums können die motorische Kontrolle reduzieren, wodurch das Risiko für akute aber auch allmählich auftretender Verletzungen beziehungsweise Verletzungen durch Überlastung steigt. Ebenso kann es zu Koordinationsproblemen und Instabilität kommen, die die Anfälligkeit für Verletzungen erhöhen. Die verminderte Knochendichte vor dem Wachstumsgipfel ist ein weiterer Risikofaktor wodurch Jugendliche anfälliger für Stressfrakturen werden. Aber auch die Wachstumsfugen sind während des Wachstumsschubes in der Pubertät anfälliger (DiFiori et al., 2014; Feeley et al., 2016; McGowan et al., 2020). Eine Auswahl an Wachstums- und Entwicklungsfaktoren, welche das Risiko für sportbedingte muskuloskelettale Verletzungen bei Jugendlichen beeinflussen ist in Tabelle 4 dargestellt (Patel et al., 2017).

Tabelle 4: Wachstums- und Entwicklungsfaktoren von Jugendlichen (Patel et al., 2017)

<i>Faktor</i>	<i>Kommentare</i>
<i>Größe und Gewicht</i>	Zunahme von Kraft und Momentum durch Anstieg an Körpergröße und Körpergewicht während der Pubertät bei Kollisionen mit anderen Sportlern. Höheres Gewicht steigert die Belastung auf das Skelettsystem
<i>Muskelwachstum und Kraft</i>	Erhöhte Kraftentwicklung durch Zunahme der Muskelhypertrophie während der Pubertät. Effekt bei Jungen ausgeprägter als bei Mädchen
<i>Motorische Fähigkeiten und Leistungsfähigkeit</i>	Verbesserung der motorischen Fähigkeiten in der Adoleszenz führt zu besserer motorischer Leistung und sportspezifischer Fähigkeiten
<i>Körperzusammensetzung</i>	Unterschiede der Fettmasse und fettfreien Körpermasse, sowie Verteilung des Körperfetts zwischen Jungen und Mädchen. Mögliches Einsetzen ungesunder Maßnahmen zur Manipulation der Körperfettmasse durch Sportler*innen
<i>Flexibilität</i>	Abnahme der muskuloskelettale Flexibilität während einer Phase des pubertären Wachstumsschubs. Mädchen flexibler als Jungen
<i>Wachstumsfuge</i>	Anfälligkeit der unreifen Wachstumsfuge für Stressverletzungen
<i>Knochenstruktur</i>	Erhöhtes Risiko für Sehnen- und Bänderverletzungen und knöcherne Abrisse durch relative Schwäche wachsender Knochen
<i>Psychologische Reife</i>	Wahrnehmung der Teilnahme am Sport durch psychosoziale Faktoren und Entwicklung beeinflusst. Direkter Einfluss auf die Einhaltung von Behandlungsmaßnahmen und den Umgang mit Verletzungen

3 Methodik

3.1 Suchstrategie

Für die Literaturrecherche wurden die drei elektronischen Datenbanken PubMed, und SportDiscus, und SPOLIT herangezogen und ausführlich durchsucht. PubMed wird weltweit als Standarddatenbank für biomedizinische Literatur anerkannt und bietet durch die umfassende Sammlung an biomedizinischer und gesundheitsbezogener Literatur eine gute Grundlage für die Recherche im Bereich der Sportspezialisierung und der Verletzungsanfälligkeit im Nachwuchssport (Lu, 2011). Die zweite Datenbank SportDiscus umfasst den Bereich der Sportwissenschaft, Sportmedizin, Kinesiologie und Körperbewegung, wodurch sie den Zugang

zu relevanter Literatur ermöglicht und somit weitere Rechercheergebnisse liefert. Da diese Fachbereiche ebenfalls im Einklang mit der untersuchten Thematik stehen, wurde SportDiscus als Datenbank zur Beantwortung der Fragestellung eingesetzt (Howard et al., 2017). Um den Rechercheprozess abzuschließen und möglicherweise Literatur zu finden, die weder in PubMed, noch in SportDiscus zu finden ist, wurde als dritte Datenbank SPOLIT herangezogen. SPOLIT ist ein Teil des Sportinformationsportals SURF vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp). Als sportwissenschaftliche Literaturdatenbank bietet sie eine gute Grundlage für die in diesem systematischen Review behandelte Fragestellung zum Thema, ob eine frühe Sportspezialisierung die Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzungen im Nachwuchssport erhöht (Streppelhoff et al., 2022).

Für die systematische Literaturrecherche wurden folgende Keywords benutzt, die auf Grundlage der Forschungsfrage ausgesucht wurden: „young“, „youth“, „high school“, „child“, „athlete“, „athletes“, „specialization“, „injury“, „pain“, „overuse“, „risks“.

Um die Auswahl der Suchbegriffe zu begründen, wird die Forschungsfrage näher betrachtet: Führt frühe Spezialisierung im Nachwuchsleistungssport zu einer höheren Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzungen. Diese Formulierung bildete die Grundlage für die Selektion der genannten Keywords. Zum einen geht es um Spezialisierung, wodurch „specialization“ in die Suche mit einbezogen wurde, um Literatur in diesem Themengebiet zu finden. Für diesen Begriff wurden keine Alternativen verwendet, da der Suchvorgang damit am spezifischsten war. Die Population der Publikationen wurde im Bereich des Nachwuchssportes definiert, wodurch sich die Schlüsselwörter „young“, „youth“, „high school“ und „child“ etablierten. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass ausschließlich Veröffentlichungen mit geeigneter Zielgruppe angezeigt werden. Zu Beginn des Suchprozesses wurden noch weitere zwei Keywords verwendet, „pediatric“ und „immature“, als Ergänzung hinsichtlich der Altersgruppe. Jedoch konnte keine weitere Literatur mit diesen zwei Begriffen gefunden werden, weshalb sie aus der Bildung der vier finalen Suchstrings ausgeschlossen wurden.

Da sich die Forschungsfrage nicht nur auf Nachwuchssport bezieht, sondern auf Nachwuchssportspitzensport, fügte man die Suchwörter „athlete“ und „athletes“ hinzu. Beim Vergleich der Suchergebnisse, zeigte sich eine Differenz bei der Verwendung der beiden Wörter, wodurch es als sinnvoll erschien, beide Wörter mit einzubeziehen. Zu guter Letzt ist neben der Spezialisierung das Verletzungsrisiko ein zentraler Bestandteil der Forschungsfrage. Um auch

hier eine möglichst große Vielfalt an Literatur zu finden, fiel die Auswahl auf vier verschiedene Wörter: „injury“, „pain“, „overuse“ und „risks“.

Für die Anordnung der Keywords zu geeigneten Suchstrings wurden die Boolesche Operatoren AND und OR verwendet. Durch die Suchoperatoren konnten verschiedene Suchbegriffe innerhalb eines Suchfeldes kombiniert und somit Literaturdatenbanken durchsucht werden. Für die angewandten Kombinationen wurde der Operator AND benutzt, um sicherzugehen, dass alle damit verknüpften Wörter in den Treffern vorkommen. Da der Aufbau wie beschrieben verschiedene Kategorien aufweist, die alle auf die Forschungsfrage zurückzuführen sind, mussten die Keywords innerhalb einer Kategorie durch einen weiteren Operator (OR) kombiniert werden. Dadurch stellte man sicher, dass entweder das eine oder das andere Schlüsselwort oder beide vorkommen (Baumann, 2007). Mithilfe der booleschen Operatoren und der ausgewählten Suchbegriffe wurden die vier in Tabelle 5 dargestellten Suchstrings definiert.

Der entscheidende Grund, für die Verwendung von vier Suchstrings, anstelle von einem gesammelten in Form von („young“ OR „youth“ OR „high school“ OR „child“) AND („athlete“ OR „athletes“) AND „specialization“ AND („injury“ OR „pain“ OR „overuse“ OR „risks“), war die damit erzielte Trefferzahl. Die identifizierten Studien mithilfe der vier verschiedenen Suchstrings wurden mit dem Ergebnis aus der Suche aus dem gesammelten Suchstring verglichen und zeigten eine höhere Trefferzahl. Deswegen wurde es als sinnvoll erachtet, die Keywords auf vier Suchstrings zu verteilen, um ein umfangreiches Spektrum an Literatur abzudecken und sämtliche relevanten Studien zu identifizieren.

Die aufgezeigte Trefferzahl bezieht sich auf den Recherchezeitraum, der von 10.September 2014 bis zum 10.November 2024 reichte. Studien, die danach veröffentlicht wurden, wurde nicht miteinbezogen. Falls die Trefferzahl abweichen sollte, kann das dadurch erklärt werden.

Tabelle 5: Die im systematischen Review verwendeten Suchstrings

<i>Suchstring</i>	<i>Datenbank</i>	<i>Anzahl der Treffer</i>
("young" OR "youth") AND ("athlete" OR "athletes") AND "specialization" AND ("injury" OR "pain")	PubMed	157
	SportDiscus	146
	SPOLIT	53
("young" OR "youth") AND ("athlete" OR "athletes") AND "specialization" AND ("overuse" OR "risks")	PubMed	105
	SportDiscus	97
	SPOLIT	50
("high school" OR "child") AND ("athlete" OR "athletes") AND "specialization" AND ("injury" OR "pain")	PubMed	107
	SportDiscus	79
	SPOLIT	25
("high school" OR "child") AND ("athlete" OR "athletes") AND "specialization" AND ("overuse" OR "risks")	PubMed	72
	SportDiscus	39
	SPOLIT	22

3.2 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Für den Selektionsprozess wurden konkrete Einschluss- und Ausschlusskriterien auf Grundlage der Forschungsfrage und des methodischen Ansatzes festgelegt. Ziel war die Sicherstellung der Relevanz, der Qualität, sowie der methodischen Homogenität der, mit in die Studienanalyse einbezogenen, Studien.

Unter dem Aspekt, dass die analysierte Literatur dem aktuellen wissenschaftlichen Standard entsprach und eine Relevanz für die gegenwärtige Praxis und Fragestellung gewährleistet werden sollte, wurden Publikationen, die vor dem Jahr 2000 veröffentlicht wurden, von der Analyse ausgeschlossen.

Miteinbezogen wurde ausschließlich Literatur, die auf Deutsch oder Englisch veröffentlicht wurde, um die Verständlichkeit der Studieninhalte zu gewährleisten.

Bezüglich der Population gab es ein ausschlaggebendes Einschlusskriterium, um der Fragestellung bezüglich des Nachwuchsleistungssportes gerecht zu werden. Durch eine ausgiebige Recherche nach der optimalen Eingrenzung des Populationsalters, wurde das Alter auf

≤18 festgelegt. Das heißt das 18. Lebensjahr wird als Obergrenze verwendet, da dieses bereits den Übergang zum frühen Erwachsenenalter darstellt und sich die Forschungsfrage ausschließlich auf das Nachwuchsalter bezieht (Güllich & Krüger, 2022). Die Datenanalyse in dieser Altersspanne ermöglichte die Analyse der Literatur bezüglich des Zusammenhangs zwischen Alter und Verletzungsrisiko spezialisierter Athlet*innen. Ebenso hatte man durch die Erweiterung des Alters die Möglichkeit herauszufinden, welches Alter die meisten Risiken mit sich bringt, was wichtige Informationen für die gegenwärtige Praxis bringen kann (LaPrade et al., 2016; McGowan et al., 2020).

Das Geschlecht wurde nicht als Einschluss- oder Ausschlusskriterium verwendet, da der Vergleich zwischen den weiblichen und männlichen Sportler*innen ebenso untersucht werden sollte. Studien, die sich ausschließlich mit einem Geschlecht befassen, wurden ebenfalls miteinbezogen, da sie wertvolle Informationen bezüglich geschlechterspezifischer Unterschiede im Verletzungsrisiko durch Spezialisierung liefern können. Auch hinsichtlich spezieller Sportarten gab es keinen Grund vereinzelte Sportarten nicht miteinzubeziehen. Das einzige Ausschlusskriterium bezüglich Sportarten war der Fokus auf eine spezielle Position oder Disziplin. Wenn sich eine Studie beispielsweise in Team-Sportarten nur auf eine Spielerposition oder in Individualsportarten auf eine Disziplin konzentrierte und ausschließlich diese untersuchte, wurde die Studie von der Literaturanalyse ausgeschlossen. Der Grund dafür war die schlechte Vergleichbarkeit mit anderen Studien.

Eine ähnliche Vorgehensweise wurde für das Kriterium Verletzungstyp verfolgt. Dieser wurde nicht eingegrenzt, da muskuloskelettale Verletzungen ein breitgefächertes Feld umfassen. Die Ausgrenzung einzelner Studien erfolgte demnach nicht nach dem Verletzungstyp, sondern mehr danach, wie sportartspezifisch die Verletzungen sind. Wenn ein Artikel die untersuchten Verletzungen zu sehr in beispielweise positionsbezogene Verletzungen einteilt und sich ausschließlich auf diese konzentriert, dann wurde dieser von der Datenanalyse ausgeschlossen. Der Grund dafür war die schlechte Vergleichbarkeit der Studienergebnisse.

Das nächste Einschlusskriterium umfasste den Studientyp. Da das Ziel dieser Arbeit ist, die Forschungsfrage mit vorhandener Literatur zu beantworten und sich nicht auf andere Übersichtsarbeiten stützt, wurden für die Literaturanalyse nur Primärstudien miteinbezogen. Dabei wurden Beobachtungsstudien, Querschnittsstudien, Kohortenstudien, Fall-Kontroll-Studien, deskriptive epidemiologische Studien und Fallserien, Befragungsstudien in Form von Umfragen und Retrospektive Studien miteingeschlossen.

Bei retrospektiven Studien wurde eine umfassende Analyse durchgeführt, um zu gewährleisten, dass die Evidenz stimmig ist, die Datenquellen vollständig sind und die Fragestellung auf die retrospektive Analyse abgestimmt sind. Allgemein konnte man durch die Nutzung von Primärstudien sichergehen, dass eigene Analysen spezifisch für die Fragestellung durchführbar sind, da sich auf originäre Datensätze bezogen werden konnte und diese eigenständig analysiert werden konnten. Zusätzlich konnte man die Methodik der Studien betrachten, kontrollieren und bewerten.

Sekundärstudien wurden ebenfalls ausgeschlossen. Das hat die Begründung, dass in diesen keine neuen beziehungsweise eigenen Daten erhoben werden und somit nur Ergebnisse von Studien zusammengefasst werden, was die spezifische Beantwortung der Fragestellung erschwerte. Somit könnte man die Daten der Studien eventuell anders bewerten oder analysieren, da sie bereits in der Sekundärstudie bewertet wurden. Es wurden zwar Studien verwendet, die laut der Arbeit themenspezifisch sind, das sichert jedoch nicht, dass auf dieselben Kriterien geachtet wurde, wie in dieser Arbeit, wodurch die Homogenität der Einschlusskriterien nicht gegeben war. Man hatte auch keinen Einfluss auf die einbezogenen Studien und keine direkte Kontrolle über das Analyseverfahren. Dazu gehören beispielsweise systematische Reviews, Meta-Analysen, Narrative Übersichten, Übersichtsarbeiten, Leitlinien und Empfehlungen und Scoping Reviews. Dissertationen oder wissenschaftliche Artikel wurden in die weitere Datenanalyse miteingeschlossen, solange originäre Daten erhoben und analysiert wurden. Sobald in einem Artikel ausschließlich bestehende Literatur zusammengefasst wurde, wurde dieser von der weiteren Sichtung ausgeschlossen.

Als letztes Einschlusskriterium zählte die Definition von Sportspezialisierung. Damit die Studien miteinander vergleichbar waren, wurde darauf geachtet, dass diese in allen miteinbezogenen Studien den gleichen Grundgedanken hatten. Als Definition wurde wie bereits in der Einleitung beschrieben ein „ganzjähriges, intensives Training in einer Sportart unter der Ausgrenzung anderer Sportarten“ verstanden (übersetzt nach Jayanthi et al., 2013). Ausgehend davon haben Jayanthi et al. (2015) ein drei Fragen System entwickelt, die Drei-Punkte-Jayanthi-Skala, welches zur Kategorisierung der Sportspezialisierung in niedrig, moderat und hoch dienen sollte. Die erste Frage zielt darauf ab, ob eine Hauptsport auswählen werden kann, um den Teil der Definition abzudecken, in dem es um das Training in einer Sportart geht. Um die Ausgrenzung anderer Sportarten abzudecken, umfasst die zweite Frage das

Thema, ob andere Sportarten aufgegeben wurde, um sich auf die Hauptsportart konzentrieren zu können. Und schlussendlich wurde für den Teil des ganzjährigen Trainings gefragt, ob länger als acht Monate im Jahr trainiert wird. Für jede positiv beantwortete Frage wird ein Punkt vergeben, wodurch die Höchstpunktzahl bei drei Punkten liegt. Liegt die Endpunktzahl bei eins erfolgt die Zuteilung in die Kategorie „niedrige Spezialisierung“. Der Bereich der „moderaten Spezialisierung“ trifft bei zwei positiv beantworteten Fragen und somit zwei erreichten Punkten zu. Bei der Höchstpunktzahl, das heißt bei drei mit Ja beantworteten Fragen erfolgt die Zuteilung in die Rubrik „hohe Spezialisierung“ (Jayanthi et al., 2015).

Für die Vergleichbarkeit der mit in die Analyse eingeschlossen Studien, wurde sichergestellt, dass die Methodik hinsichtlich der Definition ähnlich bzw. nahezu ident war. Die Dreipunkte-Jayanthi-Skala wurde somit zu einem ausschlaggebenden Kriterium für die Miteinbeziehung der Studien.

Die eben dargestellten Einschluss- und Ausschlusskriterien werden in Tabelle 6 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 6: Einschluss- und Ausschlusskriterien für den Selektionsprozess

	<i>Einschlusskriterien</i>	<i>Ausschlusskriterien</i>
<i>Publikationsjahr</i>	Veröffentlichung ab 2000	Veröffentlichung vor 2000
<i>Population</i>	Alter ≤ 18 Jahre	Alter < 18
<i>Sportart</i>	Team- & Individual-Sport	Einzelne Spielerpositionen oder Disziplinen
<i>Studientyp</i>	Primärstudien und Literatur mit Erhebung und Analyse originärer Daten	Sekundärstudien und Literatur, die ausschließlich vorhandene Literatur zusammenfasst
<i>Definition</i>	„ganzjähriges, intensives Training in einer Sportart unter der Ausgrenzung anderer Sportarten“	Abweichende Definition von Sportspezialisierung
<i>Bestimmung Sportspezialisierungsgrades</i>	3-Fragen System	Andere Bestimmung des Sportspezialisierungsgrades

3.3 Studienauswahl

Durch die Anwendung der sorgfältig gewählten Suchstrings lag das Ergebnis der Datenbankrecherche bei einer Gesamttrefferanzahl von 952 Publikationen, von denen 441 auf PubMed, 361 auf SportDiscus und 150 auf SPOLIT gefunden wurden. Da die vier verschiedenen Suchstrings in drei Datenbanken angewendet wurden, kam es zu einer erhöhten Anzahl an Literatur, die doppelt erschien. Um Duplikate auszuschließen und somit zu garantieren, dass jedes Werk nur einmal mit in die Analyse miteinbezogen wurde, wurden die Ergebnisse direkt nach der Suche sorgfältig aussortiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass einerseits innerhalb einer Datenbank und andererseits auch zwischen den drei Datenbanken keine Duplikate erschienen. Somit wurde vermieden, dass die Methodik des gesamten Rechercheprozess durch Verzerrungen fehlerhaft wurde, indem Studien mehrfach miteinbezogen wurden und es somit den Anschein erweckte, als würde mehr Literatur bestehen als tatsächlich der Fall war. Insgesamt wurden 634 Duplikate aus dem weiteren Screening-Prozess aussortiert und ausgeschlossen. Somit wurde ausgehend von der Recherche mittels der systematischen Recherche durch die definierten Suchstrings in den drei Datenbanken eine Anzahl von 318 Ergebnissen in den nächsten Punkt des Selektionsprozesses miteinbezogen, der Titelsichtung. Zusätzlich wurden weitere relevante Studien miteinbezogen, die durch manuelle Durchsicht entdeckt wurden, wie beispielsweise durch Referenzlisten oder Hinweise in Fachliteratur. Dadurch versuchte man Lücken der Datenbankanalysen zu schließen und ein möglichst umfangreiches Spektrum an Literatur zu bieten.

Nach dem Entfernen der Duplikate wurde in den jeweiligen Datenbanken ein Filter angewendet, um alle Ergebnisse auszusortieren, die vor dem Jahre 2000 veröffentlicht wurden. Die biomedizinische Datenbank PubMed lieferte nur Quellen, die nach dem Jahr 2000 veröffentlicht wurden, wodurch kein Artikel aussortiert werden musste. Dies spricht für die Aktualität der Rechercheergebnisse und die gegenwärtige Relevanz des Themas. In den beiden anderen Online-Datenbanken wurden jeweils zwei Studien ausgeschlossen. Außerdem wurde ein Filter hinsichtlich der Sprache angewandt, wodurch alle Publikationen, die nicht auf Englisch oder Deutsch veröffentlicht wurden, aussortiert wurden. Dabei wurde lediglich ein Artikel im Suchverlauf im SURF Portal vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft (SPOLIT) gefunden, welcher von der weiteren Sichtung ausgeschlossen wurde.

Nachdem das Rechercheergebnis hinsichtlich der Sprache und des Publikationsdatums bereinigt wurde, wurden die Artikel auf den Studientyp überprüft. Da nur Primärstudien, beziehungsweise Publikationen, welche sich mit der Erhebung und Analyse von originären Daten befassten, mit in das weitere Auswahlverfahren miteinbezogen wurden, mussten die Ergebnisse aus der systematischen Literatursuche weiter eingegrenzt werden. Dabei reduzierten sich innerhalb der Datenbankrecherche in PubMed die Ergebnisse noch einmal um 92 Artikel, in SportDiscus um 41 und in SPOLIT um 13, wodurch man insgesamt 168 Publikationen auf weitere Ausschlusskriterien untersuchte.

Nachdem alle Sekundärstudien, beziehungsweise alle Studien ohne originäre Daten herausgefiltert wurden, betrachtete man das Alter der Studienpopulation. Da man sich auf die Altersgruppe bis einschließlich 18 Jahren festgelegt hat, wurden die Studien, die weiterhin im Sichtungsprozess miteingebunden waren, daraufhin überprüft, ob sie sich bezüglich des Populationsalters für die Datenanalyse eignen. Dadurch ergab sich schlussendlich die Auswahl mit insgesamt 103 Veröffentlichungen für den Screening-Prozess mittels Titel-, Abstrakt- und Volltextsichtung.

Die Titelsichtung, welche den ersten Schritt des Screening-Prozesses der systematischen Literaturrecherche darstellte, umfasste die Überprüfung der davor identifizierten Studien auf ihre Relevanz hinsichtlich der Forschungsfrage und lieferte eine erste Eingrenzung der Ergebnisse. Dabei wurden mithilfe des Titels Studien aussortiert, die offensichtlich nicht mit den Einschlusskriterien übereinstimmten. Dabei wurde einerseits auf die definierten Kriterien geachtet, andererseits auf die Worte, die im Titel vorkommen und bereits Einblick geben, ob die Studie relevant war oder nicht. Der mangelnde Fokus auf den Zusammenhang zwischen Spezialisierung und Verletzungen oder das Beachten von Randsportarten, sowie Spielerpositionen zählte zu den Ausschlusskriterien. Diese effiziente Methode diente dazu irrelevante Literatur zu eliminieren und den Fokus auf geeignetere Publikationen zu legen, welche in der Abstract- und Volltextsichtung genauer betrachtet und überprüft wurden. Insgesamt wurden mittels der Titelsichtung 55 Studien vom weiteren Screening-Prozess entfernt, wodurch 48 Publikationen tiefer geprüft wurden.

Der zweite Schritt im Screening-Prozess nach der Titelsichtung war die Abstractsichtung, die sich auf die Analyse der Abstracts der ausgewählten Literatur bezog. Dabei wurde überprüft, ob die Studien die definierten Einschlusskriterien erfüllen und Relevanz für die Beantwortung der formulierten Forschungsfrage zeigten. Ziel war es, Studien zu wählen, die

mit hoher Wahrscheinlichkeit relevant für die Forschungsfrage waren und diejenigen auszuschließen, die weniger passend waren. Dadurch konnte man die Literatursammlung vor der detaillierten Überprüfung mittels Volltextsichtung eingrenzen. Bei der systematischen Literaturrecherche konnten somit weitere acht Publikationen ausgeschlossen werden, wodurch eine Auswahl an 40 Veröffentlichungen in den finalen Prozess des Screenings, der Volltextsichtung miteingeschlossen wurden.

Die Volltextsichtung prüfte die Studien, die mittels Titelsichtung und Abstractsichtung als potenziell relevant eingestuft wurden. Die vollständige Analyse der Studien überprüfte, ob die definierten Einschlusskriterien wirklich in voller Gänze erfüllt waren. Ebenso wurde überprüft, ob die Studien methodisch geeignet waren und ob sie relevante Informationen zur Beantwortung der Forschungsfrage beinhalten. Dabei wurden die Publikationen ausgeschlossen, die nach genauerer Prüfung nicht vollständig den Anforderungen entsprachen und mögliche Abweichungen bezüglich der Kriterien oder Methodik aufwiesen.

Ein Kriterium, welches sich erst bei genauer Sichtung als komplex erwies, war der kulturelle Hintergrund. Auch wenn das methodische Vorgehen und die Bedingung ähnlich waren, wie bei den anderen Studien, wurden Studien mit großem kulturellem Unterschied nicht miteinbezogen. Vor allem wenn sich Publikationen nicht auf gängigen Literatur und Vorgehensweisen, wie die Drei-Punkte-Jayanthi-Skala (Jayanthi et al., 2015) bezogen.

Obwohl bereits in dem bisherigen Sichtungs-Prozess auf Randsportarten beziehungsweise spezielle Spieler*innenpositionen und Disziplinen, die schwer vergleichbar sind, geachtet wurde, wurden dennoch einige als sinnvoll für die Volltextsichtung identifiziert.

Damit die Publikationen miteinander vergleichbar und die Ergebnisse der Datenanalyse repräsentativ wurden, wurde auf eine einheitliche Nutzung der Sportdefinition geachtet. Das Verwenden der gleichen Definition beziehungsweise des gleichen Ansatzes zur Definierung von Sportspezialisierung trug dazu bei und wurde bei der Volltextsichtung identifiziert. Studien, die Sportspezialisierung abweichend definierten, schloss man an dieser Stelle aus.

Das Achten auf ähnliche Rahmenbedingungen beziehungsweise vergleichbare Bedingungen und ein ähnliches methodisches Vorgehen ließ einen Vergleich zwischen den Studien zu. Das heißt es wurde überprüft, ob die Methodik der Publikationen der zuvor definierten Einschlusskriterien auch mit der Forschungsfrage einhergeht.

Bei der Methodik wurde strikt auf die Drei-Punkte-Jayanthi-Skala geachtet, welche die Definition der Sportspezialisierung bestimmte, beziehungsweise die Einteilung in eine niedrige, moderate und hohe Spezialisierung vorgab. Die Fragen bezogen sich auf die Wahl einer Hauptsportart, die Ausgrenzung anderer Sportarten und die Tatsache, ob länger als acht Monate im Jahr trainiert wurde (Jayanthi et al., 2015). Durch ein einheitliches Verwenden dieser Methode konnte sichergestellt werden, dass die Ergebnisse miteinander vergleichbar waren und Verzerrungen aufgrund anderer Definitionen bzw. Einteilungen minimiert wurden. Dabei schloss man Studien von der finalen Auswahl der Datenanalyse aus, die sich nicht auf die Drei-Punkte-Jayanthi-Skala bezogen.

Für die Auswahl der in die Datenanalyse miteinbezogenen Studien wurde auf die Vergleichbarkeit der Parameter geachtet. Das heißt es wurde berücksichtigt, dass die untersuchten Parameter übereinstimmten, beziehungsweise so gewählt wurden, dass die Studien miteinander vergleichbar waren. Studien, die sich auf Parameter fokussierten, die sich von den anderen abgrenzten und einen anderen spezielleren Bereich umfassten wurden von der weiteren Datenanalyse ausgeschlossen. Ein Parameter, den alle Studien untersuchten, war die Unterscheidung der Verletzungsart in zwei Verletzungsarten: akute Verletzungen und Überlastungsverletzungen. Dabei wurde in den verschiedenen Studien untersucht, welche Verletzungsart im Zusammenhang mit der Spezialisierung auf eine Sportart häufiger auftrat. Der Großteil der finalen Auswahl hat außerdem untersucht, wie sich das Geschlecht auf die Spezialisierung beziehungsweise die damit verbundene Verletzungshäufigkeit auswirkte. Ebenso wurde das Trainingsvolumen und die Trainingsratio analysiert. Dieser Punkt war wichtig, um abzugrenzen, ob der Grad der Spezialisierung oder das Trainingsvolumen der ausschlaggebende Grund für das erhöhte Verletzungsrisiko war, beziehungsweise wie diese zwei Parameter zusammenhingen. Außerdem war das Alter der Probanden ein wichtiger Faktor für die Datenanalyse. Dabei konnte eingrenzt werden, ob und wie das Verletzungsrisiko mit dem Alter korrelierte und ob das Alter einen Einfluss auf die Spezialisierung hatte. Als letzten Punkt wurden Studien miteinbezogen, die den Unterschied zwischen Individualsportart und Mannschaftssportart untersuchten und wie sich die Sportart auf die Spezialisierung und der damit verbundenen Verletzungsgefahr ausgewirkt hat. Des Weiteren wurden Studien miteinbezogen, die mehrere Sportarten untersuchten oder Studien, die sich auf eine Sportart bezogen und dennoch gut in den Vergleich miteinbezogen werden konnten.

Es ergab sich eine Auswahl an Studien, die für die Datenanalyse herangezogen und unter dem Aspekt der Forschungsfrage miteinander verglichen wurden. Von den 40 Studien, welche in die Volltextsichtung miteingeschlossen wurden, umfasste die finale Auswahl 12 Publikationen für die qualitative Zusammenfassung. Abbildung 1 zeigt schematisch einen Überblick über den beschriebenen Aspekt der Studienausswahl.

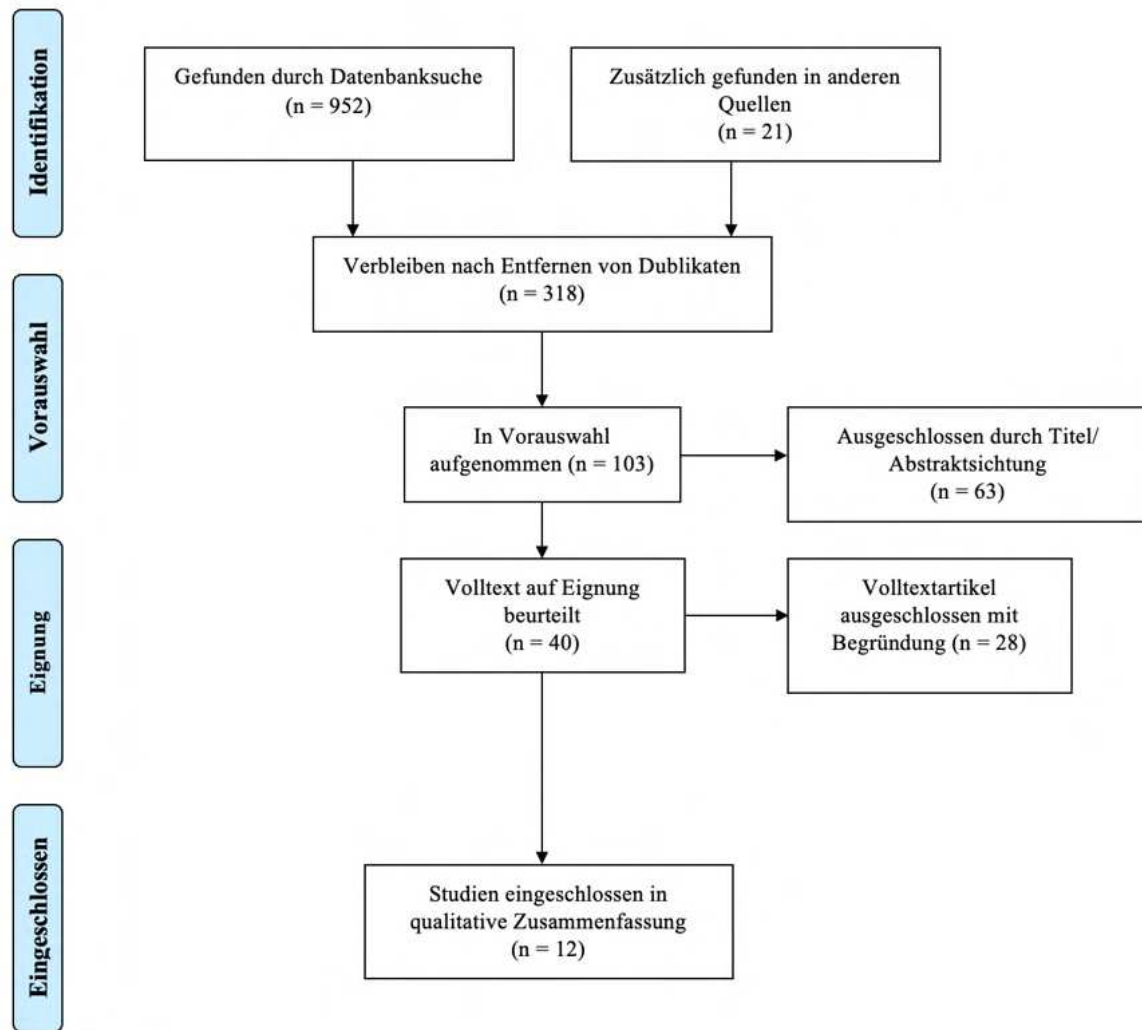


Abbildung 1: Flussdiagramm zur Auswahl der Studien (modifiziert nach Ziegler et al. 2011)

3.4 Qualitätsbewertung der Studien

Da die Studien im Querschnitts-, Kohorten und Fall-Kontroll-Design waren, wurden für die Bewertung des Verzerrungsrisikos zwei unterschiedliche Tools verwendet, welche beide für nicht-randomisierte Studien angewendet werden können. Für die Bewertung des Verzerrungspotentials für die Studien im Fall-Kontroll- und Kohorten-Design wurde die Newcastle Ottawa Skala (NOS) verwendet. Dabei wurde die Studienqualität innerhalb drei verschiedener Bereiche bewertet „Selektion der Studienteilnehmer*innen“, „Vergleichbarkeit“ und „Expositionserfassung“ bei Fall-Kontrollstudien beziehungsweise „Endpunkterfassung“ für Kohortenstudien. Bei der Bewertung wurden Sterne bei jeder erfüllten Bedingung in den jeweiligen Aspekten vergeben. Dabei konnte eine Studie in den Aspekten „Selektion der Studienteilnehmer*innen“ und „Expositionserfassung“/„Endpunkterfassung“ pro Unterpunkt einen Stern erhalten und im Aspekt „Vergleichbarkeit“ pro Unterpunkt ein Maximum an zwei Sternen. Eine Fall-Kontrollstudie beziehungsweise eine Kohortenstudie konnte insgesamt neun Sterne erhalten. Je mehr Sterne eine Studie erhielt, desto niedriger war das Bias-Risiko. Die für die Analyse miteingeschlossenen Fall-Kontroll- und Kohortenstudien wurden mithilfe der Newcastle Ottawa Scale wie in Tabelle 7 sichtbar, beurteilt (Schmucker et al., 2016; Wells et al., o. D.).

Tabelle 7: Beurteilung des Verzerrungsrisikos der Fall-Kontroll- und Kohortenstudien

<i>Autor*innen, Jahr</i>	<i>Studientitel</i>	<i>Gesamtpunktzahl (von 9 Sternen)</i>
<i>Jayanthi et al., 2015</i>	Sports-Specialized Intensive Training and the Risk of Injury in Young Athletes: A Clinical Case-Control Study	6
<i>Jayanthi et al., 2020</i>	Risk of Injuries Associated with Sport Specialization and Intense Training Patterns in Young Athletes	8
<i>McGuine et al., 2017</i>	A Prospective Study on the Effect of Sport Specialization on Lower Extremity Injury Rates in High School Athletes	8
<i>Pasulka et al., 2017</i>	Specialization patterns across various youth sports and relationship to injury risk	9
<i>Post et al., 2017</i>	The Association of Sport Specialization and Training Volume with Injury History in Youth Athletes	6

Für das dritte untersuchte Studiendesign, die Querschnittsstudie, wurde das „Appraisal tool for cross-sectional Studies“ auch bekannt als AXIS, verwendet. Dabei wurde die methodische Qualität bewertet und Schwächen und Verzerrungen identifiziert. Das AXIS Tool umfasst eine Fragebogen mit 20 Fragen, welche unter anderem Bereiche wie Studiendesign, Zielpopulation, Rechtfertigung des Stichprobenumfang oder allgemeine Methoden abfragten. Die einzelnen Fragen wurden mit „Ja“, „Nein“ oder „keine Ahnung“ angegeben (Downes et al., 2016). Wie die Querschnittsstudien, welche in die systematische Analyse miteinbezogen wurde, mit Hilfe des Axis Tools bewertet wurden, ist in Tabelle 8 sichtbar.

Tabelle 8: Beurteilung des Verzerrungsrisikos der Querschnittsstudien

<i>Autor*innen, Jahr</i>	<i>Studientitel</i>	<i>Verzerrungsrisiko</i>
<i>Bell et al., 2016</i>	Prevalence of Sport Specialization in High School Athletics: A 1-Year Observational Study	18
<i>Bell et al., 2018</i>	Sport Specialization Is Associated with Injury History in Youth Soccer Athletes	17
<i>Biese et al., 2020</i>	Evaluation of adolescent sport specialization and injury mechanism by sex: A secondary analysis	18
<i>McGowan et al., 2019</i>	The associations of early specialisation and sport volume with musculoskeletal injury in New Zealand children	19
<i>Murday et al., 2024</i>	Injury Patterns in Highly Specialized Youth Athletes: A Comparison of 2 Pathways to specialization	17
<i>Post et al., 2020</i>	Sport-Specific Associations of Specialization and Sex with Overuse Injury in Youth Athletes	18
<i>Zoellner et al., 2022</i>	Prevalence of sport specialisation and association with injury history in youth football	19

Auch wenn für die Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit ein gemeinsames Tool für alle Studiendesigns durchaus Vorteile hat, wurden bewusst zwei unterschiedliche Instrumente zur Beurteilung der Studien gewählt. Die Newcastle Ottawa Scale und das AXIS Tool wurden durch die spezielle Eignung für die jeweiligen Studiendesigns gewählt, um eine genauere

Bewertung des Verzerrungsrisikos und Beurteilung der Studien zu gewährleisten. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass alle relevanten Aspekte des Studiendesigns untersucht wurden und somit eine präzisere Bewertung möglich war, wodurch sich die Aussagekraft der Bias-Bewertung erhöhte.

Auch wenn die Vergleichbarkeit durch die Beurteilung mittels unterschiedlicher Tools innerhalb der Studienausswahl erschwert wurde, wurden die einzelnen Ergebnisse zusammengefasst und in den drei Kategorien Studienqualität, Verzerrungsrisiko und Verwendbarkeit übersichtlich in Tabelle 9 dargestellt. Die genaue Beurteilung der einzelnen Studien und das strukturelle Vorgehen trug zur methodischen Verlässlichkeit des systematischen Reviews bei.

Tabelle 9: : Übersicht über die Studienqualität, das Verzerrungsrisiko und der Verwendbarkeit der Studien

Autor*innen, Jahr	Studientitel	Studienqualität	Verzerrungsrisiko	Verwendbarkeit
<i>Bell et al., 2016</i>	Prevalence of Sport Specialization in High School Athletics: A 1-Year Observational Study	hoch	niedrig	hoch
<i>Bell et al., 2018</i>	Sport Specialization Is Associated with Injury History in Youth Soccer Athletes	moderat	niedrig bis moderat	beschränkt
<i>Biese et al., 2020</i>	Evaluation of adolescent sport specialization and injury mechanism by sex: A secondary analysis	hoch	niedrig	hoch
<i>Jayanthi et al., 2015</i>	Sports-Specialized Intensive Training and the Risk of Injury in Young Athletes: A Clinical Case-Control Study	moderat	moderat	beschränkt
<i>Jayanthi et al., 2020</i>	Risk of Injuries Associated with Sport Specialization and Intense Training Patterns in Young Athletes	hoch	niedrig	hoch
<i>McGowan et al., 2019</i>	The associations of early specialisation and sport volume with musculoskeletal injury in New Zealand children	hoch	niedrig	hoch

<i>Autor*innen, Jahr</i>	<i>Studientitel</i>	<i>Studienqualität</i>	<i>Verzerrungsrisiko</i>	<i>Verwendbarkeit</i>
<i>McGuine et al., 2017</i>	A Prospective Study on the Effect of Sport Specialization on Lower Extremity Injury Rates in High School Athletes	hoch	niedrig	hoch
<i>Murday et al., 2024</i>	Injury Patterns in Highly Specialized Youth Athletes: A Comparison of 2 Pathways to specialization	moderat	niedrig bis moderat	beschränkt
<i>Pasulka et al., 2017</i>	Specialization patterns across various youth sports and relationship to injury risk	hoch	Gering	hoch
<i>Post et al., 2017</i>	The Association of Sport Specialization and Training Volume with Injury History in Youth Athletes	moderat	moderat	beschränkt
<i>Post et al., 2019</i>	Sport-Specific Associations of Specialization and Sex with Overuse Injury in Youth Athletes	hoch	niedrig	hoch
<i>Zoellner et al., 2022</i>	Prevalence of sport specialisation and association with injury history in youth football	hoch	niedrig	hoch

3.5 Datenextraktion und Datenanalyse

Für die systematische Datenanalyse wurden mithilfe des strukturierten Such- und Selektionsprozess zwölf Studien ausgewählt, die in die qualitative Zusammenfassung und Analyse miteinbezogen wurden. Um aus den ausgewählten Studien die relevanten Informationen systematisch zu sammeln, wurde eine Liste erstellt, mit der die wichtigsten Informationen aus den Studien extrahiert und gesammelt wurden. Diese Daten umfassten allgemeine Informationen, wie Autor*innen, Publikationsjahr und in welchem Land die Studie durchgeführt wurde. Außerdem wurden die Studienmerkmale festgehalten, wie das Studiendesign, welches in der vorhandenen Studiena Auswahl entweder Fall-Kontroll-, Kohorten- oder Querschnittsstudie entsprach. Zusätzlich wurden Informationen zur Studienpopulation gesammelt, wie das Alter der Probanden und falls vorhanden die Geschlechterverteilung der Studienpopulation. Außerdem wurde die Stichprobengröße notiert, der Rekrutierungsweg der Studienteilnehmer*innen und welche Einschluss- beziehungsweise Ausschlusskriterien diesbezüglich angewendet wurden. Für den Aspekt der Verletzung wurde festgehalten, welche Verletzungstypen untersucht wurden. Außerdem wurden die verwendeten Messmethoden und die untersuchten Parameter dokumentiert.

Um Informationen bezüglich der Ergebnisse zu sammeln, wurden zum einen die primären Ergebnisse betrachtet, die sich auf das Verletzungsrisiko durch Spezialisierung bezogen und somit auf die Beantwortung der Forschungsfrage abzielten. Zum anderen wurden sekundäre Ergebnisse notiert, die sich mit weiteren Einflussfaktoren beziehungsweise mit Parametern beschäftigten, die möglicherweise für die Beantwortung der Forschungsfrage relevant waren. Insbesondere in Bezug auf andere Aspekte wie beispielsweise Geschlecht, Alter, Verletzungstyp, Trainingsvolumen oder Sportarten beziehungsweise Mannschafts- oder Individualsport. Außerdem wurde diesbezüglich die Signifikanz der Ergebnisse betrachtet. Für die Verlässlichkeit und Transparenz der systematischen Datenanalyse wurden bezüglich der methodischen Qualität die Studienqualität und das Verzerrungsrisiko analysiert. Die Qualitätsbewertung erfolgte mit Hilfe zwei verschiedener Tools: Die Newcastle Ottawa Scale für Fall-Kontroll-Studien und Kohortenstudien und das AXIS Tool für Studien im Querschnittsdesign. Zusätzlich wurden die Limitationen der Studien protokolliert und die Relevanz der Ergebnisse festgehalten.

Zur Festhaltung der extrahierten Daten wurde unter Berücksichtigung der Kriterien des PRISMA-Statements eine Excel-Liste erstellt, welche konkret auf die Fragestellung des systematischen Reviews zugeschnitten war. In dieser Liste wurden die vorher dargestellten Informationen der Studien gesammelt und für die Datenanalyse aufbereitet. Die Extraktion der Daten erfolgte durch die Verfasserin des systematischen Reviews durch sorgfältige Durchsicht der einzelnen Studien.

Die Datenanalyse, um die Forschungsfrage zu beantworten und einen Zusammenhang zwischen früher Sportspezialisierung und muskuloskelettalen Verletzungen zu beurteilen, erfolgte mittels einer qualitativen Analyse. Somit konnten die Ergebnisse der in die systematische Datenanalyse eingeschlossenen Studien interpretiert und zusammengefasst werden, ohne eine statistische Zusammenführung durchzuführen. Die Studien zeigten bezüglich der Studienpopulation Unterschiede im Alter. Diese Heterogenität wurde für die Interpretation der Auswirkung von früher Spezialisierung genutzt, um herauszufinden, ob frühe Spezialisierung, sprich Spezialisierung im Alter von ungefähr 12 Jahren einen Einfluss auf das Verletzungsrisiko hat. Die vorhandene Heterogenität der Studienpopulation wurde somit gezielt genutzt und zeigte die Vorteile der qualitativen Analyse, um die Ergebnisse richtig zu interpretieren. Bezüglich der Verletzungscharakteristika wiesen die einzelnen Studien leichte Unterschiede auf, da nicht alle dieselben Parameter untersuchten, beziehungsweise einige Studien sich genauer auf die Verletzungen im Sinne von beispielsweise Verletzungsort oder Verletzungsmechanismen fokussierten, während andere nur auf den Verletzungstyp eingingen. Auch hier erschien die narrative Datenanalyse als angemessen, um die Ergebnisse im Kontext der Fragestellung zu bewerten. Das Ziel der qualitativen Analyse war die narrative Zusammenfassung der Hauptergebnisse der Studien und somit Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Trends zu identifizieren. Dabei wurden die primären Ergebnisse der Studien basierend auf der Forschungsfrage zusammengefasst und miteinander verglichen. Außerdem wurden die sekundären Ergebnisse thematisch zusammengefasst, nach den moderierenden Parametern wie Verletzungstyp, Alter, Geschlecht, Sportart oder Trainingsvolumen aufgliedert und unter Berücksichtigung der Forschungsfrage analysiert. Die Auswertung der sekundären Ergebnisse erfolgte in Subgruppen.

Um die Verzerrungsrisiken zu beachten, wurden die Studienergebnisse gemäß ihrer methodischen Qualität und Verzerrungsrisikos in die Analyse miteinbezogen. Die Datenanalyse wurde basierend auf der Datenextraktions-Liste in Excel aufgearbeitet und durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Einführung in die Ergebnisse

Für die Beantwortung der Forschungsfrage, inwiefern sich frühe Spezialisierung im Nachwuchssport auf muskuloskelettale Verletzungen auswirkt, wurden insgesamt zwölf Studien in die Datenanalyse miteinbezogen. Um die Studien qualitativ miteinander vergleichen zu können, wurden diese mit Hilfe von Ausschluss- und Einflusskriterien ausgewählt. Die finale Auswahl wurde auf Grundlage der Forschungsfrage auf die Spezialisierung und das damit verbunden Verletzungsrisiko analysiert. Dabei wurden die Verletzungsarten, die in den einzelnen Studien untersucht wurden, näher betrachtet und wie diese mit Spezialisierung in Verbindung gebracht werden können. Als wichtige Kategorie zur Beantwortung der Forschungsfrage hinsichtlich der frühen Spezialisierung, welche sich auf das präpubertäre und pubertäre Alter bezieht, wurden die altersspezifischen Unterschiede betrachtet. Diesbezüglich erfolgte die Analyse, ob das Alter einen signifikanten Einfluss auf das Risiko für muskuloskelettale Verletzung durch Spezialisierung hatte. Außerdem wurden moderierende Faktoren als sekundäre Ergebnisse überprüft. Unter diesem Aspekt wurden geschlechtsspezifische Unterschiede behandelt und inwiefern sich das Geschlecht in die Auswirkung der Spezialisierung auf das Verletzungsrisiko auswirkt. Zusätzlich wurden sportartspezifische Unterschiede untersucht, wobei näher betrachtet wurde, ob die Sportart einen Einfluss auf den untersuchten Zusammenhang hatte. Ebenso wurden Mannschaftssportarten mit Individualsportarten verglichen, aber auch einzelne Sportarten, um zu sehen, ob gewisse Sportarten anfälliger für Verletzungen durch Spezialisierung sind als andere.

Für eine strukturierte Auswertung der Ergebnisse wurden die Ergebnisse in diese Kategorien aufgeteilt und bewertet.

4.2 Darstellung der eingeschlossenen Studien

Die in der Datenextraktion dokumentierten Daten sind in vereinfachter Form in Tabelle 10 dargestellt. Um diese übersichtlicher zu gestalten wurden die wichtigsten Parameter wie Autor*innen, Jahr, Titel der Studie, Studiendesign, Studienpopulation, Stichprobengröße, Verletzungstyp/-arten und die primären Ergebnisse tabellarisch dargestellt. Insgesamt umfasste die Datenanalyse zwölf Studien.

Tabelle 10: Zusammenfassung der untersuchten Studien

<i>Autor*innen, Jahr</i>	<i>Titel der Studie</i>	<i>Studiendesign</i>	<i>Studienpopulation</i>	<i>Stichprobengröße</i>	<i>Verletzungstyp/-arten</i>	<i>Primäre Ergebnisse</i>
<i>Bell et al., 2016</i>	Prevalence of Sport Specialization in High School Athletics: A 1-Year Observational Study	Querschnittsstudie	13-18 Jahre	302	Knieverletzung Überlastungshüftverletzung Überlastungsknieverletzung	kein Zusammenhang zwischen akuten Verletzungen und Spezialisierung ($p > .05$) Athlet*innen mit Verletzungsgeschichte Knieüberlastungsverletzung eher in der hoch spezialisierten Gruppe ($p = .048$)
<i>Bell et al., 2018</i>	Sport Specialization Is Associated with Injury History in Youth Soccer Athletes	Querschnittsstudie	12-18 Jahre	761	akute Knieverletzung Überlastungsknieverletzung akute Knieverletzung (fußballspezifisch) Überlastungsknieverletzung (fußballspezifisch)	erhöhtes Risiko für Überlastungsknieverletzungen bei hoch spezialisierten ($p = .03$) erhöhtes Risiko für akute Knieverletzungen bei hoch spezialisierten ($p = .046$) Fußballspezifische Überlastung: hoch spezialisierte erhöhtes Risiko Überlastungsknieverletzungen ($p < .001$), Fußballspezifische akute Verletzung: hoch spezialisierten erhöhtes Risiko durch Fußball ($p = .005$)
<i>Biese et al., 2020</i>	Evaluation of adolescent sport specialization and injury mechanism by sex: A secondary analysis	Querschnittsstudie	12-18 Jahre	2011	akute Verletzung Überlastungsverletzung	hoch ($p = .009$) und moderat ($p = .003$) spezialisierte Athlet*innen signifikant erhöhtes Risiko für Überlastungsverletzungen hoch spezialisierte Athlet*innen signifikant erhöhtes Risiko akute Verletzungen ($p = .002$)

<i>Jayanthi et al., 2015</i>	Sports-Specialized Intensive Training and the Risk of Injury in Young Athletes: A Clinical Case-Control Study	Fall-Kontroll-Studie	7-18 Jahre	1190	akute Verletzung Überlastungsverletzung	hoch spezialisierte Athlet*innen, größtes Risiko für schwere Überlastungsverletzungen ($p < .001$) und Überlastungsverletzungen ($p < .05$), kein höheres Risiko für akute Verletzungen ($p = .472$)
	Risk of Injuries Associated with Sport Specialization and Intense Training Patterns in Young Athletes	Fall-Kontroll-Studie	7-18 Jahre	579	akute Verletzung Überlastungsverletzung ernsthafte Überlastung	verletzte Teilnehmer*innen eher hoch spezialisiert (31% verletzt, 18% unverletzt) hoch spezialisierte Athlet*innen höhere Wahrscheinlichkeit für eine Verletzung als niedrig spezialisierte ($p = .02$) hoch spezialisierte Athlet*innen höhere Wahrscheinlichkeit für Überlastung als niedrig spezialisierte ($p = .03$) mäßig spezialisierte Athlet*innen höhere Wahrscheinlichkeit für Überlastungsverletzung als niedrig spezialisierte ($p = .007$)
<i>McGowan et al., 2020</i>	The associations of early specialization and sport volume with musculoskeletal injury in New Zealand children	Querschnittsstudie	10-13 Jahre	914	Akute Verletzungen allmählich auftretende Verletzungen (Überlastung oder auch Wachstumsbedingt)	keine erhöhte Verletzungswahrscheinlichkeit bei hoch oder mäßig spezialisierten im Gegensatz zu niedrig

<i>McGuine et al., 2017</i>	A Prospective Study on the Effect of Sport Specialization on Lower Extremity Injury Rates in High School Athletes	Kohortenstudie	15-18 Jahre	1544	Verletzungen unterer Extremitäten	Inzidenz von Verletzungen unterer Extremitäten bei hoch ($p=.02$) und moderat ($p=.03$) spezialisierten höher als bei niedrig spezialisierten Teilnehmer*innen
					akute Verletzung allmählich auftretende oder wiederkehrende Verletzung	Inzidenz von nicht akuten Verletzungen unterer Extremitäten bei hoch ($p<.001$) und moderat ($p=.005$) spezialisierten Teilnehmer*innen höher als bei niedrigen spezialisierten Teilnehmer*innen
<i>Murday et al., 2024</i>	Injury Patterns in Highly Specialized Youth Athletes: A Comparison of 2 Pathways to specialization	Querschnittsstudie	12-18 Jahre	1171	akute Verletzung	Anteil Überlastungsverletzungen im Vergleich zur niedrig-mäßigen Gruppe höher in der exklusiv hoch spezialisierten Gruppe ($p=.001$) und der weiterentwickelten hoch spezialisierten Gruppe ($p=.02$) kein Unterschied der Verletzungsverteilung durch die Art des Spezialisierungsweges
					Überlastungsverletzung ernsthafte Überlastungsverletzung	
<i>Pasulka et al., 2017</i>	Specialization patterns across various youth sports and relationship to injury risk	Fall-Kontroll-Studie	7-18 Jahre	1190	akute Verletzung	Spezialisierte im Individualsport mehr Überlastungsverletzungen ($p=.037$) und schwere Überlastungsverletzungen ($p=.011$), aber geringeren Anteil an akuten Verletzungen ($p=.001$) als spezialisierte im Teamsport
					Überlastungsverletzung ernsthafte Überlastungsverletzung	

Post et al., 2017	The Association of Sport Specialization and Training Volume with Injury History in Youth Athletes	Fall-Kontroll-Studie	12-18 Jahre	2011	akute Verletzung	Hoch spezialisierte Athlet*innen eher Vorgeschichte Verletzungen jeglicher Art (p<.001), Überlastungsverletzung (p<.05) oder Überlastungsverletzungen der oberen Extremitäten (p<.05)
					Überlastungsverletzung unterer Extremitäten	Hoch spezialisierte Athlet*innen höhere Wahrscheinlichkeit akute Verletzungen jeglicher Art (p<.001), akute Verletzungen der oberen Extremitäten (p=.011) und akute Verletzungen der unteren Extremitäten(p=.015) im Vergleich zu niedrig spezialisierten.
					Überlastungsverletzung oberer Extremitäten	hohe Spezialisierung mit Überlastungsverletzungsgeschichten verbunden im Volleyball (p=.01)
Post et al., 2019	Sport-Specific Associations of Specialization and Sex with Overuse Injury in Youth Athletes	Querschnittsstudie	12-18 Jahre	716	Überlastungsverletzung	Hoch spezialisierte Athlet*innen höhere Wahrscheinlichkeit eine allmählich auftretende Verletzung zu melden im Vergleich zu niedrig spezialisierten (p=.01)
Zoellner et al., 2022	Prevalence of sport specialisation and association with injury history in youth football	Querschnittsstudie	10-15 Jahre	340	akute Verletzung	Keine Assoziation zwischen Spezialisierung und akuten Verletzungen oder allgemeinen Verletzungen
					allmählich auftretende Verletzung	
					allgemeine Verletzungen	

Die älteste Studie war von Jayanthi et al. aus dem Jahr 2015 und die aktuellste von Murday et al. aus dem Jahr 2024. Somit entsprach die finale Studienauswahl dem aktuellen wissenschaftlichen Stand, da die Studien nicht weiter als 10 Jahre zurückgingen (Jayanthi et al., 2015; Murday et al., 2024)

Außerdem waren die Studien hinsichtlich ihres Publikationslandes vergleichbar, da zehn der Studien in den USA durchgeführt wurden und zwei in Neuseeland. Die Tatsache, dass beide Länder eine starke Nachwuchsleistungssportkultur besitzen und organisierte Trainings- und Wettkampfsysteme bieten, schuf die Grundlage für eine Analyse der Auswirkung von früher Sportspezialisierung auf die muskuloskelettale Verletzungsanfälligkeit (Schickmair, 2020).

In der Kategorie Studientyp konnten drei verschiedene Studiendesigns festgestellt werden. Sieben, der mit in die Datenanalyse einbezogenen Studien, war im Querschnittsdesign. Außerdem wurden vier Fall-Kontroll-Studien und eine Kohortenstudie verwendet.

Bezüglich der Studienpopulation der eingeschlossenen Arbeiten wurde darauf geachtet, dass das Alter von 18 Jahren nicht überschritten wurde. Dennoch variierten die Altersspannen der einzelnen Studien. Fünf Publikationen untersuchten Jugendliche im Alter von 12-18 Jahren, gefolgt der Altersspanne 7-18 Jahre, was zeigt, dass auch jüngere Kinder mit in die Analyse miteingebunden wurden. Vier der Studien befassten sich mit spezifischeren Spannen der Altersgruppe wie beispielweise 13-18 Jahre, 10-13 Jahre, 15-18 Jahre und 10-15 Jahre. Durch die unterschiedlichen Altersgruppen und Altersspannen konnte man die Beziehung zwischen Sportspezialisierung und Verletzungsrisiko in den verschiedenen Altersstufen und somit auch Entwicklungsstufen analysieren. Die Geschlechterverteilung war bei der Hälfte der Studien ziemlich ausgeglichen, wobei die andere Hälfte der Studien einen höheren Anteil des weiblichen Geschlechts aufwies. Dennoch war die Frauenquote in den Studien nie höher als 60% verglichen zu dem Anteil an männlichen Probanden. Die Ausnahme war die Studie von Post et al. (2020), bei der 70.8% der Studienteilnehmer*innen weiblich waren. Der Grund dafür waren die Proband*innen in der Sportart Volleyball, da nur weibliche Volleyballspielerinnen teilgenommen haben und keine männlichen Volleyballspieler (Post et al., 2020).

Für die Rekrutierung der Teilnehmer*innen wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt. Die Rekrutierung über Turniere, Wettkämpfe oder Sportereignisse wurde am häufigsten verwen-

det (n=5), wodurch junge Athlet*innen, die an organisiertem Sport teilnahmen und verschiedene Spezialisierungsstufen aufwiesen, mit eingebunden werden konnten. Ein weiterer verwendeter Ansatz war das Rekrutieren von Athlet*innen mit sportbezogenen Verletzungen über sportmedizinische Kliniken (n=4). Unverletzte Athlet*innen als Kontrollgruppe wurden mittels der angeschlossenen Hausarztpraxen eingebunden. Ebenso nutzten Studien Highschools, um potenzielle Studienteilnehmer*innen zu finden (n=2). Darüber hinaus war die Nutzung von sozialen Medien oder Kommunikationskanälen wie E-Mail ebenso angesprochen worden, um Links zu den Umfragen zu verbreiten und somit die passende Zielgruppe zu erreichen und anzusprechen (n=1).

Die Einschlusskriterien waren bei allen Studien einheitlich indem bestimmt wurde, dass eine Teilnahme im organisierten Sport eine notwendige Voraussetzung zur Einbindung in die Studie war. Das ist auch wichtig bezüglich der Forschungsfrage, die sich auf Nachwuchsleistungssport bezieht und somit das Teilnehmen am organisierten Sport notwendig ist, um die richtige Grundlage für die Beantwortung der Forschungsfrage zu schaffen.

Bezüglich der Stichprobengröße der eingeschlossenen Studien, gab es kleinere Studien mit 302 oder 340 Teilnehmer*innen (Bell et al., 2016; Zoellner et al., 2022), aber auch Studien mit größeren Proband*innengruppen, das heißt mit über 2000 Teilnehmer*innen (Biese et al., 2020; Post et al., 2017a). Fünf weitere Studien hatten eine Stichprobengröße von über 1000 (Jayanthi et al., 2015; McGuine et al., 2017; Murday et al., 2024; Pasulka et al., 2017) und die übrigen Publikationen befanden sich im Bereich von 700-900 Proband*innen (Bell et al., 2018; McGowan et al., 2020; Post et al., 2020). Bei der Studie von Jayanthi et al. (2020) wurden 1208 Athlet*innen in die Studie mitaufgenommen, jedoch reduzierte sich die Proband*innengröße nach der Basiserhebung und der ersten Follow-up Untersuchung sechs Monate später, auf 579 Studienteilnehmer*innen und reduzierte sich bis zu den Untersuchungen nach 18 Monaten und drei Jahren weiter. Durch die unterschiedlichen Stichprobengrößen konnte einerseits durch die großen Teilnehmer*innenbereiche ein breites Spektrum von verschiedenen Altersgruppen und Sportarten abgedeckt werden. Andererseits ermöglichten kleine Studien mit wenig Teilnehmer*innen eine detailliertere Analyse. Somit zeigte die Auswahl der mit in die Analyse eingeschlossenen Studien eine große Vielfalt an methodischen Ansätzen bezüglich der Stichprobengröße, wodurch die Ergebnisse repräsentativer und generalisierbarer wurden.

Wichtig für die Forschungsfrage, inwiefern sich eine frühe Spezialisierung auf muskuloskelettale Verletzungen im Nachwuchsleistungssport auswirkt, ist die Untersuchung der Verletzungsart beziehungsweise der Verletzungstypen. Die in der finalen Studienauswahl untersuchten Verletzungen konnten hauptsächlich in zwei Kategorien aufgeteilt werden: akute Verletzungen und Überlastungsverletzungen. Drei Studien unterteilten die Verletzungen durch Überlastung noch einmal in Überlastungsverletzungen und ernsthafte Überlastungsverletzungen (Jayanthi et al., 2020; Murday et al., 2024; Pasulka et al., 2017). Weitere drei Studien benutzten anstelle des Begriffes Überlastungsverletzung den Ausdruck allmählich auftretende Verletzungen. Diese beinhalten Verletzungen durch Überlastung, aber auch beispielsweise wachstumsbedingte Verletzungen, sprich allgemein Verletzungen, die nicht akut, sondern allmählich auftreten (McGowan et al., 2020; McGuine et al., 2017; Zoellner et al., 2022). Außerdem haben sich drei Studien speziell auf Verletzungen der unteren Extremitäten fokussiert, speziell auf Knie- und Hüftverletzungen (Bell et al., 2016, 2018; McGuine et al., 2017). Durch die vielseitige Untersuchung von entstehenden Verletzungen kann eine große Bandbreite an Risiken durch Sportspezialisierung im Nachwuchsleistungssport abgedeckt werden. Somit kann die Analyse der Verletzungsmuster im Zusammenhang mit dem Spezialisierungslevel präziser durchgeführt werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt zur Beantwortung der Forschungsfrage ist die Spezialisierung beziehungsweise die Einstufung der Spezialisierung in verschiedene Kategorien. Wie bereits im Kapitel 2.2 Ein- und Ausschlusskriterien beschrieben, wurde die Drei-Punkte-Jayanthi-Skala von Jayanthi et al. (2015) genutzt um die Kategorisierung der Sportspezialisierung in niedrig, moderat und hoch durchzuführen (Jayanthi et al., 2015). Dabei wurden die miteinbezogenen Studien bezüglich der Spezialisierungskategorien untersucht und schematisch dargestellt. In fünf der analysierten Studien war der höchste Prozentsatz der Proband*innen der Kategorie hoch spezialisiert zugeteilt (Bell et al., 2016, 2018; Post et al., 2020; Post et al., 2017a; Zoellner et al., 2022), wobei sich bei zwei Studien der Prozentsatz von hoch spezialisierten Athlet*innen zu moderat spezialisierten Athlet*innen nur sehr gering, <1%, unterschieden (Bell et al., 2018; Post et al., 2017a). Wie sich die Spezialisierung in den einzelnen Studien verteilt ist in Tabelle 11 zu sehen.

Tabelle 11: Verteilung der Spezialisierung in den einzelnen Studien

Autor*innen, Jahr	Titel der Studie	Spezialisierung		
		Hoch	Moderat	Niedrig
<i>Bell et al., 2016</i>	Prevalence of Sport Specialization in High School Athletics: A 1-Year Observational Study	36,4%	28,8%	34,8%
<i>Bell et al., 2018</i>	Sport Specialization Is Associated with Injury History in Youth Soccer Athletes	35,7%	35,6%	28,6%
<i>Biese et al., 2020</i>	Evaluation of adolescent sport specialization and injury mechanism by sex: A secondary analysis	30,6%	37,2%	32,0%
<i>Jayanthi et al., 2015</i>	Sports-Specialized Intensive Training and the Risk of Injury in Young Athletes: A Clinical Case-Control Study	28,1%	33,7%	38,2%
<i>Jayanthi et al., 2020</i>	Risk of Injuries Associated with Sport Specialization and Intense Training Patterns in Young Athletes	28%	29,0%	44,0%
<i>McGowan et al., 2019</i>	The associations of early specialisation and sport volume with musculoskeletal injury in New Zealand children	25%	43,0%	32,0%
<i>McGuine et al., 2017</i>	A Prospective Study on the Effect of Sport Specialization on Lower Extremity Injury Rates in High School Athletes	13,3%	27,2%	59,5%
<i>Post et al., 2017</i>	The Association of Sport Specialization and Training Volume with Injury History in Youth Athletes	37,5%	37,2%	25,2%
<i>Post et al., 2019</i>	Sport-Specific Associations of Specialization and Sex with Overuse Injury in Youth Athletes	41,8%	35,9%	22,3%
<i>Zoellner et al., 2022</i>	Prevalence of sport specialisation and association with injury history in youth football	43%	38,0%	19,0%

Bei drei der untersuchten Studien konnte festgestellt werden, dass der Anteil der niedrig spezialisierten Teilnehmer*innen im Gegensatz zu den zwei anderen Kategorien am höchsten war (Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; McGuine et al., 2017). Dies zeigte, dass einige Studien zwar einen hohen Anteil an hoch spezialisierten Athlet*innen aufwiesen, dennoch auch Studien miteinbezogen wurden, die einen hohen Prozentsatz an niedrig spezialisierten Proband*innen zeigten. Diese heterogene Zusammensetzung der Proband*innen der analysierten Studien bezüglich der Verteilung des Spezialisierungsgrades, konnte für die Bewertung des Verletzungsrisikos genutzt werden. Die Abhängigkeit der Anfälligkeit für Verletzungen durch einen gewissen Grad an Spezialisierung konnte dadurch genauer analysiert werden.

Zwei Studien wurden bewusst nicht tabellarisch dargestellt, da sie trotz der Verwendung der Drei-Punkte-Jayanthi-Skala den Spezialisierungsgrad nicht in die drei üblichen Kategorien hoch, moderat und niedrig eingeteilt hatten (Jayanthi et al., 2015).

Murday et al. (2024) haben die Probanden basierend auf den Antworten der drei Fragen kategorisiert. Die drei Fragen, ob man (1) nur eine Sportart ausübt, ob man (2) in diesem Sport über acht Monate im Jahr trainiert und ob man (3) andere Sportarten aufgegeben hat, um diese Sportart auszuüben. Dabei wurden die Proband*innen bei der positiven Beantwortung der Fragen (1) und (2) in die Gruppe der exklusiv hoch spezialisierten Athlet*innen eingeteilt, wenn man die Frage (3) verneint hat. In diesem Fall mussten keine anderen Sportarten aufgeben werden, da solche nie neben der Hauptsportart ausgeübt wurden. Bei positiver Beantwortung aller drei Fragen, wurde der*die Proband*in in die Gruppe der evolviert hoch spezialisierten Athlet*innen eingeteilt, da eine oder mehrere Sportarten aufgeben werden mussten, um sich auf den Hauptsport zu fokussieren. Schlussendlich wurden neben den beiden hoch spezialisierten Gruppen, die Kategorie niedrig und moderat zu der Sammelkategorie niedrig-moderat spezialisierte Athlet*innen zusammengefasst. Dabei übten die Athlet*innen entweder mehrere Sportarten aus oder trainierten weniger als acht Monate pro Jahr in ihrer Hauptsportart. Beide Aussagen hatten die Einteilung in die nicht hoch spezialisierte Gruppe zur Folge. Ziel dieser Einteilung war es, herauszufinden, ob es einen Unterschied in der Art des Spezialisierungsweges zwischen denen, die nie eine andere Sportart ausgeübt hatten (exklusiv hoch spezialisiert) und denen, die andere Sportarten aufgegeben hatten, um sich auf eine Hauptsportart zu spezialisieren (evolviert hoch spezialisiert) bezüglich des Ver-

letzungsrisikos gab. Der Großteil der untersuchten Proband*innen gehörte der niedrig-moderat spezialisierten Gruppe an (64,5%), gefolgt von der evolviert hoch spezialisierten Gruppe (21,1%) und der exklusiv hoch spezialisierten Gruppe (14,4%) (Murday et al., 2024).

Die zweite Studie, die nicht in Tabelle 10 aufgelistet ist, ist die Fall-Kontroll-Studie von Pasulka et al. (2017). Bei der Kategorisierung wurde in spezialisierte, im Sinne von der Spezialisierung auf eine Sportart, und nicht spezialisierte Athlet*innen aufgeteilt. Als auf einen einzelnen Sport spezialisierte Athlet*innen zählten diejenigen, die folgende Aussagen des drei Fragen Systems positiv beantwortet hatten: (1) Kann man eine Hauptsportart auswählen, (2) wurde über acht Monate in dieser Sportart trainiert und (3) nannten nur einen Sport, in dem sie teilnahmen oder Wettkämpfe bestritten haben. Der Prozentsatz für die Teilnehmer*innen, die als auf einen einzelnen Sport spezialisiert galten, betrug 26,3%. Für die Analyse in den einzelnen Sportarten wurden dennoch die Kategorien hoch, moderat und niedrig spezialisiert nach Jayanthi et al. (2015) genutzt (Jayanthi et al., 2015; Pasulka et al., 2017).

Für die Datenerfassung wurden in allen Studien Fragebögen verwendet. Dadurch konnten Teilnehmer*innendaten und Informationen wie den Spezialisierungsgrad, das Trainingsvolumen oder die Verletzungsgeschichte erfasst und gesammelt werden. Studien, die die verletzten Proband*innen über sportmedizinische Kliniken rekrutierten, konnten Informationen bezüglich der Verletzungshistorie aus den medizinischen Akten verwenden, um gezielte Details über die Diagnose zu erhalten. Beachtet wurden unter anderem der Verletzungstyp, der Verletzungsmechanismus und die verletzte Körperregion (Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; Murday et al., 2024; Pasulka et al., 2017).

Die untersuchten Parameter variierten in den Studien. Dennoch untersuchten alle miteinbezogenen Studien den Spezialisierungsgrad, den Verletzungstyp und das Geschlecht, wobei das Geschlecht in einer Studie weniger miteinbezogen wurde (Jayanthi et al., 2015). Bei neun der zwölf mit in die Analyse einbezogenen Studien wurde das Trainingsvolumen beziehungsweise auch teilweise die Ratio zwischen verbrachten Stunden im organisierten Sport im Vergleich zu Stunden im freien Spiel dokumentiert und ausgewertet (Bell et al., 2016, 2018; N. Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; McGowan et al., 2020; Pasulka et al., 2017; Post et al., 2020; Post et al., 2017a; Zoellner et al., 2022). McGuine (2017) untersuchte nur das Wettkampfvolumen, aber nicht das allgemeine Trainingsvolumen (McGuine et al., 2017). Des Weiteren wurde in sieben Studien das Alter genauer analysiert (Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; McGowan et al., 2020; Murday et al., 2024; Pasulka et al., 2017;

Post et al., 2017a; Zoellner et al., 2022). Ein weiterer Parameter, der von acht Studien untersucht wurde, ist der Sport Typ beziehungsweise die Sportart. Durch die Betrachtung unterschiedlicher Sportarten konnte die Auswirkung der Spezialisierung auf die Verletzungshäufigkeit beziehungsweise das Verletzungsrisiko in verschiedenen Disziplinen untersucht werden. Somit konnten Unterschiede in Teamsportarten und Individualsportarten analysiert werden (Bell et al., 2016; Biese et al., 2020; Murday et al., 2024; Pasulka et al., 2017; Post et al., 2017a). Zwei Studien untersuchten den Zusammenhang zwischen Spezialisierung und Verletzungsrisiko speziell im Fußball, was somit auch in die Analyse miteinbezogen werden konnte, da andere Studien weitere Sportarten betrachten (Bell et al., 2018; Zoellner et al., 2022). Post et al. (2020) beschäftigte sich neben Volleyball und Basketball ebenfalls mit Fußball. Somit deckten die Studien eine Vielzahl an unterschiedlichen Sportarten ab, wodurch der mögliche Einfluss der Sportart auf das Verletzungsrisiko durch Spezialisierung untersucht werden konnten.

4.3 Methodische Qualität der Studien

Die berücksichtigten Studien wiesen hinsichtlich der methodischen Qualität eine gewisse Heterogenität bezüglich der Studiendesigns, der Datenerhebungsmethoden und der Bewertungskriterien auf. Der Großteil der Studien war im Querschnitt- und Fall-Kontroll-Design, wodurch Assoziationen zwischen den unterschiedlichen Parametern wie Verletzungsrisiko und Spezialisierung festgestellt werden konnten, jedoch keine eindeutigen kausalen Schlussfolgerungen zuließen.

Die Methodik zur Erfassung beziehungsweise Bewertung des Spezialisierungsgrade wurde einheitlich durch die Drei-Punkte-Jayanthi-Skala durchgeführt (Jayanthi et al., 2015). Somit wurden die Proband*innen in die Kategorien niedrig, moderat, und hoch spezialisiert eingeteilt. Durch das Nutzen von einheitlichen Skalen konnten die Studien systematisch miteinander verglichen werden. Jedoch war die Überprüfung der Validität nicht immer umfassend oder an verschiedene Studienbedingungen angepasst, wie beispielsweise an verschiedene Sportarten, oder die Tatsache, dass manche Sportler*innen keine Sportart aufgeben mussten, da sie nie ein andere ausgeübt haben. Dies kann zur Einschränkung der Generalisierbarkeit der Ergebnisse führen. Ebenso anfällig für Verzerrungen war ein Teil der Datenerhebung,

da dieser auf retrospektiven Selbstberichten der Proband*innen basiert. Vor allem die Verletzungsgeschichte könnte Erinnerungsverzerrungen aufweisen und somit die Genauigkeit der ermittelten Ergebnisse verzerren.

Bezüglich der statistischen Analyse nutzten mehrere Studien zur Identifizierung von unabhängigen Effekten von Spezialisierung und Trainingsvolumen auf die Verletzungsgeschichte multivariate Regressionsmodelle. Da einige Studien jedoch keine objektiven medizinischen Diagnosen nutzten, sondern sich auf subjektive Angaben der Sportler*innen oder Eltern stützten, zeigten sich hier methodische Limitationen. Um die Validität der Verletzungsgeschichte zu erhöhen, haben einige Studien diesbezüglich elektronische Gesundheitsakten analysiert.

Zusammenfassend zeigten sich methodische Stärken der einbezogenen Studien durch das systematische Nutzen der Drei-Punkte-Jayanthi-Skala für die Einteilung der Spezialisierungsgruppen und den Einsatz multivariater Analysen. Einschränkungen zeigten sich vor allem durch die retrospektive Datenerhebungsmethoden und damit einhergehende Anfälligkeit für Erinnerungsbias. Zusätzlich wurde die Generalisierbarkeit durch die Untersuchung von spezifischen Studienpopulationen eingeschränkt.

4.4 Ergebnisse nach Kategorien

4.4.1 Verletzungstyp

In den ausgewählten Studien wurde der Effekt von Spezialisierung auf die Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzungen untersucht. Dabei wurde ein positiver Zusammenhang zwischen einem erhöhten Spezialisierungsgrad und dem Risiko für Überlastungsverletzungen in fast allen Studien festgestellt. Die einzige Publikation, die keine Relation zwischen einem hohen oder mäßigen Spezialisierungsgrad und einem erhöhten Risiko für Überlastungsverletzungen im Vergleich zu denjenigen, die niedrig spezialisiert sind, fand, war die Studie von McGowan (2020). Diese untersuchte eine genaue Populationsgruppe, da das Alter der Teilnehmer*innen zwischen 10 und 13 Jahren betrug, wobei kein Zusammenhang der untersuchten Parameter festgestellt werden konnte (McGowan et al., 2020).

Die restlichen elf Studien zeigten, dass die Wahrscheinlichkeit eine Überlastungsverletzung zu berichten, bei der hoch spezialisierten Gruppe erhöht war. Beispielsweise fanden Jayanthi

et al. (2020) heraus, dass hoch spezialisierte Athlet*innen eine 1.46-fach höhere Wahrscheinlichkeit für Überlastungsverletzungen als niedrig spezialisierte hatten ($p=0.03$) und auch mäßig spezialisierte Athlet*innen eine 1.58-fach höhere Wahrscheinlichkeit gegenüber der Gruppe der niedrig spezialisierten zeigten ($p=0.007$). Außerdem war das allgemeine Risiko für Verletzungen, unabhängig vom Verletzungstyp, bei hoch spezialisierten Proband*innen 1.72 mal höher im Vergleich zu denjenigen die als niedrig spezialisiert eingestuft wurden und 1.52 mal höher zu der Gruppe der moderat spezialisierten Teilnehmer*innen. Zusätzlich wurde festgestellt, dass 31% der verletzten Proband*innen als hoch spezialisiert eingestuft wurden (Jayanthi et al., 2020). Der positive Zusammenhang des erhöhten Spezialisierungsgrade und der damit verbunden höheren Wahrscheinlichkeit eine Überlastungsverletzungen zu berichten, zeigte sich auch bei der Studie von Biese et al. (2020), da auch hier für hoch und moderat spezialisierte Teilnehmer*innen ein signifikant höheres Risiko für Überlastungsverletzungen gefunden wurde ($p=0.009$ für hoch spezialisierte Athlet*innen; $p=0.003$ für moderat spezialisierte Athlet*innen) (Biese et al., 2020). Ebenso berichten Jayanthi et al. (2015), Post et al. (2017a) und Murday et al. (2024) davon, dass hoch spezialisierte Teilnehmer*innen eher eine Vorgeschichte an Überlastungsverletzungen berichteten, als Proband*innen aus der niedrig spezialisierten Kategorie (Jayanthi et al., 2015; Murday et al., 2024; Post et al., 2017a). Murday et al. (2024) beschäftigten sich mit zwei verschiedenen Spezialisierungswegen. Die exklusiv hoch spezialisierten Athlet*innen sind diejenigen, die als hoch spezialisiert eingestuft wurden und keine Sportart auf dem Weg zur Spezialisierung aufgeben musste, da sie keinen anderen Sport ausgeübt haben. Die zweite hoch spezialisierte Gruppe ist die, der evolviert hoch spezialisierten Teilnehmer*innen, die andere Sportarten aufgegeben hatten, um sich auf ihre Hauptsportart zu spezialisieren. Diese zwei Gruppen wurden separat voneinander betrachtet, wobei jedoch kein signifikanter Unterschied bezüglich dem Risiko auf Überlastungsverletzungen hinsichtlich des Spezialisierungsweges festgestellt werden konnte ($p=0.29$) (Murday et al., 2024).

Auch bei Studien, die sich auf Verletzungen unterer Extremitäten spezialisierten, fand sich derselbe Effekt wieder. Dabei wurde herausgefunden, dass Athlet*innen, die von einer Verletzungsgeschichte mit Knieüberlastungsverletzung berichteten, eher der Gruppe der hoch spezialisierten zugeteilt waren ($p=0.048$) (Bell et al., 2016). Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch Bell et al. (2018), die sich ebenfalls mit Knieüberlastungsverletzung beschäftigten und dabei feststellen konnten, dass das Risiko einer Verletzung der unteren Extremitäten bei

Athlet*innen der hoch spezialisierten Kategorie im Vergleich zu denen der niedrig spezialisierten Kategorie, erhöht war ($p=0.03$) (Bell et al., 2018). Bei der Analyse von Verletzungen unterer Extremitäten zeigte sich auch bei McGuine et al. (2017) eine ähnliche Tendenz. Auch wenn die Verletzungen nicht spezifisch als Überlastungsverletzungen kategorisiert wurden, sondern als nicht akut, wurde herausgefunden, dass die Inzidenz von Verletzungen der unteren Extremitäten bei hoch und moderat spezialisierten Teilnehmer*innen höher war als bei denen die in die Kategorie derjenigen, die niedrig spezialisiert sind ($p<0.001$ für hoch spezialisierte Athlet*innen; $p=0.005$ für moderat spezialisierte Athlet*innen). Die Inzidenz an Verletzungen der unteren Extremitäten war im Vergleich zu der Gruppe der niedrig spezialisierten Probanden um 50% höher bei hoch spezialisierten Athlet*innen und 85% höher bei Teilnehmer*innen, die der moderat spezialisierten Gruppe angehörten (McGuine et al., 2017). Eine weitere Studie beschäftigte sich mit Verletzungen, die schleichend oder allmählich auftreten. Darunter fallen Verletzungen wie Überlastungsverletzungen, aber auch wachstumsbedingte Verletzungen. Dabei fand wurde herausgefunden, dass auch hier die Wahrscheinlichkeit einer solchen Verletzung 4.2 mal höher war in der Kategorie der hoch spezialisierten Athlet*innen im Vergleich zu denjenigen, die niedrig spezialisiert waren ($p=0.01$) (Zoellner et al., 2022).

Neben der Anfälligkeit für Überlastungsverletzungen wurde in allen analysierten Studien, mit Ausnahme der Studie von Post et al. (2020), das Risiko für akute Verletzungen untersucht (Post et al., 2020). Der Effekt des Spezialisierungsgrades auf das Risiko für das Erleiden akuter Verletzungen wurde trotz Erfassung dennoch nicht in allen Studien weiter betrachtet und untersucht, wodurch keine Effektgröße angegeben werden konnte (McGowan et al., 2020; Pasulka et al., 2017). Bei den Studien, die die Auswirkung der Spezialisierung auf das Risiko akuter Verletzungen untersucht haben, zeigte sich diesbezüglich in manchen Studien ein Zusammenhang. Hoch spezialisierte Athlet*innen berichteten mit einer höheren Wahrscheinlichkeit von einer akuten Verletzung als diejenigen, die niedrig spezialisiert waren. Diese Aussage wurde von mehreren Studien signifikant bestätigt, die diesen Zusammenhang feststellen konnten (Bell et al., 2018; Biese et al., 2020; McGuine et al., 2017; Post et al., 2017a). Obwohl vier Studien die erhöhte Berichterstattung von akuten Verletzungen in der hoch spezialisierten Gruppe signifikant nachweisen konnten, fanden fünf Studien keinen Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern. Diese Studien ergaben, dass eine

höherer Grad der Spezialisierung mit einer erhöhten Verletzungsrate bezüglich Überlastungsverletzungen einherging, diese erhöhte Spezialisierung der Athlet*innen jedoch keinen signifikanten Einfluss auf eine erhöhte Anzahl an akuten Verletzungen hatte (Bell et al., 2016; Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; Murday et al., 2024; Zoellner et al., 2022). Murday et al. (2024) fand bei der Betrachtung der Verletzungsart zwischen den zwei Gruppen eine Tendenz, dass akute Verletzungen zwar nicht öfter in den beiden hoch spezialisierten Gruppen auftraten, die Athlet*innen jedoch aus der niedrig-moderat spezialisierten Gruppe mehr akute Verletzungen berichtet hatten, als diejenigen, die hoch spezialisiert waren (Murday et al., 2024).

Einige Studien untersuchten die Verletzungsart genauer. Dabei wurden häufig Verletzungen im Bereich des Knies berichtet. In der Studie von Bell et al. (2016) waren 21,2% aller Verletzungen Knieverletzungen und 10,9% berichteten von Knieüberlastungsverletzungen (Bell et al., 2016). Eine weitere Studie zeigte, dass 16,8% der Teilnehmer*innen über akute Knieverletzungen und 9,5% über Knieüberlastungsverletzungen meldeten. Betrachtet man den Prozentsatz der dokumentierten Verletzungen, waren 64% akute Knieverletzungen und 36% Knieüberlastungsverletzungen (Bell et al., 2018). Außerdem wurde das Knie als meistverletzte Körperregion und dabei das patellofemorale Schmerzsyndrom als häufigste Diagnose festgestellt (Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015). Obwohl in der Studie von McGuine et al. (2017) der Knöchel mit 43,4% und das Knie mit 25% am häufigsten als Region für Verletzungen im Bereich der unteren Extremitäten angegeben wurden und diese zu 66,3% als akute Verletzungen eingestuft wurden, dokumentierten Post et al. (2017a) das Knie als häufigsten Verletzungsort für Überlastungsverletzungen (McGuine et al., 2017; Post et al., 2017a). Post et al. (2017a) konnte zusätzlich feststellen, dass bei der Untersuchung mehrerer Sportarten Überlastungsverletzungen im Bereich der unteren Extremitäten mit 14,7% häufiger auftreten als im Bereich der oberen Extremitäten (5,9%) (Post et al., 2017a).

Der Vergleich zwischen dem Berichten von akuten Verletzungen und Überlastungsverletzungen zeigte in vier Studien eine deutliche Mehrheit auf Seiten des akuten Verletzungstyps (Bell et al., 2018; Biese et al., 2020; Jayanthi et al., 2020; McGowan et al., 2020; McGuine et al., 2017; Murday et al., 2024; Zoellner et al., 2022). In der Studie von Zoellner et al. (2022) meldeten 77% der Teilnehmer*innen, die eine Verletzungsgeschichte vorweisen konnten, eine Verletzung mit akutem Verletzungsmechanismus, während 52% eine Verletzung aufgrund von Überlastung dokumentierten (Zoellner et al., 2022). Auch McGowan et

al. (2020) zeigte, dass 78% aller gemeldeten Verletzungen ein akutes Verletzungsmuster aufwiesen und 22% als allmählich auftretende Verletzungen eingestuft wurden (McGowan et al., 2020). Die Dokumentation von deutlich mehr akuten Verletzungen im Gegensatz zu Verletzungen durch Überlastung wurde bei zwei weiteren Studien festgestellt (Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015).

4.4.2 Altersspezifische Unterschiede

Die Hälfte, der mit in die Datenanalyse einbezogenen Studien, betrachtete den Faktor Alter näher und beschäftigte sich mit dem Einfluss des Alters auf das Verletzungsrisiko beziehungsweise auf die Spezialisierung und die Wechselwirkung zwischen den Parametern. Jayanthi et al. (2020) untersuchte Nachwuchssportler*innen im Alter von 7-18 Jahren. Auch wenn die longitudinalen univariablen Ergebnisse der Studie keinen Zusammenhang zwischen dem Alter der Spezialisierung oder der Spezialisierung vor dem Alter von 12 Jahren und dem Gesamtrisiko für Verletzungen bestätigen konnten, konnte aus statistischer Sicht eine Tendenz festgestellt werden. Diese zeigte, dass eine Spezialisierung im höheren Alter einen schützenden Effekt bezüglich des Risikos für Überlastungsverletzungen aufweisen konnte. Die pubertäre Reife wurde mithilfe der Tanner-Stadien bestimmt und die Studie zeigte in der Ausgangsstichprobe, dass Athlet*innen in höheren Stadien, sprich diejenigen, die schon weiterentwickelt waren, tendenziell wahrscheinlicher verletzt waren ($p < 0.001$). Jedoch konnte der Zusammenhang in der longitudinalen Analyse nicht weiter bestätigt werden. Außerdem wurde herausgefunden, dass in der untersuchten Stichprobe die Proband*innen, die verletzt waren, eher älter waren als die Teilnehmer*innen, die unverletzt waren ($p < 0.001$). Das Durchschnittsalter der verletzten Teilnehmer*innen lag bei 14.05 ± 2.26 Jahren und bei den unverletzten Teilnehmer*innen bei 13.03 ± 2.46 Jahre. Auch wenn die univariate Analyse zeigte, dass das zunehmende chronologische Alter bei hoch spezialisierten Athlet*innen eine höhere Chance auf Verletzungen im Vergleich zu mäßig spezialisierten zeigte ($p < 0.001$), konnte kein Zusammenhang zwischen dem Alter bei der Spezialisierung und dem Verletzungsrisiko festgestellt werden ($p = 0.54$) (Jayanthi et al., 2020).

Ebenso ergab die Regressionsanalyse einer weiteren Studie, dass unter hoch spezialisierten Athlet*innen der Anteil an Überlastungsverletzungen nicht abhängig vom Alter oder dem

Alter der Spezialisierung war. Erkenntnisse bezüglich des Alters der Spezialisierungen wurden dennoch gefunden. Die Studie hat sich mit zwei verschiedenen Spezialisierungswegen beschäftigt, sprich den exklusiv hoch spezialisierten Athlet*innen, die keine Sportart für die Spezialisierung aufgeben mussten, da sie keine andere durchführten, und den evolviert hoch spezialisierten Athlet*innen, die mit andere Sportarten aufgehört hatten, um sich auf eine Hauptsportart zu fokussieren. Dabei wurde herausgefunden, dass die exklusiv hoch spezialisierten Teilnehmer*innen früher mit intensivem Training begonnen hatten, als die der evolviert hoch spezialisierten Kategorie ($p < 0.0001$). Für beide Kategorien war das Durchschnittsalter der Spezialisierung unter 10 Jahren (8.23 für exklusiv hoch spezialisierte; 9.62 für evolviert hoch spezialisierte). Die Multivariable Regressionsanalyse ergab jedoch, dass der Vergleich von Überlastungsverletzungen mit akuten Verletzungen zeigte, dass hoch spezialisierte Athlet*innen eher eine Verletzungen durch Überlastung mit steigendem Alter hatten als akute Verletzungen (Murday et al., 2024). Zu der gleichen Erkenntnis kamen auch Post et al. (2017a), die herausfanden, dass Teilnehmer*innen, die als hoch spezialisiert eingestuft wurden, früher mit dem Ausüben von organisierten Sport ($p = 0.002$) und ihrer Hauptsportart ($p < 0.001$) angefangen hatten (Post et al., 2017a). Eine weitere Studie untersuchte Proband*innen im Alter von 10-15 Jahren und teilte die Stichprobe nach Alter in zwei Gruppen ein (< 13 Jahre und ≤ 13 Jahre). Dabei wurde festgestellt, dass mehr Teilnehmer*innen aus der Gruppe der 13-Jährigen und älter als hoch spezialisiert kategorisiert wurden, als diejenigen, die jünger als 13 Jahre waren ($p < 0.01$) (Zoellner et al., 2022). Pasulka et al. (2017) untersuchten Athlet*innen aus verschiedenen Sportarten und verglichen Mannschaftssportarten mit Individualsportarten. Dabei war bezüglich des Alters ein Unterschied zu sehen, da sich spezialisierte Athlet*innen im Individualsport tendenziell früher spezialisiert hatten als Athlet*innen des Mannschaftssportes ($p = 0.05$). Das Alter der Spezialisierung variierte jedoch von Sportart zu Sportart. Die Sportarten mit dem niedrigsten Spezialisierungsalter waren Turnen (8.9 ± 1.7 Jahre), Tanz (10.8 ± 3.0 Jahre) und Fußball (10.9 ± 2.4 Jahre), während Sportarten mit dem höchsten Spezialisierungsalter Basketball (12.7 ± 2.6 Jahre), Football (13.0 ± 1.6) und Baseball/Softball (13.2 ± 2.6) waren (Pasulka et al., 2017). Post et al. (2020) untersuchten drei Sportarten, wobei die Athlet*innen im Volleyball und im Basketball, die eine Überlastungsverletzung erlitten signifikant älter waren, als die ohne Verletzungsgeschichte ($p = 0.02$ Basketball; $p < 0.001$ Volleyball) (Post et al., 2020). Den Zusammenhang zwischen Verletzungsrisiko und Alter untersuchten Jayanthi et al. (2015) und fanden heraus,

dass die Athlet*innen der verletzten Gruppe älter, als die der unverletzten Gruppe waren ($p < 0.001$). Verletzte Teilnehmer*innen hatten eine 1.67-fach höhere Wahrscheinlichkeit älter als 14 Jahre zu sein, verglichen mit den Teilnehmer*innen, die unverletzt waren ($p < 0.001$). Außerdem wurde herausgefunden, dass das Alter ein signifikanter Prädiktor für die Spezialisierung war. Die hoch spezialisierten Athlet*innen waren im Durchschnitt ein Jahr älter als niedrig spezialisierte Teilnehmer*innen. Jedoch unterschied sich das Alter zu Beginn der Spezialisierung weder zwischen hoch-, moderat- und niedrig spezialisierten, noch zwischen der Gruppe der verletzten und unverletzten Teilnehmer*innen (Jayanthi et al., 2015). Eine Studie der finalen Auswahl untersuchte Athlet*innen in der Altersspanne von 10 bis 13 Jahren. In dieser Studie wurde kein Zusammenhang zwischen früher Spezialisierung, also der Spezialisierung vor dem Alter von 13 Jahren, und dem Berichten einer Verletzungsgeschichte von sportbedingten Verletzungen in dieser Altersspanne gefunden (McGowan et al., 2020).

4.4.3 Sportartspezifische Unterschiede

In einigen Studien wurden bei der Analyse der Ergebnisse die untersuchten Sportarten genauer betrachtet. McGuine et al. (2017) untersuchten Informationen von Proband*innen aus unterschiedlichen Sportarten und fanden heraus, dass 21,5% der Fußballspieler*innen als hoch spezialisierte Athlet*innen eingestuft wurden und somit die höchste Spezialisierungsrate aufweisen konnten. Danach wurden Baseball/Softball mit 19,1%, Volleyball mit 16,7% und Basketball mit 13,3% hoch spezialisierten Sportler*innen aufgelistet. Bezüglich der ermittelten Verletzungsrate erlitten Spieler*innen mit den Hauptsportarten Basketball, Fußball und Football signifikant mehr Verletzungen der unteren Extremitäten als Athlet*innen der anderen Sportarten Baseball/Softball, Tennis, Leichtathletik/Crosslauf, Volleyball oder Ringen (McGuine et al., 2017). Pasulka et al. (2017) untersuchten in ihrer Studie den Zusammenhang des Sporttyps mit verschiedenen Parametern. Dabei fanden sie heraus, dass spezialisierte Athlet*innen tendenziell mehr im Individualsport aktiv waren als im Team sport. Die Verteilung der Spezialisierung von hoch-, moderat- und niedrigspezialisierten Teilnehmer*innen war im Team sport gleichmäßig, während im Individualsport eine Tendenz zur moderaten und höheren Spezialisierung sichtbar wurde. Der Anteil an hoch spezialisierten Sportler*innen war bei denjenigen, die sich auf eine Individualsportart spezialisiert hatten

signifikant höher ($p=0.001$) als bei den Teamsportler*innen. Ebenso war der Anteil der niederspezialisierten Sportler*innen bei Athlet*innen, die Teamsport als Hauptsportart angegeben hatten, signifikant höher als bei Individualsportler*innen ($p=0.001$). Die Sportarten mit dem höchsten Anteil an spezialisierten Athlet*innen waren mit 46,7% Tennis, gefolgt von Turnen mit 30,1% und Tanz mit 26,3%. Der Vergleich des Verletzungsrisikos zwischen den beiden Sporttypen zeigte, dass im Individualsport spezialisierte Teilnehmer*innen mehr Überlastungsverletzungen ($p=0.037$) und mehr schwere Überlastungsverletzungen ($p=0.011$) berichteten, aber weniger akute Verletzungen ($p=0.001$) im Vergleich zu Sportler*innen, die in Teamsportarten spezialisiert sind. Bezüglich einzelner Sportarten zeigten Tennis (57,8%), Baseball/Softball (50%) und Volleyball (42,3%) den größten Anteil an gemeldeten Überlastungsverletzungen. Hinsichtlich akuter Verletzungen zeigten Sportarten wie Football (40%), Cheerleading (38,5%) und Fußball (30,3%) den höchsten prozentualen Anteilen. Die meisten schweren Überlastungsverletzungen zeigten Gymnastik (31%), Tennis (29,6%) und Tanz (20%) (Pasulka et al., 2017). Ebenfalls genauer mit dem Sporttypen befassten sich Murday et al. (2024). Diese Studie teilte die hoch spezialisierten Proband*innen in zwei verschiedene Gruppen ein: die exklusiv hoch spezialisierte Gruppe und die evolviert hoch spezialisierte Gruppe. Dabei übte ein höherer Anteil an exklusiv hoch spezialisierten Athlet*innen mit 71,4% eine Individualsportart aus ($p=0.0009$). Die Individualsportart, die am meisten von den Proband*innen angegeben wurde, war Turnen mit 23,8%. Davon waren 29% in der exklusiv hoch spezialisierten Gruppe und 20,2% in der evolviert hoch spezialisierten Kategorie. Als meistausgeübte Mannschaftsportart wurde Fußball mit 15,4% aller Teilnehmer*innen identifiziert. Bezüglich der Verletzungswahrscheinlichkeit wurde festgestellt, dass Athlet*innen, die sich auf eine Individualsportart spezialisiert hatten eine 1.95-fach höhere Wahrscheinlichkeit zeigten Überlastungsverletzungen im Vergleich zu akuten Verletzungen zu erleiden, im Gegensatz zu Athlet*innen, die sich auf Mannschaftsportarten spezialisiert hatten (Murday et al., 2024). Post et al. (2020) haben sich auf drei Sportarten spezialisiert: Basketball, Fußball und Volleyball. Für Athlet*innen aus der Sportart Volleyball wurde ein tendenziell höheres Spezialisierungslevel, sowie eine erhöhte Berichterstattung an Überlastungsverletzungen festgestellt. Dabei zeigte sich ein Zusammenhang zwischen der Spezialisierung und dem Risiko für Verletzungen durch Überlastung. Ein höheren Spezialisierungsgrad konnte mit einer erhöhten Verletzungsgeschichte bezüglich Überlastungsverletzungen assoziiert werden. Dieser Zusammenhang konnte bei den beiden

anderen Sportarten, Basketball und Fußball, nicht festgestellt werden (Post et al., 2020). Zwei der analysierten Studien fokussierten sich ausschließlich auf Athlet*innen aus dem Bereich des Fußballs. Dabei fanden Bell et al. (2018) heraus, dass hoch spezialisierte Fußballspieler*innen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit eine Verletzungsgeschichte mit Überlastungsverletzungen des Knies aufwiesen als mit akuten Knieverletzungen (Bell et al., 2018). Die zweite Studie, in welcher ausschließlich Athlet*innen miteinbezogen wurden, die Fußball als Hauptsport angegeben hatten, zeigte, dass ein Zusammenhang zwischen dem Spezialisierungsgrad und allmählich auftretenden Verletzungen bestand, dieser jedoch nicht auf akute Verletzungen übertragbar war. Dabei berichteten hoch spezialisierte Teilnehmer*innen häufiger von allmählich auftretenden Verletzungen, als niedrig spezialisierte Fußballspieler*innen (Zoellner et al., 2022).

4.4.4 Geschlechtsspezifische Unterschiede

In den Studien wurde für die Analyse der Ergebnisse das Geschlecht als Parameter genutzt, wodurch vereinzelt Zusammenhänge zwischen dem Geschlecht und der Spezifizierung beziehungsweise dem Verletzungsrisiko gefunden wurden. In der Studie von Biese et al. (2020) zeigte sich in der Stichprobe ein Altersunterschied zwischen Männern und Frauen. Dabei waren die männlichen Probanden durchschnittlich älter als die weiblichen ($p=0.001$). Dennoch war mit 34,4% ein höherer prozentualer Anteil an weiblichen Teilnehmerinnen hoch spezialisiert im Vergleich zu den männlichen Teilnehmern, bei denen 27% der Probanden in der Kategorie der hoch spezialisierten zugeordnet waren ($p<0.001$). Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Sportspezialisierung und dem Risiko für Verletzungen wurde festgestellt, dass bei Männern kein Zusammenhang zwischen Überlastungsverletzungen und dem Grad der Spezialisierung vorlag. Allerdings berichteten mehr Frauen mit moderatem und hohem Spezialisierungsgrad ($p=0.01$ für hoch spezialisierte; $p=0.005$ für moderat spezialisierte) von Überlastungsverletzungen im Vergleich zu Frauen, die niedrig spezialisiert eingestuft wurden. Hoch spezialisierte Frauen meldeten zu 46% häufiger eine frühere Verletzung durch Überlastung im Vergleich zu den Athletinnen, die niedrig spezialisiert waren und den männlichen Teilnehmern. Obwohl hoch spezialisierte Athlet*innen eher eine Verletzungsgeschichte mit akuten Verletzungen meldeten als niedrigspezialisierte, wurden bei den männlichen Probanden nur bei moderat spezialisierten Teilnehmern mehr akute Verletzungen dokumentiert als bei niedrigspezialisierten ($p=0.002$). Bei den Frauen

wiederum, wurde nur von den hoch spezialisierten Athletinnen vermehrt ein Verletzungsgeschichte mit akuten Verletzungen angegeben im Vergleich zu den niedrigrspezialisierten Sportlerinnen ($p=0.022$) (Biese et al., 2020). Das weibliche Geschlecht wurde ebenfalls in einer weiteren Studie als ein signifikanter Parameter für ein erhöhtes Risiko an Verletzungen identifiziert ($p=0.04$). Die Stichprobe der jungen Athlet*innen zeigte, dass mehr Frauen eine Verletzungsgeschichte angaben, als Männer. Die univariate Analyse zeigte den Zusammenhang zwischen weiblichen Teilnehmerinnen und einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für das Berichten von Überlastungsverletzungen ($p=0.004$). Auch das finale multivariable Modell für Überlastungsverletzungen zeigte, dass weibliche Athletinnen eine 1.43-fach höhere Wahrscheinlichkeit für eine Verletzung durch Überlastung hatten als männliche Athleten ($p=0.02$) (Jayanthi et al., 2020). In der untersuchten Stichprobe von Post et al. (2017a) wurde ähnlich wie in der Studie von Biese et al. (2020) festgestellt, dass Frauen in der Kategorie der hoch spezialisierten Athlet*innen einen höheren Prozentsatz einnahmen, als die männlichen Probanden. Außerdem zeigten die Ergebnisse ebenfalls mehr weibliche Probandinnen mit Verletzungsgeschichten durch Überlastungsverletzungen verglichen mit den männlichen Probanden (Biese et al., 2020; Post et al., 2017a). Die Studie von Murday et al. (2024) beschäftigt sich mit den drei Kategorien exklusiv hoch spezialisiert, evolviert hoch spezialisiert und niedrig-moderat spezialisiert. Dabei war der weibliche Anteil der Proband*innen in allen drei Kategorien signifikant höher als der männliche Anteil ($p<0.0001$). Betrachtet man die Teilnehmer*innen der exklusiv hoch spezialisierten Gruppe, zeigte sich ein höherer Anteil an Frauen in dieser Kategorie. Murday et al. (2024) gehen schlussfolgernd davon aus, dass hoch spezialisierte weibliche Sportlerinnen weniger wahrscheinlich andere Sportarten ausgeübt hatten, bevor sie sich spezialisierten. Auch in dieser Studie war im Vergleich der beiden Geschlechter, das weibliche Geschlecht mit einer höheren Verletzungsgeschichte durch Überlastung assoziiert als durch akute Verletzungen. Dennoch zeigte die Regressionsanalyse der Daten aus den beiden hoch spezialisierten Gruppen, dass der Anteil an Überlastungsverletzungen nicht mit dem Geschlecht zusammenhing (Murday et al., 2024). In den beiden Studien, die sich ausschließlich mit Fußball beschäftigten, konnten unterschiedliche Ergebnisse festgestellt werden. Bell et al. (2018) zeigten, dass ein höherer Prozentsatz moderat und hoch spezialisierte Athletinnen waren, wohingegen Zoellner et al. (2022) feststellen konnten, dass bei der untersuchten Stichprobe von 10-15 jährigen Sportler*innen Jungen häufiger hoch spezialisiert waren als Mädchen (Bell et al., 2018; Zoellner et al., 2022).

Bei der Analyse der Geschlechterverteilung von spezialisierten Sportler*innen zwischen Mannschafts- und Individualsportarten war die Verteilung innerhalb der Mannschaftssportarten mit 47,6% männlichem Anteil zu 53,4% weiblichen Anteil ähnlich. Allerdings waren Frauen in Individualsportarten mit einem größeren Prozentsatz spezialisiert als die männlichen Probanden (70,3% Frauen; 29,7% Männer; $p=0.001$) (Pasulka et al., 2017). Der Vergleich der drei Sportarten, Basketball, Fußball und Volleyball, zeigte in der Sportart Fußball keinen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Überlastungsverletzungshistorie ($p=0.16$). Jedoch berichteten mehr weibliche Basketballspielerinnen von Verletzungen durch Überlastung als männliche Spieler ($p<0.001$). Außerdem zeigten die Ergebnisse der multivariablen logistischen Regressionsanalysen, dass weibliche Basketballspielerinnen fast 4-mal häufiger von früheren Überlastungsverletzungen berichteten als männliche Basketballspieler ($p<0.001$) (Post et al., 2020).

Auch wenn in einigen Studien eine unterschiedliche Verteilung in den Spezialisierungskategorien festgestellt werden konnte, wurde dieses Ergebnis nicht in der Studie von Post et al. (2017a) bestätigt. Die geschlechterbezogene Verteilung der Teilnehmer*innen in den Kategorien niedrig, moderat und hoch spezialisiert war relativ gleichmäßig (Post et al., 2017a). Der Einfluss des Geschlechtes auf das Verletzungsrisiko konnte auch nicht von allen Publikationen bestätigt werden. Die Studie von McGuine et al. (2017) zeigte bei geschlechtervergleichbaren Sportarten keinen Unterschied bezüglich des Risikos für Verletzungen der unteren Extremitäten (McGuine et al., 2017).

4.4.5 Zusammenhang zwischen Trainingsvolumen und Verletzungsrisiko

Verletzte Athlet*innen verbrachten im Vergleich zu unverletzten Proband*innen mehr Stunden pro Woche im organisierten Sport ($p<0.01$) beziehungsweise berichteten insgesamt mehr Zeit in körperlicher Aktivitäten ($p<0.001$). Sportler*innen mit Verletzungen hatten, verglichen mit Athlet*innen die unverletzt waren, eine 1.55-fach höhere Wahrscheinlichkeit eine höhere Anzahl an organisierten wöchentlichen Sportstunden im Verhältnis zu ihren Lebensjahren zu berichten ($p<0.001$). Bei Proband*innen, die eine schwere Überlastungsverletzung entwickelten, war die Überschreitung dieser Volumenempfehlung bezogen auf die Lebensalter mit einer 2-fach höheren Chance vorzufinden ($p<0.001$). Außerdem hatten sie eine 1.7-fach höhere Wahrscheinlichkeit, doppelt so viele Stunden im organisierten Sport im

Vergleich zu Freispielstunden zu sammeln, im Gegensatz zu denen, die keine schwere Überlastungsverletzung entwickelten. Das heißt die Ratio von organisiertem Sport zu Freispielstunden überstieg 2:1 (Jayanthi et al., 2015). Zu derselben Erkenntnis kamen Jayanthi et al. (2020) in ihrer aktuelleren Studie, die ebenfalls zeigte, dass verletzte Proband*innen an mehr organisierten Sportstunden pro Woche teilnahmen ($p=0.007$), ein höheres Medianverhältnis von organisiertem Sport zu freien Sportstunden zeigten ($p=0.002$) und acht Monate pro Jahr im Sporttraining überschritten ($p=0.003$). Somit hatten Sportler*innen, die diese Kriterien erfüllten ein höheres Risiko Verletzungen jeglicher Art und Überlastungsverletzungen zu erleiden, im Vergleich zu denjenigen, die diese Sportvolumenkriterien nicht erfüllten. Auch die univariate Analyse zeigte, dass eine erhöhte wöchentliche Stundenanzahl an körperlicher Aktivität und organisierten Sportarten zu höheren Verletzungswahrscheinlichkeiten führten. Die multivariable Analyse zeigte, dass sich die Chance auf eine Verletzung um 31% für jede 5 Stunden pro Woche organisierter sportlicher Aktivität erhöht ($p<0.001$). Das Nichteinhalten der Volumenempfehlungen, sprich ein $>2:1$ Verhältnis von organisiertem Sport zu freien Sportstunden, mehr wöchentlichen Sportstunden als die Lebensjahre und mehr als acht Monate im Jahr Sporttraining, war mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Überlastungsverletzungen während des Studienzeitraums verbunden (Jayanthi et al., 2020). Verglichen mit Athlet*innen ohne Verletzungsgeschichte zeigten auch die Proband*innen, die von einer früheren Verletzungen oder Überlastungsverletzung berichteten, aus der Studie von Post et al. (2017a), dass sie in mehreren Monaten im Jahr, sowie an mehreren Stunden pro Woche in ihrer Hauptsportart teilgenommen hatten. Ebenso berichteten Sportler*innen, die die Empfehlungen von weniger als acht Monate pro Jahr in einer Sportart zu trainieren, überschritten hatten, vermehrt von einer Verletzungsgeschichte jeglicher Verletzungen, Überlastungsverletzungen oder Gehirnerschütterungen. Eine Vorgeschichte von Verletzungen und Überlastungsverletzungen jeglicher Art konnte auch bei Athlet*innen festgestellt werden, die mehr organisierte Sportstunden pro Woche als ihr Alter bestritten. Dabei zeigte sich, dass das Überschreiten der Sportvolumenempfehlungen von acht Monaten pro Jahr und 16 Stunden pro Woche bei jugendlichen Sportler*innen die Wahrscheinlichkeit eine frühere Verletzungen zu melden bis zu 85% höher war im Vergleich zu denjenigen, die diese Empfehlungen einhielten. Außerdem zeigte sich, dass hoch spezialisierte Athlet*innen mehrere Monate im Jahr und mehrere Stunden pro Woche ihre Hauptsportart ausübten (Post et al., 2017a). Der Zusammenhang des Überschreitens der Trainingsvolumenempfehlungen und

dem Erlangen einer allmählich einsetzenden Verletzung zeigte sich in weiteren untersuchten Studien. Dabei war die Erhöhung des Verletzungsrisikos durch erhöhtes Trainingsvolumen signifikant, für akute Verletzungen konnte diese Assoziation jedoch nicht signifikant bestätigt werden (McGowan et al., 2020; Zoellner et al., 2022). Bei Fußballspieler*innen wurde eine 2.9-fach höhere Wahrscheinlichkeit, eine allmählich auftretende Verletzung zu melden für diejenigen berichtet, die mehr als acht Monate im Jahr Fußball trainierten im Gegensatz zu denjenigen, die weniger als acht Monate im Jahr trainierten ($p=0.02$). Außerdem erhöhten mehr Stunden im organisierten Sport pro Woche ebenfalls die Wahrscheinlichkeit eine allmählich auftretende Verletzung zu melden ($p=0.05$) (Zoellner et al., 2022). Die Wahrscheinlichkeit jegliche Verletzung zu melden war bei der Stichprobe von McGowan et al. (2020), welche Kinder im Alter von 10 bis 13 Jahren umfasste signifikant höher als bei Kindern, die mehr als acht Monate im Jahr eine Sportart ausübten (McGowan et al., 2020). Den Zusammenhang zwischen dem Überschreiten der Empfehlungen einen Sport nicht mehr als acht Monate pro Jahr auszuüben und der erhöhten Berichterstattung an Verletzungen zeigte sich auch in der Studie von Bell et al. (2018). Ein Zusammenhang zwischen dem Überschreiten dieser Empfehlung und dem erhöhten Berichten einer Verletzungsgeschichte von Überlastungsknieverletzungen konnte festgestellt werden. Auch hier war die Assoziation nicht für akute Verletzungen zu sehen (Bell et al., 2018). Dieser Zusammenhang wurde bereits in einer früheren Studie von Bell et al. (2016) bestätigt, bei der die Wahrscheinlichkeit eine Überlastungsverletzung an der Hüfte zu melden um das 2.74-fache höher und für Überlastungsknieverletzungen um das 2.93-fache höher war, wenn die Person mehr als acht Monate im Jahr in einer Sportart trainierte (Bell et al., 2016). Bezüglich des Unterschieds zwischen Mannschaftssportarten und Individualsportarten wurde herausgefunden, dass Athlet*innen im Individualsport durchschnittlich mehrere Stunden in der Woche im organisierten Training verbrachten als die spezialisierten Sportler*innen im Mannschaftssport ($p=0.04$) (Pasulka et al., 2017).

5 Diskussion

Die Ergebnisse des systematischen Reviews zeigten einen Zusammenhang zwischen früher Spezialisierung im Nachwuchsleistungssport und der erhöhten Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzungen. Dabei zeigte sich eine Assoziation zwischen einem höheren Spezialisierungsgrad und einem höheren Risiko für das Erleiden von Verletzungen. Besonders die Anfälligkeit für Überlastung stieg mit dem Spezialisierungsgrad und war bei hoch spezialisierten Athlet*innen höher als bei denjenigen, die niedrig spezialisiert waren (Biese et al., 2020; Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; Murday et al., 2024; Post et al., 2017a). Grund dafür kann die muskuläre und physiologische Unreife des muskuloskelettalen Systems von präpubertären und pubertären Athlet*innen sein, welches vor allem bei wiederholter Beanspruchung anfälliger für Verletzungen ist. Faktoren, wie das nicht lineare Wachstum, die Veränderung der Knochendichte oder der Muskel- und Bindegewebsstärke können dazu führen, dass der Körper weniger optimal auf repetitive, kontinuierliche und unveränderte Belastung reagiert, was vor allem für früh spezialisierte Sportler*innen relevant ist und für Verletzungen hervorrufen kann. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die Entwicklung von motorischen und koordinativen Fähigkeiten durch eine Spezialisierung vor der körperlichen Reife eingeschränkt wird und daraus resultierende Koordinationsdefizite die Verletzungsanfälligkeit erhöhen. Zusätzlich können extrinsische Risikofaktoren wie die Trainingsbelastung oder fehlende Regenerationszeiten, die oft mit einer Spezialisierung einhergehen, den Effekt der Sportspezialisierung auf das Verletzungsrisiko erhöhen (DiCesare et al., 2019b; DiFiori et al., 2014; Hewett et al., 2015; Myer et al., 2015). Ein Review von Myer et al. (2015) über frühe Spezialisierung unterstützte die Erkenntnisse aus den analysierten Studien, in dem es bestätigte, dass Jugendliche, die sich früh auf eine einzelne Sportart spezialisierten ein höheres Risiko für Überlastungsverletzungen aufwiesen (Myer et al., 2015).

Betrachtet man die verletzten Körperregionen der untersuchten Studien genauer zeigte sich eine Tendenz, dass untere Extremitäten öfter von Verletzung insbesondere durch Überlastung betroffen waren. Die Assoziation zwischen Spezialisierung und Verletzungsrisiko zeigte sich auch hier, da dieses durch einen höheren Spezialisierungsgrad angehoben wurde (Bell et al., 2016, 2018; Jayanthi et al., 2015; McGuine et al., 2017). Dieser Effekt wurde auch in der Studie von Post et al. (2017a) sichtbar, da bei der Untersuchung von 1544 Athlet*innen die meisten Verletzung in den unteren Extremitäten auftraten und das Risiko dafür durch eine hohe Spezialisierung erhöht wurde (Post, Bell, et al., 2017). Der Zusammenhang

zwischen dem Erleiden einer akuten Verletzung und Sportspezialisierung war in den untersuchten Studien kontrovers, obwohl tendenziell mehr akute Verletzungen als Verletzung durch Überlastung dokumentiert wurden (Bell et al., 2018; Biese et al., 2020; Jayanthi et al., 2020; McGowan et al., 2020; McGuine et al., 2017; Murday et al., 2024; Zoellner et al., 2022). Einige der analysierten Studien zeigten ein erhöhtes Risiko für akute Verletzung bei hoch spezialisierten Teilnehmer*innen verglichen mit den niedrig spezialisierten Proband*innen (Bell et al., 2018; Biese et al., 2020; McGuine et al., 2017; Post et al., 2017a). Dennoch konnte dieser Zusammenhang von mehreren Studien nicht bestätigt werden, da sie zwar feststellen konnten, dass eine hohe Spezialisierung die Anfälligkeit für Überlastungsverletzungen erhöht, dieser Effekt jedoch nicht auf akute Verletzungen übertragen werden konnte (Bell et al., 2016; Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; Murday et al., 2024; Zoellner et al., 2022).

Da bei der Beantwortung der Forschungsfrage bezüglich früher Spezialisierung das Alter ein wichtiger Faktor war, wurde analysiert, ob das Alter die Spezialisierung beziehungsweise das Verletzungsrisiko beeinflusste. Bei der Analyse zeigte sich eine Tendenz, dass eine Spezialisierung im späteren Alter einen schützenden Effekt bezüglich Überlastungsverletzungen haben konnte, jedoch der Zusammenhang zwischen dem Alter der Spezialisierung und dem Verletzungsrisiko nicht signifikant war. Da jedoch höher spezialisierte Proband*innen häufiger Verletzungen zeigten und Sportler*innen, die verletzt waren durchschnittlich älter waren als die unverletzten, könnte hier ein Zusammenhang bestehen. Dieser müsste jedoch genauer untersucht werden, da die Altersverteilung in der Gruppe der hoch spezialisierte Athlet*innen nicht evaluiert wurde (Jayanthi et al., 2020).

Auch in der untersuchten Stichprobe von Jayanthi et al. (2015) war die verletzte Gruppe älter als die unverletzte, doch bei Überprüfung, ob das Alter der Spezialisierung einen Einfluss darauf hat, wurde kein Zusammenhang festgestellt (Jayanthi et al., 2015). Die Altersverteilung in den Spezialisierungsgruppen zeigte jedoch, dass Athleten*innen der hoch spezialisierten Gruppe tendenziell älter waren als die Proband*innen mit niedriger Spezialisierung (Jayanthi et al., 2015; Zoellner et al., 2022).

Bei der Untersuchung, ob Überlastungsverletzungen bei hoch spezialisierten Proband*innen abhängig vom Alter beziehungsweise dem Alter der Spezialisierung berichtet wurden, konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. Die Definition des Beginns der Spezialisie-

rung war in der Studie jedoch vage, da zwar dokumentiert wurde, wann mit der Hauptsportart angefangen wurde, aber nicht, wann andere Sportarten aufgeben wurden, um sich auf den Hauptsport zu fokussieren (Murday et al., 2024). Post et al. (2017a) befassten sich mit dem Alter zu Beginn der Spezialisierung und fanden heraus, dass hoch spezialisierte Athlet*innen früher mit ihrer Hauptsportart angefangen hatten. Auch hier zeigte die hoch spezialisierte Gruppe ein höheres Verletzungsrisiko (Post et al., 2017a). McGowan et al. (2020) haben nur Sportler*innen im Alter von 10 bis 13 Jahren untersucht und fanden keinen Zusammenhang zwischen der Verletzungsgeschichte und der Spezialisierung. Dies unterschied sich von den anderen Studien, die ein signifikant höheres Verletzungsrisiko mit einem erhöhten Spezialisierungsgrad feststellen konnten (Bell et al., 2016, 2018; Biese et al., 2020; Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; McGowan et al., 2020; Murday et al., 2024; Post et al., 2017a; Zoellner et al., 2022). Der nicht vorhandene Zusammenhang zwischen den untersuchten Proband*innen von McGowan et al. (2020) und dem Verletzungsrisiko und der Erkenntnis, dass hoch spezialisierte und verletzte Athlet*innen tendenziell älter waren, könnte zeigen, dass die Auswirkungen der Spezialisierung erst im höheren Alter auftreten. Für die Bestätigung dieses Zusammenhangs müssten jedoch weitere Studien durchgeführt werden (Jayanthi et al., 2015; McGowan et al., 2020; Zoellner et al., 2022). Dass ältere Athlet*innen häufiger Überlastungsverletzungen erleiden zeigte auch die Studie von Stracciolini et al. (2013). Dabei wurden Jugendliche in zwei Alterskategorien geteilt. Jüngere Sportler*innen umfassten 5- bis 12-Jährige und ältere Sportler*innen 13- bis 17-Jährige. Dabei fanden die Autor*innen heraus, dass der Anteil an Überlastungsverletzungen bei den jüngeren Proband*innen niedriger war als bei den älteren. Während die 13- bis 17-Jährigen häufiger Weichteilverletzungen, Bänderrisse und Überlastungsschäden in der Wirbelsäule, der Hüfte und den unteren Extremitäten erlitten, hatten jüngere Sportler*innen mehr akute Verletzungen. Pasulka et al. (2017) zeigten beim Vergleich von Individualsportarten und Mannschaftssportarten, dass sich Athleten im Individualsport früher spezialisiert hatten. Die Sportarten mit dem frühesten Spezialisierungsalter waren Turnen, Tanz und Fußball, wobei Turnen und Tanz auch zu den Sportarten mit den meistgemeldeten schweren Verletzungen gehörten. Obwohl Athlet*innen in Sportarten mit frühen Spezialisierungsalter, wie Tanz und Turnen, von einem frühen Einstieg profitieren konnten, da in diesen Bereichen Spitzenleistungen schon vor der vollen Reife erreicht wurden, ist die Evidenz bezüglich der Notwendigkeit von früher Spezialisierung, um im Erwachsenenalter Spitzenleistungen zu erzielen nicht überzeugend (LaPrade et

al., 2016). Methoden wie die „deliberate practice“ von Ericsson et al. (1993), in der behauptet wird, dass diejenigen, die früh mit spezifischem Üben beginnen, denjenigen voraus sind, die später beginnen, fanden wenig Zuspruch (Ericsson et al., 1993; LaPrade et al., 2016). Vor allem nach der Überprüfung der Ergebnisse der analysierten Studien wurde deutlich, dass frühe Spezialisierung Risiken im Sinne von Verletzungen mit sich bringen konnte (Biese et al., 2020; Jayanthi et al., 2020; Jayanthi et al., 2015; Murday et al., 2024; Post et al., 2017a). Auch das damit verbundene erhöhte Trainingsvolumen zeigte sich in verschiedensten Studien wieder. Dabei war die Wahrscheinlichkeit Verletzungen und vor allem auch Überlastungsverletzungen zu erleiden, bei denjenigen höher, die Trainingsvolumenempfehlungen überschritten hatten (Bell et al., 2016, 2018; Jayanthi et al., 2015; McGowan et al., 2020; Post et al., 2017a; Zoellner et al., 2022). Dabei sollte das Ausüben einer Sportart folgende Grenzen nicht überschreiten: acht Monate im Jahr, Teilnahme an 16 Stunden organisierter Sportaktivität pro Woche und eine Summe der Stunden, in denen organisierter Sport ausgeübt wird, welche dem Alter der Athlet*innen entspricht (Bell et al., 2016; Jayanthi et al., 2013; Jayanthi et al., 2015; Myer et al., 2015; Post et al., 2017a). Durch die Analyse der Studien wurde ein weiterer Risikofaktor für Überlastungsverletzungen festgestellt: das Geschlecht. Weibliche Athletinnen zeigten in mehreren Studien ein höheres Verletzungsrisiko durch eine höhere Spezialisierung im Vergleich zu Männern (Biese et al., 2020; Jayanthi et al., 2020; Murday et al., 2024; Post et al., 2017a). Jayanthi et al. (2020) gaben neben den biomechanischen Faktoren, wie beispielsweise einer veränderten Kniebiomechanik, höhere Knieabduktionsmomente oder eine geringere muskuläre Kontrolle während der Pubertät, Faktoren wie Individualsportarten oder höhere Spezialisierungsraten als mögliche Ursache für die erhöhte Verletzungsrate von Frauen an (DiCesare et al., 2019a; Jayanthi et al., 2020). Pasulka et al. (2017) fanden diesbezüglich heraus, dass Frauen öfter hoch spezialisiert im Individualsport waren und Biese et al. (2020) und Post et al. (2017a) zeigten einen höheren Prozentsatz an Frauen, die als hoch spezialisiert eingestuft wurden (Biese et al., 2020; Post et al., 2017a). Auch wenn das weibliche Geschlecht weitere Risikofaktoren mit sich bringt, wurde durch den hohen Anteil am hoch spezialisierten Sport und dem erhöhten Anteil an Verletzungen der Zusammenhang zwischen Spezialisierung und Verletzungen im Nachwuchsalter sichtbar. Die Ergebnisse des systematischen Reviews zeigten, dass eine frühe Spezialisierung im Nachwuchsleistungssport zu einer erhöhten Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzung führt und die Beantwortung der Forschungsfrage durch mehrere Studien

bestätigt werden konnte. Auch wenn das Alter der Spezialisierung keinen signifikanten Faktor für Überlastungsverletzungen darstellte, wurde das erhöhte Risiko für Verletzung im Nachwuchsalter deutlich. McGowan et al. (2020) fanden keinen Zusammenhang zwischen der Spezialisierung und dem Verletzungsrisiko in einer Stichprobe von 10– bis 13-Jährigen, wodurch sich die Frage stellt, ob die negativen Folgen von Spezialisierung vor oder in dieser Altersspanne erst verspätet auftreten und durch die pubertären Risikofaktoren verstärkt werden. Um diesen Effekt zu untersuchen, müssen weitere Studien durchgeführt werden. Die Beantwortung der Forschungsfrage basierte auf einer Definition der frühen Spezialisierung ohne ein genau festgelegtes Alter, sondern mehr der Altersspanne vor und während der pubertären Reifung. Nutzte man die Definition der AOSSM, welche sich auf die Spezialisierung im präpubertären Alter bezieht, sprich Kinder im Alter von ungefähr 12 Jahren umfasst, wäre in den berücksichtigten Studien dieses systematischen Reviews kein Zusammenhang zwischen einer frühen Spezialisierung und einer erhöhten Verletzungsanfälligkeit sichtbar geworden. Das Alter der Studienstichproben war breit gefächert und die fehlende Unterteilung in die Altersgruppen bis 12 Jahre und 12 Jahre und älter erschwerte die Analyse der beiden Gruppen im Vergleich zueinander. Um den Einfluss einer frühen Sportspezialisierung vor dem 12. Lebensjahr auf die Anfälligkeit von muskuloskelettalen Verletzungen zu untersuchen, müssten weitere Studien durchgeführt werden (DiCesare et al., 2019a; DiCesare et al., 2019b; Jayanthi et al., 2019). Zusätzlich anzumerken ist die Erkenntnis von Miller et al. (2019), dass die Kategorisierung durch die Drei-Punkte-Jayanthi-Skala Fehler mit sich bringt, wodurch hoch spezialisierte Athlet*innen fälschlicherweise der moderaten Kategorie zugeteilt werden. Dadurch wurde die Empfehlung eine weitere Frage für die Personen einzuführen, die nur eine Sportart jemals gespielt haben und keine anderen Sportarten aufgeben mussten, um sich zu spezialisieren (Miller et al., 2019). Zukünftige Studien könnten diesen Aspekt berücksichtigen, um die Gruppe an Sportler*innen besser zu untersuchen, die nie mit anderen Sportarten in Berührung gekommen ist. Für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Alter, beziehungsweise dem Alter der Spezialisierung sollten Längsschnittstudien durchgeführt werden, um die Athlet*innen im gesamten Altersspektrum hinweg zu vergleichen.

6 Limitationen

Die Studien, die sich für die Beantwortung der Forschungsfrage eigneten, waren hauptsächlich im Querschnitts- und Fall-Kontroll-Design. Das Problem des Querschnittsdesigns war die fehlende Ursachen-Wirkungs-Beziehung. Es wurden zwar Zusammenhänge zwischen den Variablen gefunden, aber Schlussfolgerungen bezüglich der Kausalität waren nicht möglich. Somit ist es möglich, dass eine frühere Verletzung dazu geführt hat, dass sich Athlet*innen auf eine Sportart spezialisierten und somit die Überlastungsverletzung nicht durch die Spezialisierung begünstigt wurde. Möglicherweise wurde ein Sport aufgegeben, weil sich Athlet*innen in diesem verletzt hatten. Dennoch wurde in den Studien versucht, solche Verzerrungen durch Kontrollen der Variablen zu verringern. Die Art der Datenerhebung war in allen Studien gleich, aber brachte durch die Form eines Fragebogens Risiken mit. Vor allem Erinnerungsbias können durch diese Art der Datenerhebung auftreten, was vor allem bezogen auf das Alter zu Beginn der Sportspezialisierung Probleme in der Genauigkeit mit sich bringen kann.

7 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieses systematischen Reviews zeigten den Einfluss einer frühen Spezialisierung im Nachwuchsleistungssport auf die Anfälligkeit für muskuloskelettale Verletzungen, insbesondere Überlastungsverletzungen jedoch nicht eindeutig für akute Verletzungen. Außerdem zeigte sich der Einfluss moderierender Faktoren, wie Trainingsvolumen, Geschlecht und Sportart. Diesbezüglich zeigte sich bei Individualsportler*innen, bei weiblichen Athletinnen und bei Sportler*innen mit einem erhöhten Trainingsvolumen ein höheres Risiko für muskuloskelettale Überlastungsverletzungen. Jedoch besteht weiterer Forschungsbedarf. Es sollten weitere Studien durchgeführt werden, um den Zusammenhang zwischen dem frühen Spezialisierungsalter und dem erhöhten Risiko für muskuloskelettale Verletzungen zu analysieren. Außerdem sollte untersucht werden, ob eine Spezialisierung im jungen Alter Auswirkungen auf das Verletzungsrisiko im pubertären Alter hat. Für den Vergleich im gesamten Altersspektrum sollten Längsschnittstudien durchgeführt werden.

Basierend auf diesen Ergebnissen wäre eine vielseitige sportliche Ausbildung kombiniert mit der Einhaltung der Trainingsvolumenempfehlungen eine Möglichkeit das Verletzungsrisiko zu reduzieren und nachhaltig sportliche Entwicklung zu fördern.

Literaturverzeichnis

- Baker, J. (2003). Early Specialization in Youth Sport: A requirement for adult expertise? *High Ability Studies - HIGH ABIL STUD*, 14, 85–94. <https://doi.org/10.1080/13598130304091>
- Baumann, U. (2007). *Literatur recherchieren und beschaffen* [Skript]. HSLU Hochschule Luzern. <https://blog.hslu.ch/bibliothek/files/2009/05/skript-literaturrecherche.pdf>
- Bell, D. R., Lang, P. J., Valovich McLeod, T. C., McCaffrey, K. A., Zaslow, T. L., McKay, S. D., & PRiSM Sport Specialization Interest Group. (2018). Sport Specialization Is Associated With Injury History in Youth Soccer Athletes. *Athletic Training & Sports Health Care*, 10(6), 241–246. <https://doi.org/10.3928/19425864-20180813-01>
- Bell, D. R., Post, E. G., Trigsted, S. M., Hetzel, S., McGuine, T. A., & Brooks, M. A. (2016). Prevalence of Sport Specialization in High School Athletics: A 1-Year Observational Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(6), 1469–1474. <https://doi.org/10.1177/0363546516629943>
- Bell, D. R., Snedden, T. R., Biese, K. M., Nelson, E., Watson, A. M., Brooks, A., ... Kliethermes, S. A. (2021). Consensus Definition of Sport Specialization in Youth Athletes Using a Delphi Approach. *Journal of Athletic Training*, 56(11), 1239–1251. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0725.20>
- Biese, K. M., Post, E. G., Schaefer, D. A., Hernandez, M. I., Brooks, M. A., McGuine, T. A., & Bell, D. R. (2020). Evaluation of adolescent sport specialization and injury mechanism by sex: A secondary analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(8), 721–725. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.01.012>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2006). Sports-related injuries among high school athletes-United States, 2005-06 school year. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 55(38), 1037–1040.
- DiCesare, C. A., Montalvo, A., Barber Foss, K. D., Thomas, S. M., Ford, K. R., Hewett, T. E. ... Myer, G. D. (2019). Lower Extremity Biomechanics Are Altered Across Maturation in Sport-Specialized Female Adolescent Athletes. *Frontiers in Pediatrics*, 7, 268. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00268>
- DiCesare, C. A., Montalvo, A., Foss, K. D. B., Thomas, S. M., Hewett, T. E., Jayanthi, N. A., & Myer, G. D. (2019). Sport Specialization and Coordination Differences in Multisport Adolescent Female Basketball, Soccer, and Volleyball Athletes. *Journal of Athletic Training*, 54(10), 1105–1114. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-407-18>
- DiFiori, J. P., Benjamin, H. J., Brenner, J. S., Gregory, A., Jayanthi, N., Landry, G. L., & Luke, A. (2014). Overuse injuries and burnout in youth sports: A position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *British Journal of Sports Medicine*, 48(4), 287–288. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093299>
- DiSanti, J. S., & Erickson, K. (2019). Youth sport specialization: A multidisciplinary scoping systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 37(18), 2094–2105. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1621476>

- Downes, M. J., Brennan, M. L., Williams, H. C., & Dean, R. S. (2016). Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). *BMJ Open*, 6(12), e011458. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-011458>
- Ekegren, C. L., Gabbe, B. J., & Finch, C. F. (2016). Sports Injury Surveillance Systems: A Review of Methods and Data Quality. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 46(1), 49–65. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0410-z>
- Ericsson, K., Krampe, R., & Tesch-Roemer, C. (1993). The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance. *Psychological Review*, 100, 363–406. <https://doi.org/10.1037//0033-295X.100.3.363>
- Feeley, B. T., Agel, J., & LaPrade, R. F. (2016). When Is It Too Early for Single Sport Specialization? *The American Journal of Sports Medicine*, 44(1), 234–241. <https://doi.org/10.1177/0363546515576899>
- Güllich, A., & Krüger, M. (Hrsg.). (2022). *Sport: Das Lehrbuch für das Sportstudium* (2. Auflage). Springer Spektrum.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Kiefer, A. W., & Ford, K. R. (2015). Longitudinal Increases in Knee Abduction Moments in Females during Adolescent Growth. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(12), 2579–2585. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000700>
- Howard, P., Henry, M., & Doan, J. (2017). *SPORTDiscus with Full Text*. <https://doi.org/10.5260/CCA.199306>
- Jayanthi, N. A., LaBella, C. R., Fischer, D., Pasulka, J., & Dugas, L. R. (2015). Sports-Specialized Intensive Training and the Risk of Injury in Young Athletes: A Clinical Case-Control Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(4), 794–801. <https://doi.org/10.1177/0363546514567298>
- Jayanthi, N. A., Post, E. G., Laury, T. C., & Fabricant, P. D. (2019). Health Consequences of Youth Sport Specialization. *Journal of Athletic Training*, 54(10), 1040–1049. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-380-18>
- Jayanthi, N., Kleithernes, S., Dugas, L., Pasulka, J., Iqbal, S., & LaBella, C. (2020). Risk of Injuries Associated With Sport Specialization and Intense Training Patterns in Young Athletes: A Longitudinal Clinical Case-Control Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(6), 2325967120922764. <https://doi.org/10.1177/2325967120922764>
- Jayanthi, N., Pinkham, C., Dugas, L., Patrick, B., & LaBella, C. (2013). Sports Specialization in Young Athletes: Evidence-Based Recommendations. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 5(3), 251–257. <https://doi.org/10.1177/1941738112464626>
- LaPrade, R. F., Agel, J., Baker, J., Brenner, J. S., Cordasco, F. A., Côté, J., ... Provencher, M. T. (2016). AOSSM Early Sport Specialization Consensus Statement. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(4), 232596711664424. <https://doi.org/10.1177/2325967116644241>
- Lu, Z. (2011). PubMed and beyond: A survey of web tools for searching biomedical literature. *Database*, 2011(0), baq036–baq036. <https://doi.org/10.1093/database/baq036>

- Malina, R. M. (2010). Early sport specialization: Roots, effectiveness, risks. *Current Sports Medicine Reports*, 9(6), 364–371. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181fe3166>
- McGowan, J., Whatman, C., & Walters, S. (2020). The associations of early specialisation and sport volume with musculoskeletal injury in New Zealand children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(2), 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.09.002>
- McGuine, T. A., Post, E. G., Hetzel, S. J., Brooks, M. A., Trigsted, S., & Bell, D. R. (2017). A Prospective Study on the Effect of Sport Specialization on Lower Extremity Injury Rates in High School Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(12), 2706–2712. <https://doi.org/10.1177/0363546517710213>
- McLellan, M., Allahabadi, S., & Pandya, N. K. (2022). Youth Sports Specialization and Its Effect on Professional, Elite, and Olympic Athlete Performance, Career Longevity, and Injury Rates: A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(11), 232596712211295. <https://doi.org/10.1177/23259671221129594>
- Miller, M., Malekian, S., Burgess, J., & LaBella, C. (2019). Evaluating a Commonly Used Tool for Measuring Sport Specialization in Young Athletes. *Journal of Athletic Training*, 54(10), 1083–1088. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-379-18>
- Murday, P. F., McLoughlin, D. E., Wild, J. T., Kwon, S., Burgess, J., & LaBella, C. R. (2024). Injury Patterns in Highly Specialized Youth Athletes: A Comparison of 2 Pathways to Specialization. *Journal of Athletic Training*, 59(2), 112–120. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0083.23>
- Myer, G. D., Jayanthi, N., Difiori, J. P., Faigenbaum, A. D., Kiefer, A. W., Logerstedt, D., & Micheli, L. J. (2015). Sport Specialization, Part I: Does Early Sports Specialization Increase Negative Outcomes and Reduce the Opportunity for Success in Young Athletes? *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 7(5), 437–442. <https://doi.org/10.1177/1941738115598747>
- Pasulka, J., Jayanthi, N., McCann, A., Dugas, L. R., & LaBella, C. (2017). Specialization patterns across various youth sports and relationship to injury risk. *The Physician and Sportsmedicine*, 45(3), 344–352. <https://doi.org/10.1080/00913847.2017.1313077>
- Patel, D. R., & Baker, R. J. (2006). Musculoskeletal injuries in sports. *Primary Care*, 33(2), 545–579. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2006.02.001>
- Patel, D. R., Yamasaki, A., & Brown, K. (2017). Epidemiology of sports-related musculoskeletal injuries in young athletes in United States. *Translational Pediatrics*, 6(3), 160–166. <https://doi.org/10.21037/tp.2017.04.08>
- Petersen, W., Bierke, S., & Häner, M. (2020). Frühe Spezialisierung im Sport: Risiko für Überlastungsschäden, Verletzungen und Burnout? *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 36(2), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2020.04.006>
- Post, E. G., Bell, D. R., Trigsted, S. M., Pfaller, A. Y., Hetzel, S. J., Brooks, M. A., & McGuine, T. A. (2017). Association of Competition Volume, Club Sports, and Sport

- Specialization With Sex and Lower Extremity Injury History in High School Athletes. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 9(6), 518–523. <https://doi.org/10.1177/1941738117714160>
- Post, E. G., Biese, K. M., Schaefer, D. A., Watson, A. M., McGuine, T. A., Brooks, M. A., & Bell, D. R. (2020). Sport-Specific Associations of Specialization and Sex With Overuse Injury in Youth Athletes. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 12(1), 36–42. <https://doi.org/10.1177/1941738119886855>
- Post, E. G., Trigsted, S. M., Riekens, J. W., Hetzel, S., McGuine, T. A., Brooks, M. A., & Bell, D. R. (2017). The Association of Sport Specialization and Training Volume With Injury History in Youth Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(6), 1405–1412. <https://doi.org/10.1177/0363546517690848>
- Schickmair, D. (2020). „Physical literacy and physical competences – deren Bedeutung für die kindliche Entwicklung“. (Masterarbeit, Masterstudium Lehramt Sek (AB) UF Bewegung und Sport UF Mathematik).
- Schmucker, C., Nothacker, M., Rücker, G., Mücke-Borowski, C., Kopp, I., & Meerpohl, J. J. (2016). *Bewertung des Biasrisikos (Risiko systematischer Fehler) in klinischen Studien: Ein Manual für die Leitlinienerstellung*. <https://doi.org/10.6094/UNIFR/10926>
- Smucny, M., Parikh, S. N., & Pandya, N. K. (2015). Consequences of Single Sport Specialization in the Pediatric and Adolescent Athlete. *Orthopedic Clinics of North America*, 46(2), 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2014.11.004>
- Streppelhoff, R., Holzbach, T., Luetkehermoelle, R., & Ziebarth, T. (2022). Suchst Du noch oder SURFst Du schon? *Sport Und Recherche im Fokus – das Sportinformationsportal des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp)* (S. 117–130).
- Wells, G. A., Shea, B., O'Connell, D., Peterson, J., Welch, V., M Losos & Tugwell, P. (o. D.), *Ottawa Hospital Research Institute*. Abgerufen 5. Januar 2025, von https://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp
- Wiersma, L. D. (2000). Risks and Benefits of Youth Sport Specialization: Perspectives and Recommendations. *Pediatric Exercise Science*, 12(1), 13–22. <https://doi.org/10.1123/pes.12.1.13>
- Zoellner, A., Whatman, C., Sheerin, K., & Read, P. (2022). Prevalence of sport specialisation and association with injury history in youth football. *Physical Therapy in Sport*, 58, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.10.013>