



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Intrinsische Risikofaktoren von Kindern und Jugendlichen
beim Krafttraining“

verfasst von / submitted by

Christoph Putz

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaft (Mag. rer. nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 190 482 445

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Bewegung und Sport
UF Biologie und Umweltkunde

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Kurzzusammenfassung

Das Ziel dieser Übersichtsarbeit war es zu ergründen, was die anfänglichen Risiken eines Krafttrainings von gesunden Kindern und Jugendlichen sind, die von physischen Konsequenzen chronischen Bewegungsmangels betroffen sind. Mit Hilfe einer systematischen Literaturrecherche unter Verwendung entsprechender Schlagworte zu Entwicklung, Wachstum, Krafttraining und Folgen von Bewegungsmangel, wurden Evidenzen und bedeutende Aussagen in wissenschaftlichen Literaturdatenbanken gesucht, die als Implikationen bzw. Begründungen für die Formulierung von Risikofaktoren des Krafttrainings für Kinder und Jugendliche ausgewertet werden konnten. Als Ressourcen für adäquate Quellen dienten Werke trainingswissenschaftlicher Fachliteratur und die Literaturdatenbanken „PubMed“, „CINAHL“ und „SPOWIS“. In Summe wurden 59 Publikationen inkludiert, die sich aus 50 originalen Studien, vier Reviews, einer Metaanalyse und vier anderen Publikationsformen zusammensetzen. Drei bedeutende Risikofaktoren, nämlich Fehlhaltungen, Übergewicht und mangelndes Bewegungskönnen wurden aus jeweils 33, zwölf und sechs Studienergebnissen heraus als besonders bedeutend für Trainerinnen und Trainer, bei der Auswahl von Methoden und Belastungsvariablen des Krafttrainings, postuliert. Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die Feststellung eines Mangels an handlungsweisenden Evidenzen für die Planung und Gestaltung von Krafttraining für junge Anfängerinnen und Anfänger im Krafttraining, die mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von Folgen eines passiven Lebensstils beeinträchtigt sind. Die Implikationen der vorliegenden Arbeit haben dennoch bestenfalls die Qualität potenzieller Themenbereiche für vertiefende Untersuchungen, als dass sie belastbare Evidenzen für die Definition konkreter Maßnahmen des Risikomanagements beim Krafttraining von Kindern und Jugendlichen hervorbringen würden.

Abstract

The objective of this review was to explore the risks healthy children and adolescents who show physical consequences of a sedentary lifestyle may face in the early phase participation in resistance training. A systematic literature search method utilizing Keywords such as 'development', 'growth', 'resistance training' and 'sedentary lifestyle' was used to find evidence and specific content, so explicit risk factors could be defined. Current publications on exercise sciences and the research databases "PubMed", "CINAHL" and "SPOWIS" served as sources for such evidence. There were 59 publications included consisting of 50 original studies, four reviews, one Meta-analysis and four other forms of publication. The three major risk factors 'faulty posture', 'overweight' and 'lack of movement skill' were found to be meaningful for practitioners planning and designing resistance training for children and adolescent were established by assessing 33, twelve and six publications respectively. The results of this review agree with the finding that there is a lack of evidence-based guidelines for planning and designing resistance training that addresses young beginners who have a high chance of being impacted by consequences of a sedentary lifestyle. It was shown that despite high prevalence of faulty posture and overweight there were no science-based statements that would address these groups in the context of resistance training.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	1
Abstract	2
1 Einleitung.....	1
2 Methoden.....	4
3 Begriffliche Abgrenzungen	9
3.1 Inaktiver Lebensstil und Bewegungsmangel.....	9
3.2 Fehlhaltungen.....	9
3.3 Übergewicht	10
3.4 Bewegungskönnen.....	12
3.5 Definition von Risiken des Krafttrainings für Kinder und Jugendliche	13
4 Relevante Inhalte zum Krafttraining für Kinder und Jugendliche	14
4.1 Trainingspraktisch relevante Grundlagen der biologischen Entwicklungsphasen.	15
4.1.1 Vorschulalter	16
4.1.2 Frühes Schulkindalter.....	17
4.1.3 Spätes Schulkindalter.....	17
4.1.4 Erste puberale Phase.....	18
4.1.5 Zweite puberale Phase	19
4.2 Bestimmung des Entwicklungsstandes einer heranwachsenden Person.....	20
4.2.1 Bestimmung der Reife des Skeletts	21
4.2.2 Bestimmung des sexuellen Alters	22
4.2.3 Bestimmung des somatischen Alters	23
5 Intrinsische Risikofaktoren für ein Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen	26
5.1 Fehlhaltungen.....	29

5.1.1 Abweichende Wirbelsäulengeometrie	29
5.1.2 Abweichende Beinachsen	32
5.1.3 Abweichende Fußgewölbe	34
5.2 Übergewicht als Risikofaktor für Krafttraining	36
5.2.1 Übergewicht und Fehlhaltungen.....	36
5.2.2 Veränderte Entwicklung durch Übergewicht	38
5.3 Mangelndes Bewegungskönnen als Risiko beim Krafttraining	39
5.4 Beeinträchtigte Knochengesundheit in Folge von Bewegungsmangel	41
5.5 Rückenschmerzen als unsicherer Indikator	43
6. Diskussion	46
6.1 Relevanz der Risikofaktoren auf Grund ihrer Prävalenzen	46
6.2 Risikofaktoren nach den verschiedenen Entwicklungsstadien	50
6.3 Schwächen der Erhebung	54
7. Schlussfolgerung	55
Literaturverzeichnis	57
Tabellenverzeichnis	68
Abbildungsverzeichnis.....	69
Abkürzungsverzeichnis.....	69
Eidesstattliche Erklärung	70

1 Einleitung

Das Interesse an Krafttraining (KT) mit Kindern und Jugendlichen (KJ) ist in den letzten Jahren stetig gewachsen (Stone et al., 2014), damit verbunden sind seit einigen Jahren stetig ansteigende Teilnehmerzahlen am KT für KJ zu verzeichnen (Haff & Triplett, 2016). Vorrangige Einsatzgebiete des KT mit KJ finden sich im Leistungssport, aber auch in institutionellen und privaten pädagogischen Umfeldern, wie Schulen, Sportvereinen und Ferienlagern. Eine langjährige kritische Einstellung von Kinderorthopäden und anderen Experten zum Krafttraining von KJ begründete sich vorwiegend auf der Aussage, dass eine erhöhte Belastung der Epiphysen zu folgenreichen Verletzungen oder gar Hemmungen des Wachstums führen könnte (z.B.: Beneke and Hebestreit, 2002). Diese Aussage hat sich nach Ansicht von Praktikern, wie beispielsweise Zawieja and Oltmanns (2011), aber auch in den Augen von Forschungstreibenden wie Falk, (2019) und Lloyd gemeinsam mit Oliver (2014) als schwach begründet erwiesen. Vor dem Hintergrund einer dennoch bestehenden Skepsis gegenüber der Verwendung von KT in der Trainingsgestaltung von KJ, galt es für jene, die dessen Mehrwert klar erkannten und belegen konnten, dennoch fundierte Argumente gegen die Verwehrung von Krafttraining für Heranwachsende zu finden (Lloyd & Faigenbaum, 2016). Es stellte sich heraus, dass Krafttraining für KJ nicht nur verhältnismäßig ungefährlich ist (Lloyd & Oliver, 2014; Myer, Quatman, Khoury, Wall, & Hewett, 2009), sondern auch weitgehend positive Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und Verletzungsprävention, sowohl im Leistungssport, als auch im Freizeitsport aber auch im Schulsport hat (Lloyd et al. 2016; Moody et al., 2014). Im Zuge der Forschung zu entwicklungsgerechten Trainingsreizen wurde darüber hinaus ein beträchtliches Wissen über die Zusammenhänge von Wachstumsprozessen unter dem Einfluss von Widerstandstraining (French, Jones, & Kraemer, 2014). Das Wissen über die Zusammenhänge physiologischer Bedingungen der Individualentwicklung und dem Einfluss auf diese durch Trainingsreize, werden zusammen mit fortgeschrittenen pädagogischen Kompetenzen im Umgang mit KJ mehrfach als die bedeutendste Voraussetzung für die Gestaltung eines sicheren und zweckdienlichen Trainingsumfeldes genannt (Stone et al., 2014; Lloyd & Faigenbaum, 2016; Lloyd et al., 2016). Konkrete Richtlinien und Entscheidungshilfen für die Trainingspraxis wurden von den eben genannten Autoren auf der Basis ihrer wissenschaftlichen Befunde verfasst.

Die jüngsten einschlägigen Reviews zum Thema KT für KJ formulieren ihre Empfehlungen zur Gestaltung des KT aus den Perspektiven (Walters, Read, and Estes 2018, Zwolski, Quatman-Yates, and Paterno 2017):

- Sicherheit durch Vermeidung von Unfällen und Überbeanspruchung beim KT
- Verletzungsprävention durch KT
- Die Rolle des KT in der Entwicklung von Bewegungskompetenzen
- Die Trainierbarkeit unterschiedlicher Aspekte der Kraft in den verschiedenen Entwicklungsphasen
- Potentiale der Leistungssteigerung im Wettkampfsport durch KT

Es ist davon auszugehen, dass sowohl das referenzierte Studienmaterial dieser Reviews als auch Schlussfolgerungen daraus und vor allem die daraus entstandenen Empfehlungen aus möglichst kontrollierten Studienbedingungen hervorgingen. Weiters ist anzunehmen, dass sich die Verantwortlichen der jeweiligen Studien versichert haben, die untersuchten KJ durch ihre Teilnahme an der Intervention keinem besonderen Risiko auszusetzen. Wechselwirkungen zwischen Trainingsinterventionen und ungünstigen motorischen Mustern, orthopädischen Problemstellungen oder hinderlichen Voraussetzungen, wie Fettleibigkeit, könnten also bei der Generierung oben erwähnter Ergebnisse zum KT mit KJ ausgeklammert geblieben sein (Falk, 2019). Abseits der Befunde zum Thema KT mit KJ ist festzuhalten, dass dichter werdende Befunde zur globalen Abnahme von Fitnesslevels bei KJ zu verzeichnen sind (Organisation mondiale de la santé, 2010). Gleichzeitig ist die Prävalenz von Übergewicht und Fettleibigkeit von KJ seit Jahren global ansteigend und lange nicht mehr auf Regionen und Nationen beschränkt, deren Entwicklungsstand als fortschrittlich bezeichnet werden kann.

Führende sportwissenschaftliche Einrichtungen sehen im KT mit KJ gar ein wesentliches Instrument, den negativen Entwicklungstendenzen der körperlichen und geistigen Gesundheit von Kindern und Jugendlichen entgegen zu wirken (Barbieri & Zaccagni, 2013; Faigenbaum, Lloyd, & Myer, 2013; Faigenbaum, Stracciolini, & Myer, 2011). Eine hohe relative Sicherheit des KT im Vergleich zu anderen Sportarten (Lloyd & Oliver, 2014) und nachgewiesene positive Effekte auf mehreren Ebenen der Gesundheit (Carter & Micheli, 2011; Falk & Eliakim, 2003; Zwolski et al., 2017) sind dabei die Schlüsselargumente. Studienergebnisse, die aus der Arbeit mit gesunden oder zumindest ausgewählten KJ hervorgehen und als Grundlage für handlungsorientierte Empfehlungen zur Gestaltung von KT mit KJ dienen, werfen eine Diskrepanz auf. Es drängt sich nämlich die Frage auf, ob bestehende Kriterien und Empfehlungen zur Gestaltung von KT für KJ als Instrument zur Bekämpfung von Beeinträchtigungen durch zu wenig sportliche Betätigung angesehen werden kann. Bei der weiteren Annäherung an diese Problematik in Form von annähernden

Recherchen, konnten zumindest einige Referenzen gefunden werden, die sich mit der Frage des Einstiegs von sportlich inaktiven KJ ins KT befassen. Weniger umfangreich, aber dennoch vorhanden sind Referenzen zu körperlichen Haltungsschwächen von KJ im Zusammenhang mit KT. Problematische Gelenkstellungen, die teilweise aus Bewegungsmangel resultieren, aber auch idiopathisch auftreten, scheinen gut untersucht zu sein, da sie auch sehr häufig bei sonst gesunden KJ vorkommen. Es scheint außerdem ein beträchtlicher Wissensstand über die Relevanz von KT mit KJ zu existieren, die als übergewichtig einzustufen sind (Nettle & Sprogis, 2011), was in Summe den Anstoß zur näheren Bearbeitung der Problematik in Form dieser wissenschaftlichen Übersichtsarbeit geliefert hat. Die Arbeit soll die aktuelle einschlägige Fachliteratur zum vorgestellten Problem entlang der folgenden Frage untersuchen:

Was sind die Risiken eines KT, von gesunden KJ, die von chronischem Bewegungsmangel oder idiopathischen Fehlhaltungen betroffen sind?

Diese Forschungsfrage verlangt eine klare Abgrenzung von Begrifflichkeiten, da die wissenschaftliche Bearbeitung des Themas KT bei KJ noch jung ist und zahlreiche Begriffe hervorbringt, die in ihrer Bedeutung ähnlich sind. Ebenfalls notwendig erscheint die strukturierte Zusammenfassung des Wissens über KT mit KJ, sodass die allgemeinen evidenzbasierten Kriterien für ein entwicklungsgerechtes KT dargelegt werden. Dies ist notwendig, um in Verbindung mit der Darstellung der Resultate des Rechercheprozesses, eine Diskussion über etwaige Risiken des KT herauszuarbeiten, die aus Bewegungs- bzw. Erfahrungsmangel oder auch aus Fehlhaltungen bei KJ resultieren.

Der Forschungsfrage liegt die folgende Hypothese zu Grunde: Für den Anspruch eines sicheren KT für KJ reicht es nicht aus, das KT lediglich auf Basis der dafür bekannten Risiken zu planen und zu gestalten. Die Hypothese begründet sich wie folgt: Grob zusammengefasst besteht die Risikominimierung beim KT von KJ in der Anpassung der Trainingsbelastung an Gewebe, die aufgrund ihrer Wachstumsgeschwindigkeit und strukturellen Veränderung sensibel für mechanische Überlastung sind. Die Erhebung und Prognose des körperlichen bzw. geistigen Entwicklungsstandes wird daher verwendet, um abzuschätzen, ob sich ein Individuum in einer Phase der Sensibilität befindet und in welcher. Fehlhaltungen oder Folgen von Bewegungsmangel, die keinen medizinischen Widerspruch für ein KT darstellen, aber dennoch mechanische oder strukturelle Folgen haben sind Risikofaktoren, die vom beschriebenen Vorgehen nicht adressiert werden.

2 Methoden

Evidenzen wurden ausschließlich von englisch und deutschsprachigen Quellen bezogen, die in den letzten zehn Jahren publiziert wurden. Dieser Zeitraum erscheint sinnvoll, da die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit KT bei KJ selbst im leistungssportlichen Bereich nicht wesentlich älter ist. Ausschließlich klinische Studien und Versuche sowie vergleichende Studien und Zwillingsstudien wurden als Quellen zugelassen. Das Datum der letzten Suchabfrage war der 20.01.2020. Es galt möglichst belastbare Fakten zu finden, die den Streitpunkt von zu kurz gegriffenen Richtlinien für die Planung und Gestaltung von KT mit KJ rechtfertigen konnten. Die wissenschaftliche Qualität dieser Studien musste daher ebenfalls gewährleistet sein, weshalb nur von Experten geprüfte Quellen akzeptiert wurden (peer-review). Als Ressourcen für die Recherche dienten die Datenbanken PubMed und CINAHL, um medizinisch-physiologisch einschlägige Quellen zu finden. SPOWIS wurde ebenfalls durchsucht. Primär sollten damit sportwissenschaftlich einschlägige Publikationen erfasst werden. Sekundär wurde mit der Suche in SPOWIS sichergestellt, dass deutschsprachige Quellen, die nicht oder noch nicht in englischer Sprache verfügbar sind, gefunden wurden. Die medizinisch fachwissenschaftliche Literaturdatenbank „PubMed“ wurde als primäre Quellenressource gewählt, da die Suche nach Risikofaktoren beim KT insbesondere auch eine Suche nach medizinischen Risiken für KJ ist. Die gewählte Suchstrategie soll darum für die Datenbank „PubMed“ beschrieben werden.

In Erwartung spärlicher Ergebnisse einer direkten Operationalisierung der Forschungsfrage, in Form von direkten Titelphrasen mit entsprechenden Schlagwörtern, wurde der Suchradius mit Hilfe von Ausdrücken eines kontrollierten Vokabulars (MeSH Terms) und deren boolesche Verknüpfungen zunächst breiter gefasst. Die vorliegende Arbeit versteht sich als wissenschaftliche Übersichtsarbeit, die in ihrer Fragestellung und dem Rechercheprozess einem PICO-Schema (Wytrzens, 2014) entspricht. Bei der Operationalisierung der Forschungsfrage wurde dem „P“ (für patients) aus dem PICO-Schema entsprechend „adolescent development“ und „child development“ ausgewählt. „I“ (für intervention) entspricht „youth sports“, „resistance training“ und „muscle strengthening exercises“. Das „C“ (für control group) wurde nicht explizit operationalisiert, sondern diente ausschließlich dafür Studien und Artikel zu inkludieren, die sich mit Risikofaktoren von unsportlichen bzw. passiven KJ befassen oder so interpretiert werden können. Die Kontrollgruppe bilden somit die unbelasteten bzw. sportlichen KJ. Als „O“ (für outcome) wurden die Begriffe „mental processes“, „musculoskeletal and neural physiological phenomena“, „motor skills“, „adaptation, physiological“ und „psychomotor performance“ als quantifizierbare Unterschiede ausgewählt. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden w**

erden. listet die angewandten booleschen Phrasen auf, mit deren Hilfe KT bei KJ hinsichtlich bekannter und spekulativer Risiken erkundet wurde.

Tabelle 1: *Boolesche Phrasen aus MeSH-Terms zur groben Suchen nach Risiken des Krafttraining für inaktive Kinder und Jugendliche*

youth sports AND musculoskeletal and neural physiological phenomena AND mental processes
adolescent development AND musculoskeletal and neural physiological phenomena AND motor skills
child development AND resistance training
adolescent development AND resistance training
youth sports AND resistance training
youth sports AND psychomotor performance
adaptation, physiological AND psychomotor performance NOT visuomotor (Title) prism* (Title)
child development OR adolescent development AND resistance training OR muscle strengthening exercises

Insgesamt wurden 801 Studien und Artikel gefunden, die dem Kriterium entsprechen, innerhalb der letzten 15 Jahre publiziert worden und in englischer oder deutscher Sprache verfasst zu sein. Nach Abzug doppelt gelisteter Titel (19) blieben 782 Publikationen übrig. Anhand von Titeln ausgeschlossene Studien betrug 719 Publikationen, da diese entweder konkrete Pathologien bzw. Folgen traumatischer Ereignisse enthielten oder Therapien für Krankheiten und Verletzungen evaluierten. Der Ausschluss begründet sich so, dass chronische bzw. genetisch bedingte Krankheiten oder bleibende Schäden nach Unfällen sowie deren Therapie im Zusammenhang mit KT jeweils andere Fragestellungen darstellen. Schlussfolgerungen für KJ, deren Merkmal geringer sportlicher Aktivität und eventuell entsprechender Folgen sind, lassen sich aus diesen Studien also nicht ziehen. Die 63 übriggebliebenen Studien und deren Abstracts wurden weiter analysiert. Aus ihnen wurden 27 Titel genauer erfasst, wenn ein Volltext verfügbar und kostenlos war. Enthalten Schlussfolgerungen und Ergebnisdarstellungen im Abstract von Titeln bedeutende Aussagen im Sinne der Fragestellung, wurden diese, auch wenn kein Volltext verfügbar war, in die Arbeit aufgenommen. 16 Titel fanden aus dieser ersten breiten Übersichtsrecherche Eingang in die qualitative Synthese und der Herleitung von Risikofaktoren des KT für KJ mit geringer Bewegungserfahrung bzw. einem passiven Lebensstil. Die Prämisse zur Inkludierung der Ergebnisse eines Titels lag darin, Aussagen

zu finden, die Phänomene des Wachstums und mechanische Belastungen des Bewegungsapparates miteinander in Verbindung bringen. Eine weitere Voraussetzung dafür, als Evidenz für einen Risikofaktor beim KT von KJ zu gelten, bestand in einer hohen Prävalenz der untersuchten Problemstellung. Fehlstellungen der Wirbelsäule und Gelenke der unteren Extremitäten hoben sich damit in erster Linie als potenzielle Risiken für Belastungen, wie sie beim KT auftreten können, hervor. Daraufhin erfolgte eine weitere Suche, bei der Suchphrasen für das Titelfeld formuliert wurden, um so spezifische Publikationen für die unterschiedlichen Formen von Fehlhaltungen zu finden, wobei die oben angeführten Kriterien weiterhin angewandt wurden. Die verwendete Suchphrase lautete: ((postur*[Title] OR malalignment[Title] OR curvat*[Title] OR scolio*[Title] OR gait[Title] OR valgu*[Title] OR varu*[Title] OR arch*[Title] OR flat foot[Title])) AND (child*[Title] OR adolesc*[Title]). Unter Verwendung der Filter: „Published in the last 10 years“, „English“, „Adolescent“, „Child“, „Clinical Study“, „Clinical Trial“, „Comparative Study“, „Controlled Clinical Trial“ und „Observational Study“ ergaben sich 543 Titel. Acht Titel wurden nach Ausschluss von Titeln zu orthopädischen Korrekturmaßnahmen, Begleiterscheinungen komplexer Syndrome und methodentheoretischer Untersuchungen ausgewählt. Durch die Verwendung der Funktion „Similar articles“ bei den gefundenen acht Publikationen konnten nach genauerer Durchsicht weitere 25 Artikel der qualitativen Synthese des Risikofaktors „Fehlhaltungen“ hinzugefügt werden.

Fehlhaltungen bzw. Abweichungen von der normalen Haltung bei KJ wurden bei der Recherche sowohl in Titeln als auch in Abstracts häufig in Verbindung mit Übergewicht gefunden. Eine weitere Suchphrase wurde formuliert, um festzustellen, ob Übergewicht an sich als Risikofaktor beim KT von KJ argumentierbar ist: (((overweight[Title] OR body weight[Title] OR obes*[Title] OR body mass OR)) AND (pustu*[Title] OR foot[Title] OR knee[Title] OR spin* OR)) AND (child*[Title] OR adolesc*[Title]). Sechs passende Titel konnten auf diese Art aus 376 Publikationen in die Synthese aufgenommen werden und zwei zusätzliche ergaben sich wieder aus der Verwendung der Funktion „Similar articles“. Unter den 376 Suchergebnissen fanden sich sechs andere Titel, die Übergewicht mit Störungen des Hormonhaushalts von KJ assoziierten und dazu geführt haben, eine Subkategorie innerhalb des Risikofaktors „Übergewicht“ zu eröffnen.

135 Titel aus der Suchphrase „((motor competence[Title] OR motor abilities[Title] OR motor skill[Title])) AND (child*[Title] OR adolesce*[Title])“ wurden erkundet und ergaben gemeinsam mit der „similar articles“-Funktion acht relevante Publikationen. Die Formulierung der Suchphrase beruht auf den Aussagen von Faigenbaum et al. (2013), Faigenbaum and Myer (2010) sowie Fröhlich, Gießing, and Strack (2013), die das Bewegungskönnen von KJ beim Erlernen der typischen Übungen des KT in den Mittelpunkt

stellen. Faigenbaum et al. (2011) besprechen Auswirkungen eines inaktiven Lebensstils von KJ in ihrer Publikation „Exercise deficit disorder in youth“. Bei der Suche nach konkreten Evidenzen dazu konnten mit der Suchphrase „(((Physical Activity[Title] OR Sedentary Time[Title])) AND (Bone Strength[Title] OR bone health[Title])) AND (child*[Title] OR adolesc*[Title])) NOT (autis*[Title] OR down syndrom[Title] OR cereb*[Title] OR spin*[Title] OR paral*[Title])“ nur zwei Artikel gefunden werden, die auf fünf Artikel mit Hilfe von „similar articles“ erweitert werden konnten. Ein letzter Begriff, der ebenfalls aus den vorangegangenen Suchen hervorgegangen und als potenziell kategorisch für einen Risikofaktor beim KT gesehen werden könnte, lautet „Rückenschmerzen“.

Ein häufiges Auftreten von Rückenschmerzen während des Wachstums begründet diese Annahme. Vier aus 161 Artikeln erfüllen die Auswahlkriterien. Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse in Form der Abgrenzung der Risikofaktoren für unbedarfte KJ beim KT in Kapitel 5, werden die in diesem Abschnitt angeführten bzw. für die Synthese selektierten Titel in Form von thematisch zugeordneten Tabellen (Tabelle 3-10) aufgelistet. Sowohl die Suchergebnisse aus allen Datenbanken zusammengefasst als auch der geschilderte Suchprozess werden übersichtlich in Abbildung 1 als PRISMA Flussdiagramm dargestellt.

Befangenheit in der Auswahl und Interpretation der Quellen für diese Arbeit besteht vermutlich in der Tatsache, dass sich der Autor in Ermangelung vertiefender medizinischer Kenntnisse, hauptsächlich auf Wissen aus anlassbezogenen Recherchen und praktischer Erfahrungen mit KJ im KT, welches im Verlauf der persönlichen Betreuung von KJ in der Privatwirtschaft und aus Gruppentrainings im Nachwuchs eines American Football Vereins entstanden ist, stützt.



PRISMA 2009 Flussdiagramm

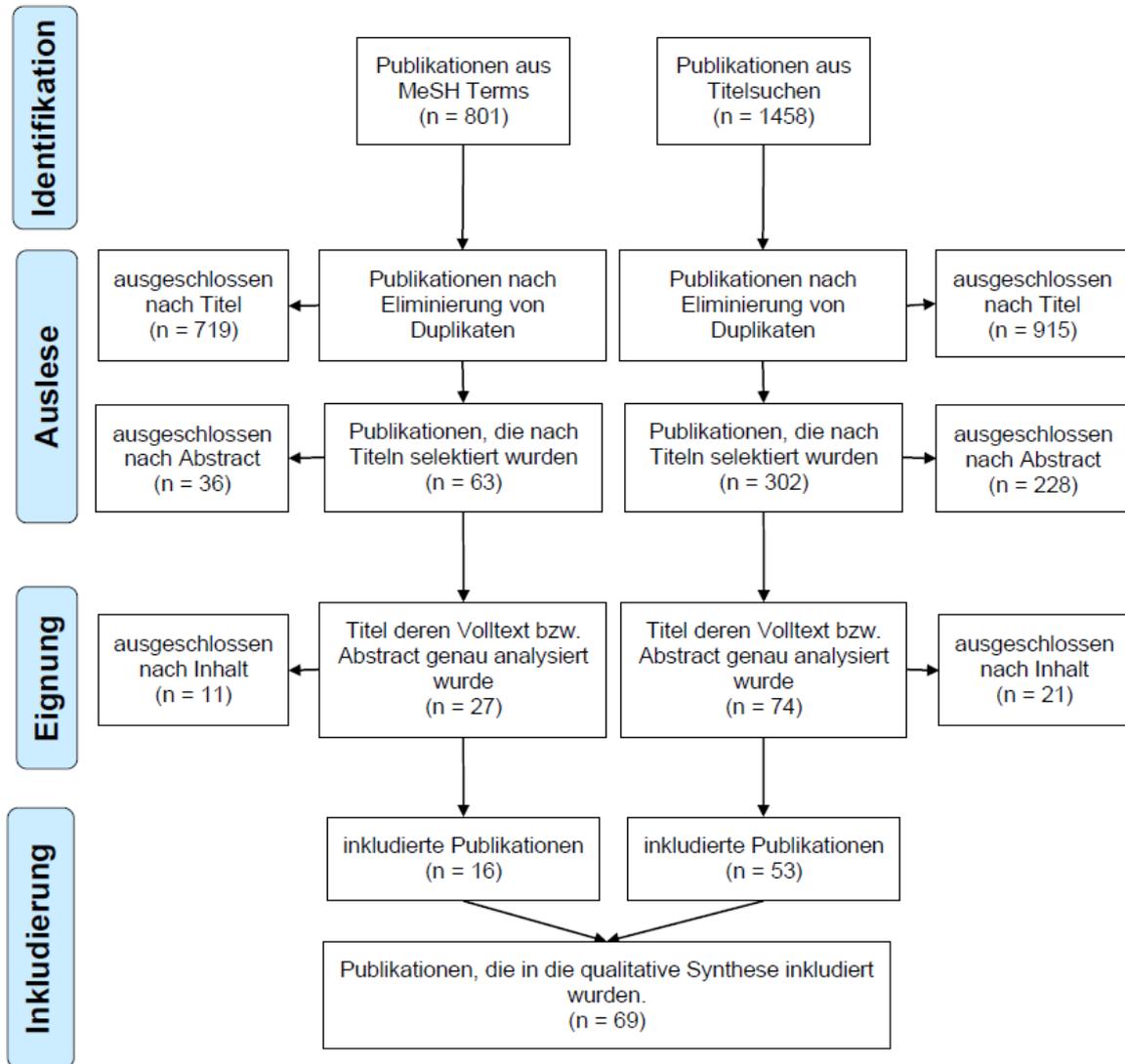


Abbildung 1; PRISMA Flussdiagramm mit der Übersicht über die parallel angewandten Suchstrategien. Angepasst nach Moher, Liberati, Tetzlaff, and Altman (2009)

3 Begriffliche Abgrenzungen

Dieses Kapitel dient zunächst der genauen Abgrenzung der wesentlichen, in dieser Arbeit verwendeten, Begriffe. Der Status eines Kindes oder Jugendlichen „inaktiv“, „passiv“ oder „unerfahren“ zu sein braucht Abgrenzungen. Abweichende Körperhaltungen, Übergewicht und Bewegungskompetenz sind miteinander ebenfalls kategorische Begriffe und verlangen daher nach einer Definition. Für ein klares Verständnis der Voraussetzungen für die Kraftentwicklung von KJ, ist es insbesondere notwendig, sich auf klare Definitionen der verschiedenen Aspekte der Krafftähigkeit festzulegen. Dasselbe gilt sowohl für die Methoden, die der Gestaltung entsprechender Reize zur Entwicklung der Krafftähigkeit dienen, als auch für die Möglichkeiten der Erhebung von Parametern, die die Bestimmung des Entwicklungsfortschrittes eines Kindes oder Jugendlichen ermöglichen.

3.1 Inaktiver Lebensstil und Bewegungsmangel

Physische Aktivität wird von der WHO grundsätzlich als jegliche Form der Aktivität bezeichnet, die einen Energieverbrauch durch die Skelettmuskulatur verursacht (Organisation mondiale de la santé, 2010). Damit fallen darunter auch Routineaktivitäten des Alltags, weshalb der Begriff „physische Aktivität“ nicht mit sportlicher Betätigung im Sinne körperlichen Trainings gleichgesetzt werden sollte. Für die Abgrenzung der Bereiche „mittlere Intensität“ (engl. moderate) und „hohe Intensität“ (engl. vigorous) stehen unbefriedigenderweise nur vage Definitionen zur Verfügung. So gelten Aktivitäten mittlerer Intensität als solche, wenn der Körper mit einer 3 bis 5,9-fachen Intensität, verglichen mit dem Ruhezustand, bewegt wird. Auf einer Skala von 1-10 der individuellen Kapazität (empfundene Anstrengung) einer Person wird mittlere Intensität mit 5 oder 6 beziffert. Für hohe intensive Aktivitäten gilt bei KJ die 7-fache Intensität verglichen mit dem Ruhezustand und eine 7 oder 8 auf einer persönlichen Skala von 1 bis 10 der Anstrengung. Für Kinder bzw. Jugendliche im Alter von fünf bis 18 Jahren empfiehlt die WHO mindestens 60 Minuten tägliche Aktivität mit mittlerer bis hoher Intensität, um eine unbeeinträchtigte Entwicklung zu gewährleisten. Diese Aktivitäten sollten mindestens dreimal pro Woche Tätigkeiten beinhalten, die sowohl die Skelettmuskulatur als auch die Knochen und Gelenke beanspruchen (Organisation mondiale de la santé, 2010).

3.2 Fehlhaltungen

Fehlhaltungen oder Haltungstörungen sind mehr oder weniger starke Abweichung von der Normalhaltung. Die Beurteilung der Haltung (engl. posture) ist insbesondere in den Übergängen von der Norm zur Abweichung schwierig, da diese Übergänge fließend

verlaufen und besonders im Kindes- und Jugendalter einer interindividuellen Streuung unterliegen (John, Rahlf, Hamacher, & Zech, 2019). Ohne die Hilfe technischer Messverfahren und entsprechender Referenzen ist die Erkennung abweichender Haltungen in ihrer Entstehung also mit einer beträchtlichen Subjektivität selbst für das geschulte Auge, verbunden. Ebenfalls von Bedeutung für das Verständnis und die Interpretation von Aussagen und Ergebnissen zu Fehlhaltungen ist, dass Haltung aus zwei Perspektiven betrachtet werden kann. Funktionell-dynamische Bedingungen liefern Aussagen über Gelenksysteme im Kontext von Bewegung. Bewegung an sich hängt aber nicht nur von morphologischen Bedingungen beteiligter Strukturen, sondern auch von der Funktionalität der motorischen Steuerung sowie der Reife des Nervensystems ab. Bei der Suche nach Ursachen für Abweichungen der Haltung während Bewegungen müssen daher neben der Morphologie der Strukturen auch Aspekte der Bewegungssteuerung in Betracht gezogen werden. Wird der gesamte Körper, ein Abschnitt oder ein einzelnes Gelenk in Ruhelage stehend oder liegend untersucht, spricht man von einer morphologisch-statischen Beurteilung der Haltung, deren Interpretation unter anderem Aussagen über mögliche ungünstige mechanische Bedingungen unter Belastung erlauben. Darüber hinaus gelten Fehlhaltungen im Stehen bei Kindern und Jugendlichen als Indikatoren für verfrühte Abnutzungserscheinungen und als Verletzungsrisiko. Haltungsleistungstests, wie jener nach Matthiaß, der spezifisch für KJ angewandt wird, zeigen, dass die Leistungsfähigkeit der Wirbelsäule eng mit der Rumpfmuskulatur in Verbindung steht (vgl. Hepp, Debrunner, & Grosser, 2004). Ähnliche Begriffe, die sich auf Insuffizienzen der Haltung beziehen, sind „Haltungsschwäche“ und „Haltungsverfall“. Zu den einzelnen Fehlhaltungen, insbesondere der unteren Extremitäten, folgen in den entsprechenden Unterkapiteln genauere Ausführungen.

3.3 Übergewicht

Übergewicht (engl. overweight) bzw. Fettleibigkeit (engl. obesity) sind definiert als abnormale oder übermäßige Fettmassen im Körper, die ein Risiko für die Gesundheit darstellen. Der aktuellen Angabe der WHO (2020) zufolge, gelten Personen mit einem BMI von 25 oder mehr als übergewichtig. Ab einem BMI von 30 wird von Fettleibigkeit gesprochen. Diese Standards gelten allerdings nur für Erwachsene. Für KJ ist es wesentlich schwieriger Indikatoren zur Messung von Übergewicht und Fettleibigkeit festzulegen, da sich KJ im Wachstum befinden und damit anthropometrische und physiologische Veränderungen einhergehen, die die Fettmasse unterschiedlich relativieren. Für die Erfassung von Übergewicht und Fettleibigkeit bei KJ stehen daher alters- und geschlechtsabhängig verschiedene Methoden zur Verfügung. Mithilfe statistischer

Auswertungen großer Datensätze ($n > 12000$), die mit nachweislich gesunden Personen auf der ganzen Welt erhoben wurden, und mathematischen Modellen brachte die WHO 2006 Tabellen und Graphen zur Interpretation von BMI Werten von Kindern und Jugendlichen hervor. Einige der Quellen, die in dieser Arbeit zur Erhebung bekannter Risiken des KT für KJ dienen, aber auch jene Beiträge, deren Ergebnisse die Formulierung zusätzlicher Risikofaktoren unterstützen, verwenden die Begriffe „Übergewicht“ und „Fettleibigkeit“. Die Interpretation von Aussagen, die sich auf diese Begriffe beziehen, erfolgt vor dem Hintergrund der komplexen Natur von Wachstum und Körperzusammensetzung, wie sie aus den Grafiken in Abbildung 1 und 2 hervorgehen.

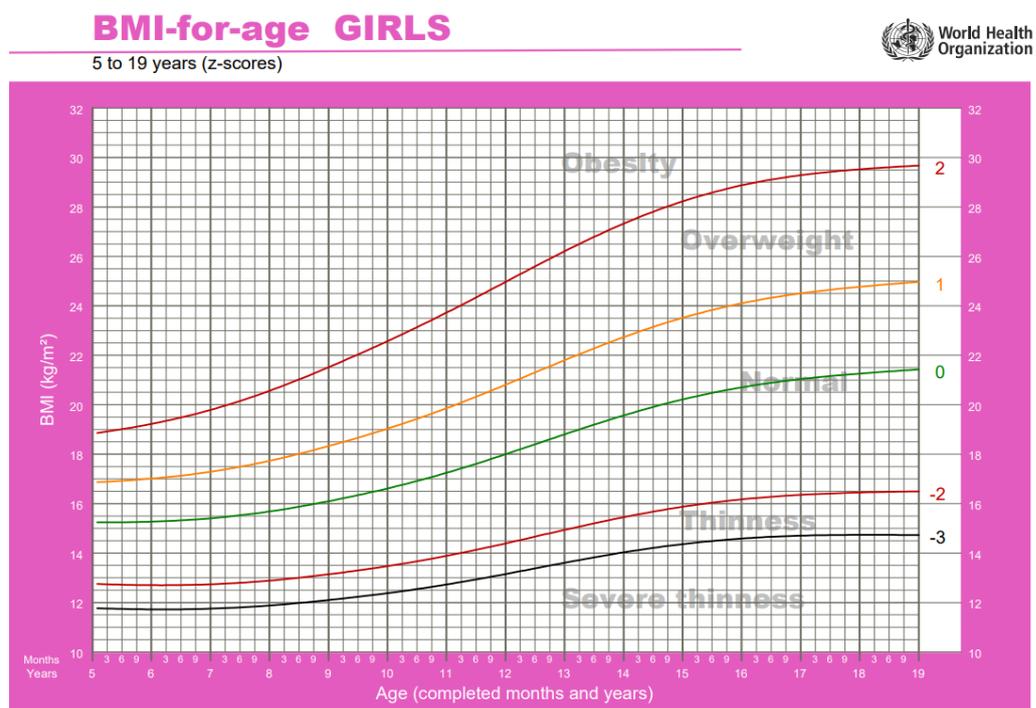


Abbildung 2: Standardisierte Referenzkurven für den BMI nach dem Alter für weibliche Kinder und Jugendliche (Organisation mondiale de la santé, 2010).

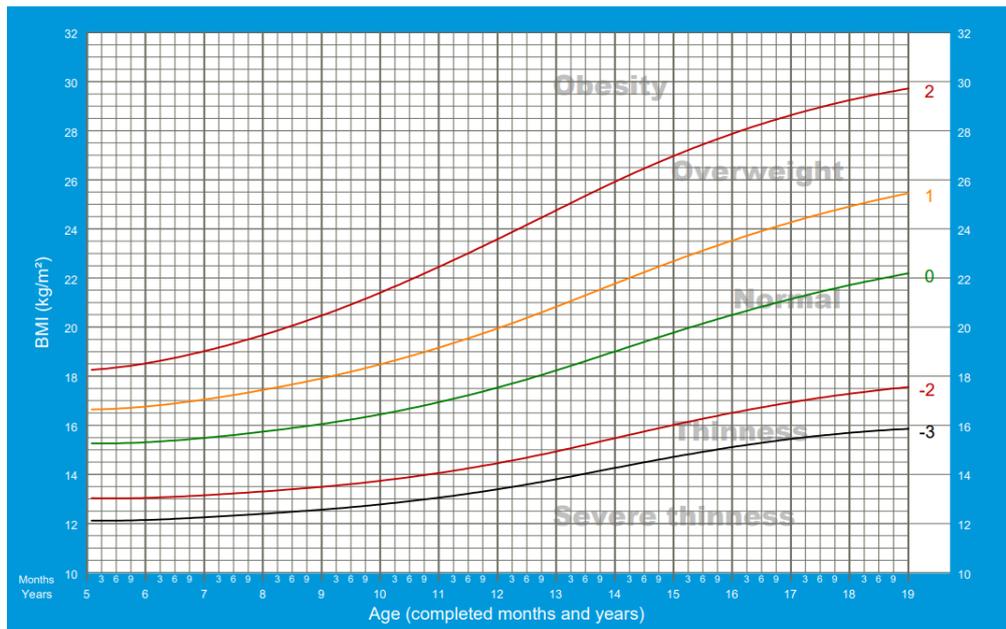


Abbildung 3: Standardisierte Referenzkurven für den BMI nach dem Alter für männliche Kinder und Jugendliche (Organisation mondiale de la santé, 2010).

3.4 Bewegungskönnen

Die trainingswissenschaftliche Literatur bietet eine Vielzahl von Begriffen an, die der Qualität und Quantität unterschiedlichster Bewegungsabläufe sowie deren effiziente Verknüpfung und situativ kompetenter Anwendung Ausdruck verleihen. Als „essential motor skills“ gelten laut Lloyd und Oliver, (2014) die Kategorien Bewegung, Stabilisierung und Manipulation. Die im selben Absatz gefundenen Begriffe „motor skill proficiency“ und „motor skill foundation“ sowie „fundamental movement skills“ entsprechen eher dem deutschen Begriff des Bewegungsschatzes. Die Ausdrücke „movement competence“ und „physical literacy“ drücken dagegen eher die Fähigkeit aus, physische Herausforderungen an den Bewegungsapparat bzw. die Motorik zu meistern. Das Wort „motor performance“ dagegen spricht Leistungsparameter von Bewegungen an, wie beispielsweise die Effizienz der Kraftentwicklung oder die Abwesenheit von ineffizienten Ausgleichsbewegungen. Der deutsche Begriff der Bewegungssteuerung kommt dem Ausdruck „motor skill execution“ wohl am nächsten. Diese Vielzahl von Ausdrücken ist notwendig, um den einzelnen Aspekten des Zustandekommens, der Interpretation und der Bewertung von Bewegung, Rechnung zu tragen. Für die Zwecke dieser Arbeit soll „Bewegungskönnen“ als Überbegriff sowohl für die Bewegungserfahrung von KJ als auch für die Qualität der Ausführung von spezifischen Bewegungen verwendet werden.

3.5 Definition von Risiken des Krafttrainings für Kinder und Jugendliche

Für die Bearbeitung der gestellten Forschungsfrage ist es notwendig, klarzustellen welche Risiken, die im Kontext KT mit KJ bestehen können, in Betracht gezogen werden und welche nicht. Weder in der Recherche selbst, noch aus ihren Ergebnissen heraus, werden Risiken für die psychosoziale Entwicklung von KJ behandelt. Themen, wie das Selbstbild von Jugendlichen unter dem Einfluss körperlicher Veränderungen oder sozialer Stress durch Leistungsdruck und Gruppenzwang, stellen in einem pädagogischen Kontext vermutlich ebenfalls berechnete Diskussionspunkte für KT von KJ dar, werden in dieser Arbeit jedoch nicht berücksichtigt. Der größte, nach aktuellem Stand festgestellte Risikofaktor beim KT generell aber besonders auch bei KJ, ist die Unfallgefahr in Trainingsumfeldern, die von Gerätschaften, Hanteln und Gewichtsscheiben geprägt sind. Dieser Unfallgefahr sollte mit Hilfe von lückenloser Aufsicht und einer fundierten Schulung der Trainierenden durch Fachpersonal, wie dies auch verlangt wird, ausreichend entgegengearbeitet werden. Aus diesem Grund werden auch Aspekte der Gestaltung des Trainingsumfeldes oder die Auswahl bestimmter Gerätschaften in Abhängigkeit von Gruppengrößen oder dem Können der Trainierenden nicht aufgegriffen. Sowohl die Forschungsfrage, als auch die Hypothese konzentrieren sich auf mögliche negative Beeinträchtigungen des Bewegungsapparates sowie der körperlichen Entwicklung, die in Folge einer Teilnahme an einem nach aktuellen wissenschaftlichen Ansprüchen gestalteten KT dennoch auftreten könnten. Bereits im Zuge der Annäherung wurden Zusammenhänge recherchiert, aus denen Risiken für die Entwicklung und den Bewegungsapparat von KJ hervorgehen. Abnutzungserscheinungen unausgereifter Strukturen durch Überlastungen im Sinne zu großer Belastungsumfänge machen eine Kategorie von Risikoquellen aus. Die zweite initial bedeutende Kategorie sind Verletzungen, die sich durch Belastungsspitzen in wachsenden Strukturen ergeben. Resultieren können diese Verletzungen dabei entweder aus inadäquat hohen Intensitäten oder aus einer ungünstigen Verteilung einer unter normalen Umständen adäquat gewählten Last.

4 Relevante Inhalte zum Krafttraining für Kinder und Jugendliche

Als erstes ist festzuhalten, was der Begriff „Krafttraining“ nicht meint. KT ist kein Synonym zu „Bodybuilding“, „Gewichtheben“ oder „Kraftdreikampf“ (Benjamin & Glow, 2003). Vielmehr könnten diese Begriffe zusammen mit dem Phänomen „Crossfit“ als unterschiedliche Übungscharakteristika bzw. Wettkampfformen innerhalb der Kategorie „Kraftsport“ betrachtet werden. Diese erste Abgrenzung ist für die Auseinandersetzung mit Risiken für KJ, die mit KT beginnen, notwendig, da die angestrebte Diskussion den evidenzbasierten Wissensstand zu Risikofaktoren spezifischer Inhalte des KT als Gegenstand hat und nicht die Trainingspraktiken der genannten Kraftsportarten. Desweiteren ist festzuhalten, dass ein überwiegender Teil des trainingswissenschaftlichen Forschungsbestandes aus dem englischen Sprachraum stammt, wo mehrere Begriffe synonym verwendet werden. So lautet die direkte Übersetzung von Krafttraining im Englischen „strength training“, kommt aber bei inhaltlich gleicher Definition unterschiedlicher Autoren auch als „resistance training“ oder „weight training“ vor. Das Hauptargument für die Verwendung von KT zur Erreichung sportlicher und gesundheitlicher Zielsetzungen von KJ ist das geringe Verletzungsrisiko im Vergleich zu anderen Sportarten (Lloyd & Oliver, 2014; Malina, 2006). Zurückgeführt wird dieses geringere Risiko vor allem auf die relativ genaue Dosierbarkeit der Belastung über die im KT einfach festzulegenden Größen von Reizdichte, -umfang, -intensität und -häufigkeit. Dazu kommen verhältnismäßig kontrollierte Bewegungsabläufe bei den typischen Trainingsübungen (Fröhlich et al., 2013). Eine Definition, die besonders dem Aspekt des Widerstandstrainings (engl. resistance training) gerecht wird, ist daher naheliegend.

Resistance training refers to a specialised method of conditioning whereby an individual is working against a wide range of resistive loads to enhance health, fitness and performance. Forms of resistance training include the use of body weight, weight machines, free weights (engl. barbells and dumbbells), elastic bands and medicine balls (Lloyd, Faigenbaum et al., 2014).

Als nächstes gilt es die motorische Fähigkeit „Kraft“ durch die Auflistung ihrer Ausprägungsformen und Komponenten näher zu differenzieren. Diese Differenzierung bildet anschließend die Basis jener Trainingsinhalte, die für ein Krafttrainingsprogramm mit KJ potenziell eingeplant werden müssen. Damit verbunden sollen auch die verschiedenen Arbeitsweisen der Muskulatur erwähnt werden, da diese einen maßgeblichen Einfluss auf die Auswahl von Belastungsmethoden und die Auswahl der Übungen haben (Lloyd & Oliver, 2014). Gemessen an der Art, wie dem Widerstand entgegengewirkt wird,

unterscheidet die Trainingswissenschaft konzentrische (überwindende), isometrische (haltende) und exzentrische (nachgebende) Muskelarbeit. Alle drei Formen stellen dabei unterschiedliche Herausforderungen an das neuromuskuläre System. In Abhängigkeit von der Kontraktionsgeschwindigkeit werden schnellkräftige Bewegungen auch noch in zwei Kategorien eingeteilt. Jene Bewegungen, die durch einen kurzen Dehnungsverkürzungszyklus (DVZ) der weniger als 200ms für die Richtungsänderung einer Muskelbewegung braucht, charakterisiert sind und solche, die einen langen DVZ mit mehr als 200ms beinhalten. Beide stellen ebenfalls unterschiedliche Anforderungen an das neuromuskuläre System. Sportarten übergreifend tritt Kraft allgemein in zwei relevanten Formen in Erscheinung, als Schnellkraft und als Kraftausdauer. Die Schnellkraft resultiert aus dem Zusammenspiel, aber auch aus den Teilleistungen der Kraftkomponenten Maximalkraft, Startkraft und Explosivkraft sowie der Ermüdungswiderstandsfähigkeit. Die Kraftausdauerfähigkeit ist hauptsächlich das Resultat der Ermüdungswiderstandsfähigkeit, wobei eine hohe Maximalkraft und Explosivkraft ebenfalls mit guten Kraftausdauerleistungen korrelieren (Kempf, 2015). Jede der vier aufgezählten Kraftkomponenten ist für sich das Abbild der Leistungen verschiedener physiologischer Strukturen und deren Funktionen. Beispielsweise trägt das bereits erwähnte neuromuskuläre System in seinen Funktionen der Rekrutierung, Frequenzierung und Synchronisation von Muskelfasern bzw. motorischen Einheiten überwiegend zur Maximalkraftleistung bei. Weitere Einflüsse auf die Kraftfähigkeit resultieren aus dem Zusammenwirken von aktiven und passiven Strukturen des Bewegungsapparates (tendenomuskulär) sowie aus physikalischen Kräften, die sich aus Proportionen und Massenzusammensetzungen des gesamten Körpers (anthropometrisch-biomechanisch) ergeben (Kempf, 2015). Die Relativkraft, also das Verhältnis zwischen Körperkraft und Körpermasse, ist bei der Betrachtung anthropometrisch-biomechanischer Zusammenhänge ein aussagekräftiges Maß. Der heranwachsende Organismus durchlebt im Laufe der Ontogenese mehrere Gestaltwandel und damit verbundene Reifeprozesse jener Strukturen und Funktionen, die die Kraftleistung beeinflussen (Beneke & Hebestreit, 2002). Der Gestaltwandel und die konkret damit einhergehenden Wachstums- und Entwicklungsprozesse, die die Kraft und ihre Trainierbarkeit verändern, sind Gegenstand des nächsten Kapitels.

4.1 Trainingspraktisch relevante Grundlagen der biologischen Entwicklungsphasen.

Das vorangegangene Kapitel hat mit dem Befund geendet, dass unterschiedliche Strukturen und Funktionen des wachsenden Körpers Entwicklungsphasen durchlaufen.

Unterschiedliche Bedingungen für den Leistungsoutput und damit auch für das Training motorischer Kraft gehen mit diesen Entwicklungsphasen einher. Der folgende Abschnitt fasst wissenschaftlich belegte Aussagen zu diesen Einflüssen und der daraus resultierenden Trainierbarkeit der verschiedenen Kraftkomponenten zusammen. Für die Beantwortung der Forschungsfrage ist das bedeutend, da diese Aussagen in der Praxis als Grundlage für die Trainingsziele und Inhalte des KT in den jeweiligen Entwicklungsphasen zu betrachten sind. Ein Umstand, den der Praktiker dabei allerdings stets zu bedenken hat, ist eine hohe interindividuelle Schwankung des Einsetzens und der Dauer von Entwicklungsphasen (Beneke & Hebestreit, 2002; Haff & Triplett, 2016; Lloyd, Oliver, Faigenbaum, Myer, & Ste Croix, 2014). Zusätzlich ist festzuhalten, dass sowohl Timing als auch Tempo der Reifung verschiedener biologischer Systeme eines Körpers auch zueinander variieren können (Lloyd & Oliver, 2014). Die Streuung des jeweiligen Auftakts einer Entwicklungsphase sowie die Ausprägungen der jeweiligen Strukturen bzw. der Funktionsveränderungen ist grundsätzlich genetisch festgelegt und damit der genetischen Variation ausgesetzt (Conrad, 1963). Die anschließend verwendeten Begriffe für die Entwicklungsphasen und deren Altersgrenzen sind an die verbreiteten entwicklungspsychologischen Phasenmodelle angelehnt. Sie dienen mehr einer übersichtlichen Kategorisierung entlang des kalendarischen Alters und sind nicht als wissenschaftlicher Fakt zu verstehen. Die folgenden Kapitel werden diesen Umstand noch aufgreifen und erklären.

4.1.1 Vorschulalter

Das Vorschulalter erstreckt sich vom dritten bis zum fünften Lebensjahr. Vorschulkinder zeigen enorme Lernleistungen in allen Bereichen ihres Lebens. Bei fünf jährigen Kindern konnte bereits ein Verständnis für gezielte Übungen zur Verbesserung motorischer Leistungen und eine darauf aufbauende bewusste Teilnahme daran aufgezeigt werden (Brinums, Imuta, & Suddendorf, 2018). Besonders Autoren und Vertreter von Modellen der systematischen, motorischen bzw. athletischen Ausbildung von KJ über die gesamte Lebensspanne sehen bereits in diesem Alter eine bewusste Gestaltung von Bewegungsmöglichkeiten zur Förderung von motorischen Potentialen vor (Balyi, Way, & Higgs, 2013; Myer, Kushner et al., 2013; Myer, Lloyd, Brent, & Faigenbaum, 2013). Alle angeführten Autoren sind sich aber dennoch einig, dass gezieltes Krafttraining in diesem Alter unangebracht ist.

4.1.2 Frühes Schulkindalter

Ab dem Eintritt in die Schule mit sechs Jahren spricht man bis zum zehnten Lebensjahr vom frühen Schulkindalter. Nachdem ein Kind zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr vor allem an Körperfülle zunimmt, folgt eine Phase der Streckung zwischen dem sechsten und dem neunten Lebensjahr. Die Möglichkeiten des Körpers, motorische Kraft aufzubringen, wird durch dieses Längenwachstum biomechanisch begünstigt. So kommt es zu einer relativen Vergrößerung des Körperstamms gegenüber dem Kopf, was die Senkung des Körperschwerpunktes zur Folge hat und damit das Gleichgewicht bei Ganzkörperbewegungen günstig beeinflusst. Das Abflachen des Brustkorbs zusammen mit der relativen Verlängerung der Extremitäten ermöglicht bessere Relativkraftleistungen der Oberkörpermuskulatur. Die Ausbildung der physiologischen Krümmung der Wirbelsäule begünstigt zudem die Übertragung von Kräften bei grobmotorischen Bewegungshandlungen (Beneke & Hebestreit, 2002). Der Körperbau des Kindes charakterisiert sich also durch günstige Proportionen für die Konfrontation mit einem umfangreichen Bewegungsangebot. Zuwachsraten von 2,5 bis 3,5 kg an Körpermasse bei relativ gleichmäßigem Längenwachstum sind auf konstante Konzentrationen des menschlichen Wachstumshormons und anderen Hormone zurückzuführen. Herausragend ist in diesem Alter noch die erhöhte neuronale Plastizität, also die Eigenheit ganzer Gehirnregionen ihre Strukturen und Prozesse in Abhängigkeit von deren Nutzung zu optimieren. Grundlegende Bewegungsstrategien verändern sich hin zu den Mustern von Bewegungen Erwachsener (Blanchet, Prince, & Messier, 2019). Vielfältige wiederholte Bewegungserfahrungen in diesem Lebensabschnitt sind mit langfristig verbesserten kognitiven und motorischen Leistungen assoziiert (Casey, Tottenham, Liston, & Durston, 2005).

4.1.3 Spätes Schulkindalter

Das späte Schulkindalter beginnt bei Mädchen etwa mit dem neunten Lebensjahr und geht bis zum Auftreten der Menarche, was durchschnittlich zwischen dem elften und zwölften Lebensjahr geschieht. Bei Jungen beginnt das späte Schulkindalter mit zehn Jahren und endet mit der Spermarche, die durchschnittlich zwischen das zwölfte und 13. Lebensjahr fällt. Diese Phase ist durch langsames Längenwachstum bei gleichzeitig weiter zunehmender Körpermasse gekennzeichnet. Eine optimale Ausgewogenheit der Körperproportionen wird erreicht. Dies führt zu idealen biomechanischen Bedingungen für das Erlernen von allgemeinen, aber auch sportspezifischen Bewegungshandlungen. Die Relativkraft erreicht u.a. auch deshalb einen vorläufigen Höhepunkt (Weineck, 2003). Noch nicht ausreichend ausgebildete Stütz-, Halte- und Bewegungsorgane limitieren die

Leistungsfähigkeit allerdings noch (Beneke & Hebestreit, 2002). Mädchen erleben diese Phase etwa zwischen dem neunten und zehnten Lebensjahr und Jungen zwischen dem zehnten und zwölften Lebensjahr. Bis zu dieser Phase ist das Trainingsziel, den Muskelquerschnitt zu erhöhen, nur bedingt sinnvoll, da weder Jungen noch Mädchen genügend hohe Konzentrationen von anabolen Hormonen aufweisen, um diese Reize in Muskelhypertrophie umzusetzen (Lloyd & Oliver, 2014). Die günstigen biomechanischen Bedingungen für das Erlernen von komplexen Bewegungshandlungen werden durch die Ausreifung der Lage- und Gleichgewichtssinne in dieser Phase des Wachstums begünstigt (Fröhlich et al., 2013). Weitere Steuerungssysteme des zentralen Nervensystems, die diese verbesserten Sinnesleistungen integrieren und beispielsweise für die Bewegungskoordination zuständig sind, machen in diesem Alter ebenfalls große Fortschritte (Katić & Bala, 2012).

4.1.4 Erste puberale Phase

Das Auftreten der Menarche und der darauffolgende Wachstumsschub, der bei Mädchen zwischen dem 13. und 14. Lebensjahr endet, definieren die erste puberale Phase. Für Jungen entspricht dies dem Auftreten der Spermarche und dem Ende ihres Wachstumsschubes zwischen dem 14. und 15. Lebensjahr. Erneut kommt es in dieser Phase zu einem verstärkten Längenwachstum, das vor allem die Gliedmaßen betrifft. Die Disproportionierung der Gesamtgestalt stellt sich als Missverhältnis von Wirbelsäulen- und Gliedmaßenlängen dar. Diese ungünstigen Hebelverhältnisse an Gelenken und eine Abnahme der relativen Muskelkraft werden als biomechanische Grundbedingungen für häufig beobachtete Haltungsschwächen und Koordinationsstörungen angesehen (John et al., 2019). Die gleichzeitige mit diesen ungünstigen mechanischen Bedingungen auftretende Streckung der Röhrenknochen wird außerdem als Gefahrenpotential für den Wachstumsknorpel betrachtet. Das Längenwachstum des Körpers wird zu einem großen Teil durch die Streckung der Röhrenknochen der unteren Extremitäten erwirkt. Von besonderer Bedeutung ist dabei der Umstand, dass das Wachstum der gesamte Beinlänge, mit einem Anteil von 40% an der Epiphyse des distalen Endes des Femurs und zu 27% am proximalen Ende der Tibia, stattfindet. In den beiden Epiphysen unmittelbar um das Kniegelenk erfolgen also 67% der Streckung der Beine im Zuge des Wachstums (Lloyd & Oliver, 2014). Es ist daher wenig verwunderlich, dass eine besondere Empfindlichkeit gegen Fehlbelastungen und Überbelastungen postuliert wird. Leistungsschwächen sind unter diesem Aspekt also in dieser Phase zu erwarten (Beneke & Hebestreit, 2002; Hoffmann & Wulff, 2018). Die bereits erwähnte individuelle Schwankungsbreite von Einsatz und Verlauf der Entwicklungsphasen wird spätestens in dieser Phase deutlich und zeigt

sich an den uneindeutig angegebenen Zahlen. Mädchen treten in diesen Abschnitt der Entwicklung durchschnittlich mit elf oder zwölf Jahren ein und gehen mit 13 oder 14 Jahren in die zweite puberale Phase über. Innerhalb der ersten puberalen Phase liegt in der Regel der Höhepunkt der Wachstumsgeschwindigkeit (siehe später PHV), dessen Feststellung ein wichtiges Indiz für die Trainingssteuerung in dieser Entwicklungsphase ist (Haff & Triplett, 2016). Jungen durchleben diese Phase in der Regel im Alter von zwölf bzw. dreizehn Jahren bis 14 bzw. 15 Jahren. Insbesondere der Beginn dieser Phase ist bei beiden Geschlechtern von fundamentalen Veränderungen endokrinologischer Prozesse geprägt. Eine erhöhte Konzentration des Human Growth Hormone (HGH) und eines insulinähnlichen Wachstumsfaktors sind die fundamentalen Antriebe für das beschleunigte Wachstum. Der nun deutlicher werdende Unterschied in Statur und Muskelmasse zwischen Jungen und Mädchen ist vor allem auf die Konzentrationsunterschiede des Hormons Testosteron zurückzuführen. Dieser Unterschied kann das zehnfache bis 30-fache bei Jungen im Vergleich zu Mädchen betragen (Kraemer & Fleck, 2005). Eine zwischen den Geschlechtern unterschiedliche Trainierbarkeit des Muskelquerschnitts ist die Folge und führt bei voranschreitendem Training bis in die zweite puberale Phase zu gesteigerten, aber deutlich unterschiedlichen Zuwachsraten der Maximalkraft und somit auch der Schnellkraft. Besonders charakteristisch für diese Phase des Lebens sind beträchtliche psychologische Veränderungen, die zu neuen sozialen individuellen und sozialen Verhaltensweisen führen. Werthaltungen und Prioritäten sind im Zuge dessen ebenfalls einem Wandel unterworfen (Gerrig et al., 2008). Häufig kommt es vor, dass sich Jugendliche deshalb in diesem Alter von einer aktiven Teilnahme an regelmäßigen und strukturierten sportlichen Aktivitäten abwenden (Dumith, Gigante, Domingues, & Kohl, 2011; Soares et al., 2019).

4.1.5 Zweite puberale Phase

Vom Ende der Phase des beschleunigten Wachstums, mit dem Eintreten der Pubertät, bis zum grundsätzlichen Ende des Längenwachstums, erstreckt sich die zweite puberale Phase, welche für Mädchen im Durchschnitt zwischen dem 17. und 18. und für Jungen zwischen dem 18. und 19. Lebensjahr endet. Die zweite puberale Phase ist von der Rückkehr ausgeglichener körperlicher Proportionen durch das nun aufholende Wachstum der Wirbelknochen geprägt. Außerdem beinhaltet sie den aus biomechanischer Sicht bedeutenden Schritt der Schließung der Epiphysen und damit den Beginn der potenziellen Vollbelastung des Skeletts. Einer Annäherung an die Trainingsparameter von Erwachsenen steht damit, bezogen auf den Körperbau, nichts mehr im Wege. Der Altersbereich dieser Phase liegt für Mädchen bzw. Junge Frauen bei 13 bzw. 14 Jahren bis 17 bzw. 18 Jahren und für jungen und junge Männer bei 14 bzw. 15 Jahren bis 18 bzw. 19 Jahren. Obgleich

sich biologische Reife und Alter zwischen beiden Geschlechtern nun wieder angleichen, bleiben hormonphysiologisch bedingt große Unterschiede in der Körperzusammensetzung und Leistungsfähigkeit zwischen Frauen und Männern bestehen (Beneke & Hebestreit, 2002). Junge Frauen erreichen dann bei Kraft und Schnellkraft noch in etwa zwei Drittel der Leistungen von jungen Männern (Meinel, Schnabel, & Krug, 2007). In der zweiten puberalen Phase zeigen sich insgesamt die höchsten Kraftzuwachsrate. Für das folgende Aufbau- und Anschlussstraining im Sinne der mehrjährigen Trainingsplanung im Leistungssport ist diese Entwicklungsphase bedeutend. Bei der Belastungssteigerung im Krafttraining gilt dabei den Umfang der Intensität vorzuziehen (Beneke & Hebestreit, 2002; Lloyd & Oliver, 2014).

4.2 Bestimmung des Entwicklungsstandes einer heranwachsenden Person

Das kalendarische Alter von KJ als Richtmaß für die Auswahl von Inhalten, Methoden und Belastungsgrößen zu verwenden, wird von der Fachliteratur abgelehnt, da wie bereits erwähnt, beträchtliche Abweichungen von den Durchschnittswerten der Zeitpunkte und Verlaufszeiträume der Phasen festzustellen sind (Lloyd, Oliver et al., 2014). Das kalendarische Alter ist quasi nur eine Dimension innerhalb des komplexen Systems der Entwicklungsprozesse des menschlichen Körpers. Eine zweite Dimension besteht in den Unterschieden zwischen männlichen und weiblichen Personen. Aus der Perspektive des Krafttrainings sind relevante Unterschiede bei den Geschlechtern in den Beschreibungen der Entwicklungsphasen enthalten. Geschlechtsunabhängig ist die dritte Dimension der Entwicklung, nämlich die genetisch bedingten interindividuellen Unterschiede von Einsatz und Verlauf der Ausdifferenzierung unterschiedlicher Körpersysteme. Die im KT bedeutendsten Strukturen bzw. Funktionen sind das zentrale Nervensystem und seine kognitiven, psychischen und sozialen Funktionen, so wie neuromuskuläre bzw. neurophysiologische Veränderungen in der Peripherie. Mit dem Nervensystem in enger Verbindung stehen endokrine Regelkreise, die ihrerseits großen Einfluss auf das Wachstum und die Differenzierung von Geweben des Bewegungsapparates haben. Zwar beeinflussen sich diese Systeme gegenseitig, sie folgen für sich betrachtet aber dennoch genetisch determinierten Verläufen (Lloyd, Oliver et al., 2014).

Wie bereits erwähnt, gilt als allgemeine Prämisse für die Planung, die Gestaltung und den Vollzug von KT mit KJ, dass nur Personal mit einschlägiger Expertise diese Funktionen innehaben sollten um die postulierte Sicherheit von KT, verglichen mit anderen Sportarten, zu erreichen (Stone et al., 2014; Lloyd & Faigenbaum, 2016; Lloyd et al., 2016). Diese Expertise bezieht sich in ihrer Einschlägigkeit besonders auf die Kompetenz, die vielfältigen

Manifestationen oben beschriebener Entwicklungsvorgänge deuten zu können und einen aktuellen Entwicklungsstand einer jungen Person festzustellen. Die Autoren Avery, Faigenbaum, Lloyd, Myer, Oliver und Stratton führen in einigen Publikationen das biologische Alter als jene Größe an, die den biologischen Entwicklungsstand einer Person zum Messzeitpunkt angibt. Für Praktikerinnen und Praktiker gilt es also das biologische Alter zu bestimmen, um daran angepasst Interventionen im KT anzuwenden. Die nächsten Abschnitte führen Möglichkeiten an, das biologische Alter zu erfassen. Die Beantwortung der Forschungsfrage wird damit insofern weitergeführt, dass klargestellt wird, wie individualisierte Trainingsmaßnahmen für ein KT mit KJ wissenschaftlich fundiert zustande kommen. Auf dieser Basis soll abschließend die Diskussion geführt werden, ob es ausreicht, ausschließlich entlang der beschriebenen evidenzbasierten Richtlinien und Methoden der Fachliteratur KT mit KJ zu konstruieren oder ob es Evidenzen gibt, die eine Erweiterung der bestehenden Richtlinien und Methoden nahelegen.

4.2.1 Bestimmung der Reife des Skeletts

Eine Möglichkeit zur Bestimmung des biologischen Alters besteht in der Analyse von Röntgenbildern einer heranwachsenden Person. Ausgebildetes Fachpersonal mit einem fundierten Verständnis für die Entwicklungsprozesse des menschlichen Skeletts interpretiert dabei den Fortschritt des Knochenwachstums, indem das Röntgenbild des linken Handgelenkes mit Referenzen verglichen wird. Die drei am häufigsten zitierten Methoden der Erhebung des biologischen Alters durch die Analyse der Skelettreife, nämlich die „Greulich-Pyle Methode“ (GPM), die „Tanner-Whitehouse Methode“ (TWM) und die „Fels Methode“ (FM) werden als nächstes vergleichend beschrieben.

Die GPM und die TWM vergleichen Röntgenbilder mit Referenzen, die aus Datensätzen stammen. Bei der TWM werden so zwischen 13 und 20 verschiedene Knochen der Hand und des Unterarms einzeln auf ihr biologisches Alter geprüft und aus den Teilergebnissen wird das biologische Alter des gesamten Skeletts errechnet. Die GPM verwendet dazu nur die Knochen des Handgelenks der linken Hand. Der vermeintlich größte Unterschied zwischen den Methoden liegt im referenzierten Datensatz. Die GPM verwendet Daten aus Erhebungen von Personen, die hauptsächlich einer sozioökonomischen Schicht und überwiegend derselben Ethnie angehören. Im Gegensatz dazu stammen die Daten für die Referenzen in der TWM aus wesentlich diverseren Populationen. Die Kritik an der GPM richtet sich gegen die Annahme, dass sich das Wachstumsverhalten der Handgelenksknochen auf jenes des Gesamtskeletts übertragen lassen und dass der Datensatz genetische Variation nicht erfasst und somit beträchtliche Fehlschlusspotentiale birgt. Sowohl die GPM, als auch die TWM verlangen von der Person, die die Röntgenbilder

vergleicht und interpretiert viele subjektive Entscheidungen, was die Fehlerrate für beide Methoden potenziell hoch aber zumindest schwer einschätzbar macht. Die FM überlässt den Vergleich der Daten und die Ausgabe des biologischen Alters einer Computersoftware, die auch einen Standardfehler der Abweichung angibt. Es werden ebenfalls der linke Unterarm und die Knochen der Hand vermessen. Erhoben werden die Breiten der Epiphysen und Metaphysen und sowohl Längen als auch Breiten einiger Knochen werden vermessen und spezifische Relationen berechnet. Ebenfalls wird die Ossifikation des Erbsenbeins und der Sesambeine der Fingerknochen erhoben und bei der Berechnung miteinbezogen. Referenziert werden die Berechnungen mit einem Datensatz, der aus einer groß angelegten Längsschnittstudien stammt. Die Kritikpunkte, die an allen drei Methoden vermerkt werden, sind der große Aufwand, die deshalb eingeschränkte Verfügbarkeit und hohe Kosten, die mit der Realität von Trainingseinrichtungen für Kinder und Jugendlichen selten vereinbar sind (vgl. Lloyd & Oliver, 2014).

4.2.2 Bestimmung des sexuellen Alters

Ein weiterer Indikator dafür, auf welchem biologischen Entwicklungsstand sich ein menschlicher Körper befinden kann, ist die Reife seiner primären und sekundären Geschlechtsmerkmale. Das gebräuchlichste Instrument zur Bestimmung der Geschlechtsreife von Jugendlichen sind die „Tanner Stadien“. Hauptsächlich wird diese Methode im klinischen Umfeld verwendet. Das Grundprinzip besteht darin, Ausprägungsgrade von Genitalien und sekundären Geschlechtsmerkmalen mit standardisierten Bildern bzw. Grafiken zu vergleichen, die für ein bestimmtes Stadium der geschlechtlichen Reife stehen. Es gibt fünf Stadien, die von der noch nicht begonnenen Entwicklung bis zur vollständigen Ausprägung der Geschlechtsmerkmale reichen. Zusätzlich ist es bei männlichen Jugendlichen möglich, die geschlechtliche Reife über das Hodenvolumen zu bestimmen. Die Anwendung der Tanner Stadien wird generell kritisch betrachtet. Die Kriterien für die Zuordnung zu den Stadien sind zu ungenau, die Methode ist nicht im Stande Entwicklungsgeschwindigkeiten zu erfassen, und sie ignoriert den Umstand, dass auch sekundäre Geschlechtsmerkmale und Genitalien jeweils unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten haben können. Anwenden darf diese Methode nur ausgebildetes medizinisches Personal unter Zustimmung der Eltern und der untersuchten Person. Zusammen mit den Kritikpunkten an der Methode, ihrer invasiven Charakteristik und mit dem Umstand, dass die sexuelle Reife damit nur über den Verlauf der Pubertät bestimmt werden kann, macht die Bestimmung der Tanner Stadien zu einem ungeeigneten Instrument in einem Trainingssetting. Die Erfassung des Zeitpunktes der Menarche von Mädchen durch Erfragen, erweist sich zur Bestimmung des biologischen

Alters ebenfalls als nur limitiert geeignet. Ein Mädchen kann nämlich schon in der Pubertät sein, ohne eine erste Menstruation erlebt zu haben (Lloyd & Oliver, 2014).

4.2.3 Bestimmung des somatischen Alters

Unter dem somatischen Alter wird die Angabe des Entwicklungsfortschrittes von Körpergröße und Statur verstanden. Aus Longitudinalstudien geht hervor, dass das Wachstum des Körpers nicht linear verläuft, sondern Phasen beschleunigten Wachstums aber auch Plateaus in der Wachstumskurve zeigt. Die üblichen Methoden zur Messung des Gesamtkörperwachstums bestehen darin, Wachstumsraten zu bestimmen, das Alter, in dem es zur höchsten Wachstumsgeschwindigkeiten (peak height velocity = PHV) kommt, zu ermitteln und die Körpergröße und Statur im Erwachsenenalter vorauszusagen.

Wachstum an sich zu messen bzw. das biologische Alter zu bestimmen ist, aus bereits erläuterten Gründen schwierig. Es wurden allerdings Korrelationen von Messwerten verschiedener Körperdimensionen gefunden, die es möglich machen, zuverlässige Aussagen über das Wachstumsstadium, in dem sich eine Person befindet, zu machen. So sind beispielsweise Veränderungen des endokrinen Systems einfach an der Zunahme der Wachstumsrate der Beinlänge fest zu machen. Die grundlegendste Methode besteht also darin, spezifische Körpermaße auf einer Zeitachse aufzutragen, um die entstehende Kurve in ihrem Verlauf zu analysieren bzw. ihren Verlauf mittels statistischer Verfahren vorherzusagen. Die Errechnung des Alters bei der PHV (siehe oben) wird also möglich. In der Praxis ermöglicht das beschriebene Vorgehen beispielsweise wesentlich präzisere Aussagen darüber, ob die körperliche Entwicklung einer Person ihrem kalendarischen Alter voraus ist (akzeleriert) oder ob das biologische Alter kleiner ist, als das kalendarische (retardiert). Ebenso fallen besondere Unterschiede zwischen den Entwicklungsverläufen anderer körperlicher Systeme im Vergleich zu Statur und Körpergröße leichter auf. Abbildung 3 stellt den Verlauf der Wachstumsgeschwindigkeiten einer akzelerierten (engl. early developing), einer normal (engl. average developing) entwickelnden Person und einer retardierten (engl. late developing) Person dar (vgl. (Lloyd & Oliver, 2014).

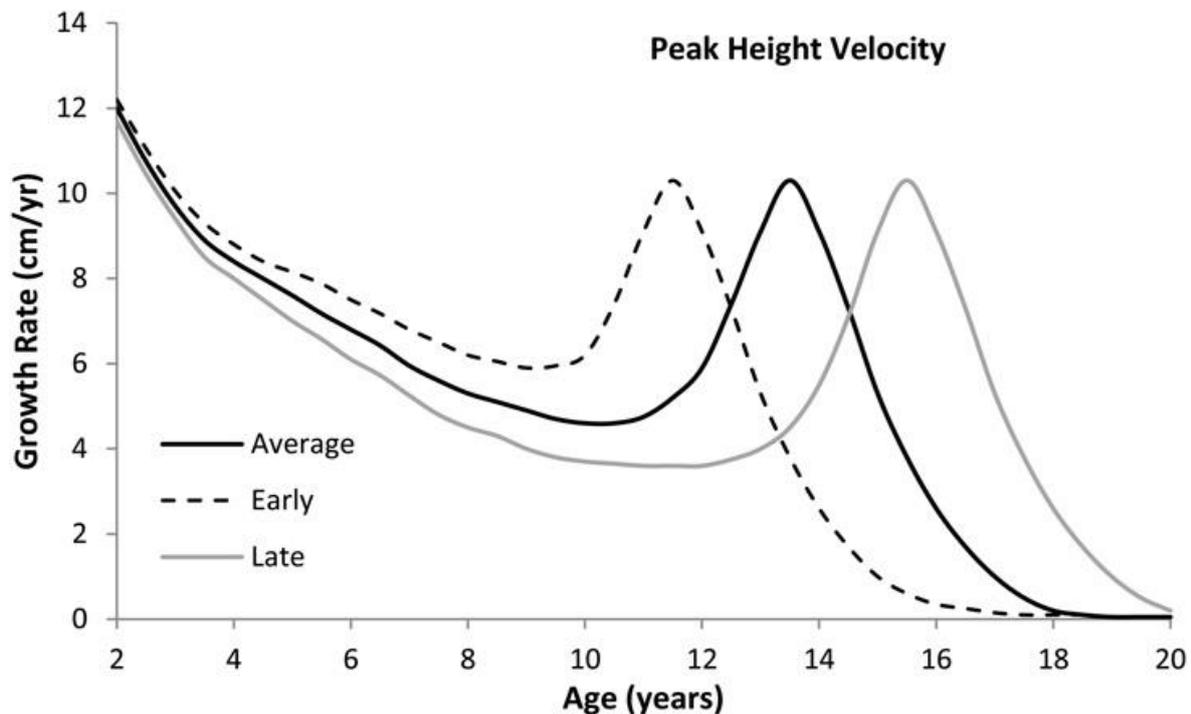


Abbildung 4: Wachstumsraten von Individuen mit früher somatischer Entwicklung, normaler (altersgemäßer) somatischer Entwicklung und später somatischer Entwicklung (Lloyd, Oliver et al., 2014).

Die Voraussage des Alters bei der PHV spielt vor allem in Situationen, in denen Trainerinnen und Trainer mit Personen arbeiten, deren langfristige anthropometrischen Aufzeichnungen nicht verfügbar sind, eine Rolle. Das Risiko in solchen Fällen besteht darin, die Belastung für die Person zum Zeitpunkt der Aufnahme ins Programm zwar richtig einzustellen, aber bereits nach wenigen Wochen schon eine Überlastung damit zu provozieren. Regressionsgleichungen von Mirwald et al. (2002) nutzen insbesondere den Unterschied der hohen Wachstumsraten langer Röhrenknochen der Extremitäten und der geringeren Wachstumsraten der kürzeren Knochen des Rumpfes, um die Jahre vorauszusagen, die eine junge Person vom Punkt der höchsten Wachstumsrate seiner Körpergröße entfernt ist. Der Standardfehler der Ergebnisse dieser Formel liegt bei sechs Monaten. Für die Benutzung der Formeln muss das kalendarische Alter, die Körpergröße sitzend und stehend und das Körpergewicht bekannt sein.

Die dritte Möglichkeit Aussagen über die körperliche Reife von KJ mittels anthropometrischer Daten zu machen, ist die Errechnung der Körpergröße im Erwachsenenalter (KGE). Die Angabe der prozentuell erreichten Körpergröße von Personen in einer Trainingsgruppe gibt der Trainerin bzw. dem Trainer die Übersicht über das individuelle Entwicklungsstadium, sodass selbst bei etwa gleich großen Kindern differenzierte, inhaltliche Überlegungen hinsichtlich der athletischen Ausbildung oder der Spezialisierung angestellt werden können. In Sportarten, in denen Körpergröße relevant ist, kommt diesen Methoden offensichtlich eine größere Bedeutung zu. Im einfachsten Fall der

Berechnung der KGE werden für Mädchen 6,5 cm vom Mittelwert der Körpergrößen der biologischen Eltern subtrahiert und für Jungen werden 6,5 cm addiert. Regressionsgleichungen von Khamis und Roher (1994) berücksichtigen zusätzlich die aktuelle Körpergröße und das Körpergewicht der Probanden und Probandinnen, ist aber nur für weiße, amerikanische Kinder ohne Vorbelastung anwendbar. Beunen et al. (1997) verwenden bei ihrer alternativen Methode der Berechnung der KGE das aktuelle kalendarische Alter, die Körpergröße sitzend und stehend sowie Hautfaltenmesswerte. Die ungefähren Fehlergrößen der angeführten Methoden liegen bei ca. 3-5cm, wobei der Fehler mit zunehmendem Alter der KJ kleiner wird. Unterschiede in der Wachstumsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Erhebung der Messwerte zur Berechnung der KGE werden von diesen Methoden nicht berücksichtigt. Auf der Arbeit von Mirwald (Bestimmung der Jahre bis zur bzw. weg von PHV) aufbauend, haben Forscher (Sherar, Mirwald, Baxter-Jones, & Thomis, 2005) die sogenannte „noch zu wachsende Körpergröße“ berechnet, um so die KGE voraussagen, wobei aber aktuelle Wachstumsgeschwindigkeiten einkalkuliert sind. Bei einem 95% Konfidenzintervall liegt der Messfehler der Methode bei $\pm 5,35$ cm bei Jungen und $\pm 6,81$ cm bei Mädchen (vgl. Lloyd & Oliver, 2014).

5 Intrinsische Risikofaktoren für ein Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen

Die Erweiterung des Begriffes „Risikofaktor“ um das Adjektiv „intrinsisch“ begründet sich in den Ergebnissen von einbezogenen Studien, die körperliche und mentale Beeinträchtigungen vor dem Hintergrund sozioökonomischer und gesellschaftlicher Bezugssysteme analysieren. Sozioökonomische oder gesellschaftliche Prädiktoren für körperliche Beeinträchtigungen, wie ein niedriges Bildungs- und Einkommensniveau der Eltern oder ein späterer Eintritt in die Schule bzw. in den Kindergarten sind als extrinsische Risikofaktoren zu betrachten und werden in dieser Arbeit als solche nicht weiter berücksichtigt, denn Kinder und Jugendliche können körperliche Mängel zwar auf Grund von extrinsischen Bedingungen erworben haben, aus der Sicht des Betreuers oder der Betreuerin, der oder die das jeweilige Risiko seiner bzw. ihrer Trainierenden einzuschätzen hat, gelten diese erworbenen Mängel aber dennoch als intrinsisch. Auffallend ist in diesem Zusammenhang, dass bisherige Untersuchungen von Risiken des KT für KJ lediglich extrinsischen Risikofaktoren wie die Belastungssteuerung oder Elemente der Trainingsgestaltung bzw. Durchführung als Quellen immanenter Gefahr für Verletzungen anführen (Faigenbaum et al., 2013). Lloyd und Oliver (2014) zählen explizite intrinsische Risikofaktoren auf, die zusammen mit ungünstig gewählten Belastungsparametern schneller zu Überlastungserscheinungen bei Heranwachsenden führen können. Dazu gehören, Alter, Geschlecht, Leistungsniveau, Muskelzusammensetzung, hormonelle Faktoren, Knochendichte und Knochendimensionen, maximal mögliche Gelenkwinkel und die anatomische Ausrichtung von Gelenken (Lloyd & Oliver, 2014). Der letzte angeführte Punkt ist die einzige gefundene Erwähnung von Knochenausrichtungen als potenzielles Gefahrenpotential im KT.

Die Forschung zu trainingswissenschaftlich fundierter Planung, Gestaltung und Durchführung von KT für KJ halt etabliert, dass diese Form der körperlichen Betätigung Vorteile für die motorische Entwicklung bringt, Parameter der allgemeinen Gesundheit nachhaltig positiv beeinflusst und Sportverletzungen sowohl in der Freizeit als auch im Leistungssport vorbeugt. Basis dieser Schlussfolgerungen sind Untersuchungen bei denen spezifische Belastungen des KT vor dem Hintergrund kindlicher bzw. jugendlicher Entwicklungsprozesse analysiert wurden. Es zeigt sich, dass komplexer werdende zentralnervöse Prozesse, die sukzessive Optimierung des neuromuskulären Systems und die Reifung aktiver und passiver Strukturen des Bewegungsapparates in Folge von hormonellen Veränderungen, zusammen die wesentlichen zu beachtenden Bereiche der Entwicklung im Zusammenhang mit KT sind. Somit bergen diese Systeme die wesentlichen

Zusammenhänge für die Evaluierung bedeutender intrinsischer Risikofaktoren beim KT mit KJ. Besondere Herausforderungen für Personen, die ein fundiertes KT mit KJ in der Praxis realisieren wollen, bringen jene Befunde mit sich, die sowohl die Zeitpunkte des Einsetzens von Entwicklungsprozessen, als auch deren Verlaufsgeschwindigkeiten als geschlechtsspezifisch belegen und große individuelle Schwankungen dieser Parameter feststellen (Faigenbaum & Myer, 2010; Lloyd & Oliver, 2014). Die Ergebnisse von Untersuchungen der Risiken des KT mit KJ führen überwiegend mechanische Überbelastungen durch zu große Trainingsintensität und die Ermüdung von wachsenden Strukturen durch zu große Belastungsumfänge als Verletzungsquellen an (Murray, 2017). Die Konzeption und Aufsicht des KT durch fachlich kompetente Trainerinnen und Trainer wird gemeinsam mit diesen Ergebnissen als entscheidender Faktor der Sicherheit von KT mit KJ postuliert (Milone, Bernstein, Freedman, & Tjoumakaris, 2013; Myer et al., 2011). Die vorliegende Arbeit stellt vor diesem Hintergrund in Frage, ob die Inhalte und Fakten der vorangegangenen Kapitel allein ausreichen, um Trainerinnen und Trainer mit ausreichenden Kompetenzen und Fachwissen zu versorgen, um für ein sicheres KT, wie in Kapitel 3.5 erläutert, sorgen zu können. Immerhin werden, mit Ausnahme der interindividuell schwankenden Entwicklungsverläufe als intrinsischer Risikofaktor, sonst nur extrinsische Risikofaktoren angeführt. Eine größer werdende Anzahl von KJ werden von Schulen, Vereine oder auf ärztliche Empfehlung einem KT zugeführt (Benjamin & Glow, 2003; Faigenbaum & Myer, 2010). Dies begründet die Annahme, dass eine größere Diversität des konditionellen Ausgangsniveaus von KJ, aber auch die Anzahl und Qualität intrinsischer Risikofaktoren zu einer häufiger werdenden Herausforderung der praktischen Arbeit gehört (Nettle & Sprogis, 2011). Die systematische Suche nach Inhalten, die auf Risiken hindeuten, deren Ursprung in der Unerfahrenheit und/oder Inaktivität von KJ liegen, verfolgt das Ziel, konkrete Risikofaktoren zu identifizieren und abzugrenzen. Der trainingswissenschaftlichen Fachliteratur zufolge besteht die zentrale Gefahr beim KT mit KJ also in der mechanischen Überbelastung von wachsenden Strukturen des aktiven und passiven Bewegungsapparates. Ausgangspunkt der Suche nach konkreteren intrinsischen Risikofaktoren, die bei den Sicherheitshinweisen zur Gestaltung von KT mit KJ unterrepräsentiert bleiben, waren also Faktoren, die mechanische Belastungen verstärken oder Widerstände von Strukturen schwächen, wie das beispielsweise für Bindegewebe unter dem Einfluss von Progesteron der Fall sein kann. Verstärkte Belastungen ergeben sich aus unphysiologischen (abweichenden) Verteilungen mechanischer Kräfte an den Gelenken, sodass wachsende Strukturen akut oder chronisch überlastet sind (Beneke & Hebestreit, 2002; Benjamin & Glow, 2003). Fehlhaltungen unterschiedlicher Art können solche ungleichmäßigen Verteilungen physikalischer Kräfte in Gelenken hervorrufen. Eine

weitere Möglichkeit der Überlastung entsteht, wenn unreife oder unzureichend ausgeprägte Strukturen Kräften ausgesetzt werden, denen sie momentan oder langfristig nicht standhalten können. Damit sind Einflüsse wie Wachstumshormone, die die stützenden und Kräfteübertragenden Gewebe direkt in ihrer Zusammensetzung und Widerstandsfähigkeit beeinträchtigen, ebenfalls als Risikofaktoren zu betrachten. In den folgenden Unterkapiteln werden die Schlussfolgerungen der gefundenen Studien zusammengefasst und in die Bereiche, Fehlhaltungen, Übergewicht, mangelndes Bewegungskönnen, mangelnde Knochengesundheit in Folge von Bewegungsmangel eingeteilt. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht dieser Kategorien.

Tabelle 2: Gegenüberstellung bekannter und von dieser Arbeit postulierten Risiken des Krafttrainings für Kinder und Jugendliche, die keine oder wenig Erfahrung mit Training unter Zusatzlasten haben

Risikofaktoren im Krafttraining von unbedarften Kindern und Jugendlichen			
Bekannte Risiken		Vermutete Risiken	
Extrinsisch	Intrinsisch	Extrinsisch	Intrinsisch
Zu hohe Belastungsintensität	Individuell verlaufendes Wachstum des Bewegungsapparates	Sozioökonomische Benachteiligung	Fehlhaltungen
Zu hohe Belastungsumfänge	Gegebene Beweglichkeit		Mangelndes Bewegungskönnen
Mangelhafte Trainingssteuerung während beschleunigtem Wachstum	Muskelzusammensetzung		Übergewicht
Mangelnde Beaufsichtigung durch Fachpersonal	Vorverletzungen		Mangelnde Knochengesundheit
Mangelhafte Trainingsmittel	Knochendichte und -geometrie		

Quelle: Eigene Darstellung

5.1 Fehlhaltungen

Wie bereits unter 3.2 festgehalten, versteht sich der Begriff „Fehlhaltung“ für die Zwecke dieser Arbeit als einzelne oder miteinander in Zusammenhang stehende Gelenkstellungen, die von einer für KJ in ihren jeweiligen Entwicklungsphasen normalen Stellung abweicht. Die gefundenen Implikationen beschäftigen sich jeweils mit spezifischen Problemstellungen an Strukturen bzw. Gelenken, weshalb eine Untergliederung in die Abweichungen der Wirbelsäule, Abweichungen der Beinachsen und Veränderungen der Geometrie der Füße sinnvoll erscheint.

5.1.1 Abweichende Wirbelsäulengeometrie

Bekannte und häufige Kombinationen von Abweichungen der physiologischen Haltung der Wirbelsäule sind in der Sagittalebene der Hohlrundrücken (lordotische Haltung), Rundrücken (kyphotische Haltung), und der Flachrücken (hypolordotische Haltung). Unphysiologische Abweichungen der Wirbelsäule in der Frontalebene werden als Skoliose bezeichnet und treten als thorakale, lumbale, thorakolumbale (Übergang BWS zu LWS) sowie thorakale und lumbale Skoliose (BWS und LWS) auf (Niethard & Carstens, 2010). Solche Fehlstellungen können den Effekt haben, dass sich mechanische Kräfte

ungleichmäßig auf den Bewegungsapparat verteilen und damit sowohl aktive als auch passive Strukturen und Gewebe entweder überbelasten oder unterbelastet werden. Überbelastungen führen zu kompensierenden Anpassungen und bzw. oder Abnutzungen. Unterbelastungen können in Ermangelung mechanischer Reize zu Schwächungen und Reduktionen von Geweben führen. Fehlhaltungen bergen also je nach Ausprägungsgrad Verletzungsrisiken, selbst unter symmetrischen Belastungen, wie beispielsweise bei der Ausführung von Kniebeugen. Zusätzlich verstärkt sich das Risiko einer Verletzung, wenn die Fehlhaltung ein Gewebe strapaziert, das sich im Wachstum befindet (Krivickas, 1997). Studien zu Haltungsentwicklung, Wirbelsäulenfehlstellungen und Implikationen für sportliche Belastungen bei KJ sind wider Erwarten nur zu einem geringen Maß verfügbar. Eine Metaanalyse von Holden, Boreham und Delahunt (2016) bestätigt diesen Befund und ortet einen Bedarf an Longitudinalstudien, um entwicklungsbedingte, von tatsächlich chronischen Veränderungen der Wirbelsäule unterscheiden zu können. Anhaltspunkte dafür, dass die Krümmungen der Wirbelsäule entwicklungsbedingten Schwankungen unterliegen, haben Fransson et al. (2002) mit Hilfe eines computerunterstützten Verfahrens gefunden. Erhobene Häufigkeiten von abweichenden Körperhaltungen bei Kindern zwischen dem frühen Schulkindalter bis zum Einsetzen der Pubertät kommen Kratenová et al. (2007) und Wojtków, Szkoda-Polizuk und Szotek (2018) zufolge häufig vor. Kratenová et al. (2007) erhob in einer Querschnittsstudie mit 3520 Schülerinnen und Schülern im Alter von sieben, elf und 15 Jahren, dass 50% aller Kinder vorstehende Schulterblätter zeigten, 32% eine verstärkte LWS Lordose und 32% der Kinder zeigten eine verstärkte BWS Kyphose. Jene Kinder, bei denen eine abweichende Haltung festgestellt wurden, äußerten auch häufiger Beschwerden über Kopfschmerzen und Schmerzen im Bereich der HWS und BWS. Die durchschnittliche Stundenzahl, die mit sportlichen Aktivitäten zugebracht wurde, lag bei vier Stunden und die durchschnittliche Zeit, die mit Medienkonsum verbracht wurde bei 14 Stunden pro Woche. Außerdem gaben 20% an, gar keine sportlichen Aktivitäten zu verfolgen, und diese Gruppe zeigte auch signifikant häufiger Fehlhaltungen. Ebenfalls bedeutend ist ein signifikanter Unterschied zwischen der Häufigkeit von Fehlhaltungen bei sieben-Jährigen mit 33% und 40,8% bei elf-Jährigen. Wojtków et al. (2018) stellen bei 42% der von ihnen untersuchten Schulkindern Fehlhaltungen der Wirbelsäule fest und die Autoren postulieren, da 65% der Kinder mit Fehlhaltungen eine ungleiche Verteilung des Körpergewichts auf die unteren Extremitäten zeigten, eine kausale Verbindung zwischen den beiden Phänomenen. Barczyk-Pawelec et al. (2017 und 2015) setzten sich mit Korrelationen kyphotischer und lordotischer Abweichungen der Wirbelsäule und der Kraft und Muskelqualität der Rumpfmuskulatur auseinander. Sie eruierten in ihren Studien mit jeweils 104 bzw. 145 Kindern eine hohe Prävalenz von sagittalen Abweichungen bei zehn

und elf-jährigen Kindern vor allem im BWS Bereich, können aber nur durchschnittliche bis schwache Zusammenhänge zwischen der Ausprägung von Fehlhaltungen und der Kraft der Rumpfmuskulatur erkennen. Grabara (2014) führte eine Vergleichsstudie von jugendlichen Athletinnen und Athleten aus dem Spilsport (n=161) mit einer Kontrollgruppe (n=162) aus Jugendlichen durch, die keiner regelmäßigen sportlichen Aktivität nachgingen, beide Gruppen bestanden aus 14 bis 17 Jahre alten Personen. Die Resultate zeigen zwar geringere sagittale Abweichungen bei den Athletinnen und Athleten, allerdings mit nur geringer Signifikanz. Für Abweichungen der Wirbelsäulengeometrie in der Sagittalebene lässt sich festhalten, dass eine hohe Prävalenz besteht, die sowohl Kinder als auch Jugendliche betrifft, gleichzeitig aber nur geringfügige Zusammenhänge mit dem Trainingszustand der KJ bestehen.

Krümmungen der Wirbelsäule in der Frontalebene, also Skoliosen, treten wesentlich seltener auf (Adamczewska, Wiernicka, Malchrowicz-Moško, Matecka, & Lewandowski, 2019; Adobor, Rimeslatten, Steen, & Brox, 2011; Moalej et al., 2018; Ueno et al., 2011; Yong, Wong, & Chow, 2009; Zheng et al., 2016). Darüber hinaus sind offenbar bei elf bis 14 Jahre alten Personen Mädchen öfter betroffen als Jungen (Ueno et al., 2011) und für Mädchen (neun bis 13 Jahre alt) zeigt sich ein Trend zur Verstärkung der unphysiologischen Krümmung mit dem Alter (Yong et al., 2009). Von besonderer Bedeutung sind die Befunde von Penha et al. (2017) bei zehn bis 14-jährigen Personen und Adamczewska et al. (2019) bei neun bis elf jährigen Personen, da sie den Befund der Skoliose mit spezifischen Asymmetrien des restlichen Bewegungsapparates verbinden. Wie zuvor angeführt, führen solche Asymmetrien zu sehr unterschiedlichen Belastungsverteilungen und sollten besonders beim Training gegen Widerstände oder mit Sprüngen vorher bekannt sein.

Tabelle 3: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche mit abweichender Wirbelsäulengeometrie enthalten

Risikofaktor: Fehlhaltungen, Teilbereich: abweichende Wirbelsäulengeometrie		
Autor/en	Jahr	Kernaussage
Adamczewska et. al.	2019	Skoliosen kommen selten vor, sie verursachen allerdings eine asymmetrische Verteilung mechanischer Kräfte auf die Extremitäten und untergewichtige Mädchen zeigen stärkere Ausprägungen der Skoliose (n=6850)
Barczyk-Pawelec et al	2017	Abweichungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene kommen bei KJ häufig vor, die Qualität der Rückenmuskulatur steht aber kaum damit in Zusammenhang (n=104)
Barczyk-Pawelec et al	2015	Abweichungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene kommen bei KJ häufig vor, die Qualität der Rückenmuskulatur steht aber kaum damit in Zusammenhang (n=145)
Grabara	2014	Sportlich aktive KJ zeigen annähernd die gleichen Abweichungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene wie unsportliche KJ (n=161/n=162)
Kratenová et al.	2007	Abweichungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene kommen bei KJ häufig vor (n=3520)
Moalej et al.	2018	Skoliosen kommen selten vor (n= 144)
Penha et al.	2017	Skoliosen verursachen eine asymmetrische Verteilung mechanischer Kräfte auf die Extremitäten (n=2562)
Adobor, Rimeslatten, Steen, & Brox, 2011	2011	Skoliosen kommen selten vor (n=12000)
Ueno et al.	2011	Skoliosen kommen selten vor, Mädchen sind öfter betroffen als Jungen (n=255875)
Wojtków	2018	Abweichungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene kommen bei KJ häufig vor und verursachen ungleiche Kraftverteilungen auf die unteren Extremitäten (Nur Abstract verfügbar)
Yong, Wong, & Chow	2009	Skoliosen kommen selten vor. Die unphysiologische Haltung neigt sich bei Mädchen mit dem Alter stärker auszuprägen (n=93626)
Zheng et al.	2016	Skoliosen kommen selten vor (n= 11024)

Quelle: Eigene Darstellung

5.1.2 Abweichende Beinachsen

Die beiden häufigsten Fehlstellungen der Beinachsen in der Gesamtbevölkerung sind Genu varum (O-Bein) und Genu valgum (X-Bein) (Niethard & Carstens, 2010). Mauntel, Frank, Begalle, Blackburn, and Padua (2014) identifizieren die mediale Verschiebung des Kniegelenks als einfachen aber, geeigneten Indikator für eine Valgusstellung des Kniegelenks. Eine veränderte Stellung des Beinskeletts wirkt sich besonders auf die Kraftentfaltung des Hüftgelenks aus (Kindel & Challis, 2017; Mauntel et al., 2014). Als Bindeglied der Beine zur Wirbelsäule kann das weitreichende Auswirkungen auf Bewegungsmuster und Belastungsempfindlichkeiten haben. Ein radiologisch festgestelltes Klaffen des lateralen Gelenkspaltes im Kniegelenk (engl. varus thrust) wurde Palad et al. (2018) im Zuge einer Querschnittsstudie von 572 Personen bei 41% der Kinder im Alter von drei bis neun Jahren und bei 25% der Jugendlichen festgestellt. Im Kräftespiel des Kniegelenks während des Gehens bedeutet ein „Varus thrust“ eine ungleichmäßige Belastungsverteilung auf die medialen Gelenksflächen. Weibliche Personen sind häufiger von Abnutzungserscheinungen der medialen Gelenksflächen durch eine Varusstellung

betroffen als männliche Personen. Obwohl die maximale Auslenkung des Kniegelenks bei männlichen Probanden größere Extrema erreicht hat, zeigen weibliche Probanden bei der angewandten Ganganalyse ein deutlicheres Absenken des Beckens, was bei dieser Vergleichsstudie mit insgesamt 60 Personen auch häufiger mit Abnutzungen der medialen Gelenksknorpel im Kniegelenk einherging (Barrios & Strotman, 2014). Anhand von Daten, die aus einer sorgfältig selektierten Stichprobe einer Population von trainierenden elf-18 Jahre alten Mädchen stammen (n=46), konnten Froehle et al. (2017) erkennen, dass Individuen die eine frühere (aber in der Norm liegende) Menarche erleben dazu neigen kurze Wachstumsphasen zu haben. Die Autoren stellen darüber hinaus fest, dass durch die verkürzte Wachstumsphase unreife Gangmuster der Kindheit in die postpubertäre Phase übertragen werden und dort für eine verstärkte Valgusstellung sorgen, die mit einem höheren Risiko für Sportverletzungen assoziiert ist. Ebenfalls bedeutend sind die Befunde von Farr et al. (2014) aus einer Stichprobe mit 33 KJ mit einem Durchschnittsalter von 12,3 Jahren. Eine Ganganalyse zeigte bei KJ mit einer Valgusstellung abweichende Bewegungen in der Frontal- und Transversalebene, die als Kompensationsbewegungen zur Vermeidung von belastenden Kräften im Kniegelenk klassifiziert wurden. Kaspiris, Zaphiropoulou, und Vasiliadis (2013) bestätigen diesen Befund quasi in Form von positiven Korrelationen zwischen dem Schweregrad der Valgusstellung bei drei bis neun Jahre alten Kindern und deren Beteiligung an sportlichen Aktivitäten.

Tabelle 4: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche mit abweichender Beinachsen enthalten

Risikofaktor: Fehlhaltungen, Teilbereich: abweichende Beinachsen		
Autor/en	Jahr	Kernaussage
Barrios & Strotman	2014	Mädchen sind häufiger von Varusbeinstellung betroffen als Jungen (n=60)
Froehle et al.	2017	Mädchen, die eine frühere Menarche erleben haben kürzere Wachstumsphasen und behalten kindliche Gangmuster, was eine verstärkte Valgusstellung mit sich bringt. (n=46)
Farr et al.	2014	Verändertes Gangmuster bei Kindern durch Vermeidung von belastenden Kräften im Knie und dadurch Valgusstellung. (n=33)
Kaspiris, Zaphiropoulou & Vasiliadis	2013	Geringere Beteiligung an sportlichen Aktivitäten von Kindern mit Valgusstellung (n=316)
Kindel & Challis	2017	Abweichende Beinachsen verändern die Kraftentfaltung im Hüftgelenk. Nur Abstract verfügbar
Mauntel, et al.	2014	Abweichende Beinachsen verändern die Kraftentfaltung im Hüftgelenk. Nur Abstract verfügbar
Palad et al.	2018	Varusstellung ist die häufigste Beinachsenfehlstellung bei KJ (n=572)

Quelle: Eigene Darstellung

5.1.3 Abweichende Fußgewölbe

An den Füßen treten die häufigsten Fehlstellungen als unphysiologische Krümmungen der Fußgewölbe auf. Unterschieden werden Senkfüße (Longitudinalbogen zu flach), Spreizfüße (Transversalbogen zu flach) und deren Kombination, die Plattfüße. Ein zu stark gekrümmtes longitudinales Fußgewölbe wird als Hohlfuß bezeichnet (Niethard & Carstens, 2010). Eine zu geringe Krümmung des longitudinalen Fußgewölbes von KJ verändert über die daraus folgenden Kräfteumverteilungen im Knöchel auch die Morphologie der Kniegelenke, wie Han et al. (2017) in einer Querschnittsstudie mit 72 Teilnehmerinnen und Teilnehmern zwischen neun und 22 Jahren feststellen. Jankowicz-Szymanska, Mikolajczyk, und Wodka (2017) zeigen an einer Stichprobe aus 400 Schulkindern im Alter von zehn bis zwölf Jahren aber, dass eine flache Krümmung des longitudinalen Fußbogens nur bei übergewichtigen Kindern mit der eingeschränkten Bewegungsamplitude der Dorsiflexion im Knöchel einhergeht. Die biomechanischen Einflüsse eines Plattfußes, simuliert durch abfallende Keile, auf denen 35 gesunde Personen getestet wurden (Farokhmanesh, Shirzadian, Mahboubi, & Shahri, 2014), haben Einfluss bis in die Wirbelsäule und damit auf den gesamten Bewegungsapparat. Verstärkte LWS Lordosen und BWS Kyphosen wurden durch das Stehen auf diesen Keilen verursacht. Verschiedenste Analysen der Bewegungsphasen der Gangmuster von 95 KJ, die zwischen 8 und 15 Jahre alt waren, zeigen abweichende Bewegungsabläufe in deren Gangmuster (Kothari, Dixon, Stebbins, Zavatsky, & Theologis, 2016). Messbare Veränderungen der potentiell wirkenden Kräfte durch Plattfüße in allen Beingelenken zeigen Buldt et al. (2015) bei einem Vergleich der Gangmuster von 97 Personen im Alter zwischen 18 und 47 Jahren. Verglichen wurden dazu die Amplituden der Gelenkbewegungen in den anatomischen Hauptebenen und ihr Auftreten im Zusammenhang mit der Krümmung des longitudinalen Fußbogens. Hös et al. (2014) untersuchten 35 KJ mit Plattfüßen, die sich durch besonders flexible Fußgelenke ergeben und zeigten neben einer eingeschränkten Beweglichkeit des Knöchels in der Sagittalebene auch erhöhte Anforderungen an den Knöchel durch Bremskräfte und eine verminderte Kraftentfaltung beim Abdruck vom Boden. Jafarnezhadgero, Majlesi und Madadi-Shad (2018) sehen bei 14 männlichen Kindern mit flexiblen Plattfüßen geringere Abweichungen der in den Beingelenken wirkenden Kräfte, als für Plattfüße im allgemeinen postuliert wird. Bei einer Metaanalyse von Tong und Kong (2013) sowie in der bereits angeführten Studie von Kothari et al. (2016) konnten nur schwache Zusammenhänge zwischen der Verletzungshäufigkeit an den unteren Extremitäten und vorhandenen Plattfüßen feststellen. Dennoch wird festgehalten, dass häufig Schmerzen und tatsächliche Abnutzungserscheinungen betroffener Gelenksflächen im Zusammenhang mit Plattfüßen auftreten und das unabhängig davon, ob diese durch

Hypermobilität des Fußes entstanden sind oder auf tatsächlichen Fehlstellungen beruhen. Die Gefahr von Subluxationen der Kniescheibe, sowohl im Kindesalter, als auch im Jugendalter, besteht ebenfalls bei einer zu geringen Krümmung des Fußgewölbes und der damit einhergehenden Pronation der Füße, so Mølgaard, Rathleff, and Simonsen (2011) in einer Studie mit 299 Jugendlichen im Alter von 16 bis 18 Jahren und Kothari et al. (2016) für acht bis 15-jährige Personen. Obwohl die Studien Plattfüße mit Subluxationen der Patella korrelieren lassen sie eine kausale Verbindung allerdings offen. Erschwerend für die Herstellung der gerade angeführten aber auch generellen handlungsweisenden Kausalitäten kommt das Ergebnis von Foss, Ford, Myer, und Hewett (2009) hinzu, die Plattfüße bei 112 Mädchen bzw. Frauen im Alter zwischen elf und 21 Jahren mit einer generellen erhöhten Beweglichkeit des gesamten Bewegungsapparates erkannt haben wollen. Hawke, Rome, und Evans (2016) fügen demselben Befund aus ihrer Studie mit 30 zwischen sieben und 15 Jahre alten Kindern auch noch die Interpretation hinzu, dass Entscheidungen über einen Maßnahmenbedarf stets vor dem Hintergrund variabler Beweglichkeiten aller Gelenke während des Wachstums eruiert werden sollten. Konkret auf die Morphologie der Füße bezogen postulieren Gijon-Nogueron et al. (2019) behaupten auf Basis ihrer Auswertung von Fußstellungen von 3217 KJ im Alter zwischen drei und 15 Jahren aus drei verschiedenen Ländern, dass KJ einen breiteren Rahmen normaler Fußstellungen und Fußgewölbekrümmungen im Vergleich zu Erwachsenen haben. Stärker pronierte Fußstellungen auf Grund von flacherer Fußgewölbe sind ihrer Meinung nach also als entwicklungsbedingt und damit der Norm entsprechend zu betrachten. Anders drücken es Morrison et al. (2017) in einem Fachzeitschriftenartikel, sowie Martínez-Nova et al. (2018) auf Basis einer Studie mit 1032 gesunden Kindern zwischen elf und 13 Jahren aus, die eine Diagnose von Plattfüßen im Kontext von überdurchschnittlicher Beweglichkeit und Wachstum als meist fehlerhaft bezeichnen. Tabelle 5 fasst die Kernaussagen zu abweichenden Haltungen des Fußgewölbes zusammen.

Tabelle 5: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche mit abweichender Fußgewölben enthalten

Risikofaktor: Fehlhaltungen, Teilbereich: abweichende Fußgewölbe		
Autor/en	Jahr	Kernaussage
Mølgaard, Rathleff, & Simonsen	2011	Geringe Krümmung der Fußgewölbe korrelieren mit Schmerzen, Abnutzungserscheinungen und Subluxationen der Patella (n=299)
Boldt et al.	2015	Veränderte Gangmuster und wirkende Kräfte in den Beingelenken durch Plattfüße (n=97)
Farokhmanesh et al.	2014	Plattfüße verändern Wirbelsäulenkrümmung in der Sagittalebene (n=35)
Foss et al.	2009	Plattfüße stehen mit einer generell höheren Beweglichkeit in Verbindung (n=112)
Gijon-Nogueron et al.	2019	KJ haben eine größere Bandbreite normaler Fußgewölbekrümmungen im Vergleich zu Erwachsenen (n=3217)
Han et al.	2017	Veränderte Fußgewölbe nehmen Einfluss auf die Morphologie der Kniegelenke (n=72)
Hawke, Rome & Evans	2016	Entwicklungsbedingte Veränderungen der Beweglichkeit sollten bei der Interpretation von Fehlstellungen berücksichtigt werden. (n=30)
Hösl et al.	2014	Veränderte Gangmuster und wirkende Kräfte im Knöchel durch hypermobile Plattfüße (n=35)
Jafarnezhadgero, Majlesi, & Madadi-Shad	2018	Veränderte Gangmuster und wirkende Kräfte in den Beingelenken durch Plattfüße (n=14)
Jankowicz-Szymanska, Mikolajczyk, und Wodka	2017	Eingeschränkte Dorsiflexion durch flache Longitudinalbögen (n=400)
Kothari et al.	2016	Geringe Krümmung der Fußgewölbe korrelieren mit Schmerzen, Abnutzungserscheinungen und Subluxationen der Patella (n=95)
Martínez-Nova et al.	2018	Plattfüße werden bei KJ oft fehldiagnostiziert, da sie nicht im Kontext erhöhter Beweglichkeit betrachtet werden. (n=1032)
Morrison, McClymont, Price, & Nester	2017	Plattfüße werden bei KJ oft fehldiagnostiziert, da sie nicht im Kontext erhöhter Beweglichkeit betrachtet werden (Kommentar)
Tong and Kong	2013	Es bestehen nur schwache Zusammenhänge zwischen Plattfüßen und Verletzungen an den unteren Extremitäten (Metaanalyse)

Quelle: Eigene Darstellung

5.2 Übergewicht als Risikofaktor für Krafttraining

Die Suche nach Evidenzen zu Fehlhaltungen des Bewegungsapparates und Schwächen des motorischen Bewegungskönnens im Kindes- und Jugendalter hat einige Studien zu Fehlhaltungen von KJ im Zusammenhang mit Übergewicht als Beifang mit sich gebracht. Eine vertiefte Recherche konnte aussagekräftige Beiträge liefern, die Übergewicht als Prädiktor von Haltungproblemen und Entwicklungsstörungen darstellen und somit Übergewicht und Fettleibigkeit als weiteren Risikofaktor für das KT von KJ zur Diskussion stellt.

5.2.1 Übergewicht und Fehlhaltungen

Als Epidemie bezeichnen Nettle and Sprogis (2011) die Häufigkeit übergewichtiger Kinder in den USA, stellen aber gleichzeitig einen Anstieg von Teilnehmern bei verschiedensten

Angeboten für KT fest und heben KT als sinnvolle Maßnahme zur Bekämpfung von Übergewicht bei KJ hervor. Eine Studie mit 2732 übergewichtigen, fettleibigen und normalgewichtigen KJ durchgeführt von Maciałyk-Paprocka et al. (2017) in Polen, stellt, unter Anwendung einer Tabelle zur Klassifizierung von Fehlhaltungen, Abweichungen der Körperhaltung bei 69,2% der Übergewichtigen und bei 78% der fettleibigen Kinder fest. Bei 6992 ebenfalls polnischen Kindern im Alter zwischen acht und zwölf Jahren, kommen Brzeziński et al. (2019) auf insgesamt 31.5% Fehlstellungen der unteren Extremitäten. Die häufigsten davon waren die Valgusstellung der Knie (14.5%) und der Ferse (21,8%) bei übergewichtigen KJ lag die Häufigkeit von Fehlstellungen der Beine gar bei 90,2%. Außerdem stellen die Autoren bei Jungen häufiger Beinfehlstellungen fest. In der gesamten Stichprobe von Brzeziński et al. (2019) stieg die Anzahl und der Schweregrad der Fehlstellungen mit dem BMI an. Bezogen auf die Wirbelsäule, scheint Übergewicht bei KJ das Risiko für eine lumbale Hyperlordose und eine posteriore Achsenschrägstellung zu erhöhen, so Jankowicz-Szymańska et al. (2019) in ihrer Studie mit 910 zehn bis zwölf jährigen Kindern, bei der 23,7% der Kindern als übergewichtig eingestuft wurden. Unter dem Aspekt der Körperzusammensetzung ist die Verteilung von Fettmassen anscheinend deutlich vom Geschlecht abhängig, stellen Rusek et al. (2018) in einer Studie mit 464 Schulkindern im Alter zwischen 6 und 16 Jahren fest. Die Haltung von Kindern scheint den Autoren nach durch größere Fettmassen im Schulter- und Beckengürtel negativ beeinflusst zu werden. Unterschiede bei den Geschlechtern konnten nur für Fehlstellungen des Beckens in der Frontalebene nachgewiesen werden (Rusek et al., 2018). Evans and Karimi (2015) bestätigen die positiven Korrelationen zwischen dem Alter und dem BMI mit Fehlstellungen im Knie. Jedoch widersprüchlich sind ihre Ergebnisse zu häufigen Schlussfolgerungen anderer Studienresultate, dass Übergewicht bei Kindern Plattfüße begünstigen. Sie postulieren für übergewichtige KJ, wie in Kapitel 5.1.3 thematisiert, eine Überinterpretation von flachen Fußgewölben im Sinne eines Plattfußes. Ihre Schlussfolgerungen ziehen Evans and Karimi (2015) aus einer Studie mit 728 Kindern im Alter zwischen drei und 15 Jahren. Vergleichende Ganganalysen bei 40 Kindern, von denen 20 übergewichtig waren, zeigen eine bessere Beweglichkeit des Kniegelenks und der Hüfte in der Sagittalebene von normalgewichtigen Kindern im Vergleich zu Übergewichtigen. In der Frontal- und Transversalebene war bei übergewichtigen Kindern häufiger eine funktionale Abweichung im Knie- bzw. im Hüftgelenk zu beobachten (Shultz et al., 2014). Dies erweitert den Befund vorangegangener Studien, die Übergewicht bei Kindern mit einer verstärkten Valgusstellung des Kniegelenks im Stehen feststellten. Shultz et al. (2014) merken weiters an, dass diese Ergebnisse bei der Verschreibung von KT für übergewichtige Kinder berücksichtigt werden sollten, da die verstärkte Valgusstellung eine erhöhte Gefahr

von Arthrose für diese Gruppe birgt. Die aus den angeführten Studienergebnissen extrahierten Kernaussagen werden in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche enthalten, deren Haltung durch Übergewicht beeinträchtigt wird

Risikofaktor: Übergewicht, Teilbereich: Fehlhaltung		
Autor/en	Jahr	Kernaussage
Maciałczyk-Paprocka et al.	2017	Übergewicht ist bei KJ mit Valgusstellung und Plattfüßen verbunden (n=3732)
Brzeziński et al.	2019	Die Anzahl und der Grad von Fehlstellungen steigt mit BMI an (n=6992)
Jankowicz-Szymanska et al.	2019	Übergewicht erhöht das Risiko bei KJ Fehlstellungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene zu entwickeln (n=910)
Rusek et al.	2018	Fettmassen verändern die Gelenksstellungen im Schulter- und Beckengürtel (n=464)
Evans & Karimi	2015	Es bestehen positive Korrelationen zwischen Alter, BMI und Fehlstellungen des Knies Es wird eine Überinterpretation von Plattfüßen bei übergewichtigen KJ postuliert (n=728)
Shultz et al.	2014	Die Beweglichkeit des Kniegelenks übergewichtiger KJ ist in der Sagittalebene eingeschränkt zeigt aber größere Amplituden in der Frontal- und Transversalebene (n=40)

Quelle: Eigene Darstellung

5.2.2 Veränderte Entwicklung durch Übergewicht

Für Mädchen sowie für Jungen kann starkes Übergewicht bzw. Fettleibigkeit eine Verschiebung der Wirkmechanismen von Sexualhormonen und Wachstumshormonen bedeuten. Ausdruck findet dies in steileren präpubertären Wachstumsgeschwindigkeitskurven bei beiden Geschlechtern. Da fettleibige Kinder aber sogar eine Reduktion der Konzentrationen des menschlichen Wachstumshormons vorweisen, steht das erhobene beschleunigte und verfrühte Wachstum aller Wahrscheinlichkeit nach mit größeren Konzentrationen des Insulins ähnlichen Wachstumsfaktors in Zusammenhang. Mädchen können durch eine stärkere Produktion von Sexualhormonen durch die Fettmassen verfrüht Merkmale der Pubertät ausprägen und sind paradoxerweise häufiger von Hyperandrogenämie das heißt einer zu hohe Konzentrationen von männlichen Geschlechtshormonen, betroffen. Für Jungen gilt ebenfalls eine höhere Wahrscheinlichkeit für Veränderungen im Timing des Auftretens von Merkmalen der Pubertät (Marcovecchio & Chiarelli, 2013). Einem Autorenmanuskript von Anderson, Solorzano und McCartney (2014) ist zu entnehmen, dass diese Verschiebungen mit der Entstehung des polyzystischen Ovarialsyndroms bei Mädchen im Zusammenhang stehen. Diese wiederum kann einen abweichenden Verlauf der körperliche Entwicklung von Mädchen bedeuten so postulieren es Zegher, López-Bermejo und Ibáñez (2018) in einem Artikel. Konkreter tragen Vandewalle, Schepper und Kaufman (2015) für übergewichtige

Jungen in einer Übersichtsarbeit Evidenzen zusammen, die das vorzeitige Einsetzen des Skelettwachstums und steilere Wachstumsgeschwindigkeitskurven bestätigen. Zum gleichen Schluss kommen Groot et al. (2017) mit der in einer Kohorte von 101 Kindern und Jugendlichen, mit einem durchschnittlichen Alter von 10,9 Jahren, gefundenen positiven Korrelation von BMI Werten und dem von ihnen definierten Knochenalter. Die Verteilung der Knochenmasse von postpubertären Jungen bzw. jungen erwachsenen Männern sehen Laakso et al. (2018) durch Fettleibigkeit in der Kindheit beeinträchtigt und mit einer Studie von 21 männlichen Personen mit einem Durchschnittsalter von 18,5 Jahren begründen sie dies durch hormonelle Abweichungen in Folge von Funktionsstörungen der leydig'schen Zellen, die sie gefunden haben. In Tabelle 7 sind die verdichteten Aussagen der zitierten Publikationen zur Begründung von Übergewicht als Risikofaktor beim KT mit KJ aufgelistet.

Tabelle 7: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche enthalten, deren Entwicklung durch Übergewicht beeinträchtigt wird

Risikofaktor: Übergewicht, Teilbereich: Beeinträchtigte Entwicklung		
Autor/en	Jahr	Kernaussage
Marcovecchio & Chiarelli	2013	Wirkmechanismen von Wachstums- und Sexualhormonen von KJ verändern sich durch Übergewicht, Jungen erreichen früher die Pubertät haben aber einen kürzeren Verlauf. (Review)
Anderson, Solorzano, & McCartney	2014	Polyzystisches Ovariensyndrom kann als Folge von Übergewicht bei Mädchen auftreten (Manuskript)
Zegher, López-Bermejo, & Ibáñez	2018	Polyzystisches Ovariensyndrom verändert körperlichen Entwicklungsverlauf bei Mädchen (Artikel)
Vandewalle, Schepper & Kaufman	2015	Vorzeitiges und beschleunigtes Skelettwachstum bei Jungen mit Übergewicht. (Review)
Groot et al.	2017	Vorzeitiges und beschleunigtes Skelettwachstum bei Jungen mit Übergewicht. (n=101)
Laakso et al.	2018	Abweichende Verteilungen der Knochenmasse bei Jungen in Folge von Funktionsstörungen der leydig'schen Zellen (n=21)

Quelle: Eigene Darstellung

5.3 Mangelndes Bewegungskönnen als Risiko beim Krafttraining

Larsen et al. (2016) haben in einer Studie 1244 Kinder und Jugendliche im Alter von acht bis 15 Jahren über einen Verlaufszeitraum von 15 Monaten hinsichtlich ausgewählter motorischer Fähigkeiten getestet und Zusammenhänge mit Verletzungswahrscheinlichkeiten eruiert. Ihre Resultate interpretieren sie so, dass eine unterdurchschnittliche Gleichgewichtsfähigkeit ein zuverlässiger Prädiktor für traumatische Verletzungen des Knöchels ist. Gute Leistungen beim Test der Rumpfstabilität, des Vertikalsprunges und einem komplexen Schnelligkeitstest (hier: „shuttle run“) waren mit traumatischen Verletzungen und Verletzungen, die aus Überlastung resultierten, assoziiert. Gute Leistungen bei einbeinigen Sprungserien hingegen schienen das Risiko von traumatischen Verletzungen zu reduzieren. Gottschling-Lang, Franze und

Hoffmann (2016) registrieren in einer Studie mit 599 Kindern Risiken für nachhaltige Beeinträchtigungen der motorischen Entwicklung durch unregelmäßige Teilnahme am Kindergarten bzw. Vorschulunterricht, wo grundlegende feinmotorische und grobmotorische Bewegungshandlungen auf der Tagesordnung stehen. Eine Prävalenz von Individuen mit nachhaltig verzögerten motorischen Entwicklungsfortschritten von 13,7% impliziert, aufgrund der Resultate, dass Maßnahmen bereits in der Vorschule gesetzt werden sollten. Ebenfalls auffallend ist, dass ein niedriger sozioökonomischer Status der Eltern einen Risikofaktor für die grobmotorische Entwicklung darstellt. Ireland et al. (2016) entnehmen einer groß angelegten Longitudinalstudie mit 2327 KJ und einem Beobachtungszeitraum vom 18. Lebensmonat bis zum 17. Lebensjahr Daten zur Knochengesundheit. Eingeschränktes Bewegungskönnen in der Kindheit wird dabei mit einer schwächer ausgeprägten Knochengeometrie und damit verbundenen Mängeln bei der Fähigkeit des Knochens, effizient Kräfte zu übertragen, korreliert, was in der Folge ein erhöhtes Risiko für Osteoporose darstellt. Ähnlich aufwendig sind die Untersuchungen von Haugen und Johansen (2018) zu den Zusammenhängen von grobmotorischen Leistungen und Parametern der physischen Leistungsfähigkeiten (engl. fitness). 49 Kinder mit unterschiedlichen grobmotorischen Leistungsparametern (Bewegungskönnen) wurden dazu über 10 Jahre beobachtet, wobei die erste Testung mit fünf bzw. sechs Jahren erfolgte und dann nach einem, sieben und zehn Jahren mit 15 bzw. 16 Jahren wiederholt wurden. Die Resultate waren eindeutig dahingehend, dass sich die Verhältnisse von niedriger Fitness bei mangelndem Bewegungskönnen und hoher Fitness bei gut ausgebildetem Bewegungskönnen zu keinem der Messpunkte für die Untersuchten verändert hat. Neben den Implikationen der Autoren hinsichtlich der Notwendigkeit grobmotorische Mängel bei Kindern möglichst früh zu erkennen, um spätere körperliche Einschränkungen zu vermeiden, sind die Resultate dieser Studie für die Perspektive der vorliegenden Arbeit ebenfalls von Bedeutung, denn mangelndes Bewegungskönnen wird demnach nicht durch körperliche und geistige Reifung kompensiert, sondern erfordert gezielte Intervention, um langfristige Einschränkungen der physischen Kapazitäten zu vermeiden. Ein Vergleich der Gelenkbewegungen der unteren Extremitäten bei Bodenturnerinnen bzw. Bodenturnern und Personen, die diesem Sport nicht nachgehen, zeigten ein fundamental verschiedenes Bewegungsverhalten bei der Stabilisierung der Haltung nach einer Auslenkung der Position durch eine externe Kraft (Gautier, Thouvarecq, & Larue, 2008). Ein Zusammenhang der Qualität und Quantität von Bewegungserfahrungen und den motorischen Strategien zur Stabilisierung der Körperhaltung unter der Einwirkung einer externen Kraft, wie sie auch für das KT typisch ist liegt nahe. Von Trainingsinterventionen und Bewegungserfahrungen unabhängig scheinen asymmetrische Ausgleichsbewegungen der Extremitäten bei

komplexen Bewegungsaufgaben zu sein. Es konnte eine unabhängige Verringerung von asymmetrischen Ausgleichsbewegungen im Verlauf der Reifung vom Kindes- bis ins Jugendalter gezeigt werden. Darüber hinaus scheint es, als würden Mädchen weniger zu asymmetrischen Ausgleichsbewegungen neigen als Jungen. Diese Befunde sind das Ergebnis einer Studie von Gasser et al. (2007), die 593 KJ im Alter von sechs bis 18,5 Jahren mit einer standardisierten Methode zur Erfassung der Präzision von Bewegungshandlungen untersuchten. Für eine Übersicht der Kernaussagen der beschriebenen Studien steht Tabelle 8 zur Verfügung.

Tabelle 8: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche enthalten, die mangelndes Bewegungskönnen an den Tag legen

Risikofaktor: Mangelndes Bewegungskönnen		
Autor/en	Jahr	Kernaussage
Larsen et al.	2016	Höheres Verletzungsrisiko durch unterdurchschnittliches grobmotorisches Bewegungskönnen (n=1244)
Gottschling-Lang, Franze, & Hoffmann	2016	Eingeschränktes Bewegungskönnen im Kindesalter ist mit niedriger Knochenbelastbarkeit im Jugendalter verbunden (n=599)
Ireland et al.	2016	Eingeschränktes Bewegungskönnen im Kindesalter ist mit niedriger Knochenbelastbarkeit im Jugendalter verbunden (n=2327)
Haugen & Johansen	2018	Grobmotorisches Bewegungskönnen ist ein starker Indikator für Fitnesslevels im Erwachsenenalter (n=49)
Gautier, Thouwarecq & Larue	2008	Bewegungserfahrung in der Kindheit korreliert mit der späteren Fähigkeit die Körperhaltung unter Einwirkung äußerer Kräfte zu stabilisieren (Nur Abstract verfügbar)
Gasser et al.	2007	Die Häufigkeit asymmetrischer Ausgleichsbewegungen nehmen unabhängig von sportlicher Aktivität im Verlauf der Entwicklung ab (n=593)

Quelle: Eigene Darstellung

5.4 Beeinträchtigte Knochengesundheit in Folge von Bewegungsmangel

Ein überwiegend passiver Lebensstil, vor allem in Verbindung mit lang andauernden unvorteilhaften Sitzhaltungen, ist der WHO (2010) zufolge ein wesentlicher Teil der vielfältigen Ursachen für Haltungsabweichungen und Übergewicht auf einer globalen Bevölkerungsebene. Dennoch legen die folgenden Studienergebnisse nahe, dass lange und häufige Phasen inaktiven Seins Folgen haben, die unabhängig von Übergewicht und Fehlhaltungen, im Kontext von KT, aber trotzdem relevant sein könnten. Obwohl die Erhebungen von physisch passiven und aktiven Tätigkeiten von KJ eine beträchtliche methodische Streuung aufweisen, wie Verloigne et al. (2016) in einer Übersichtsarbeit erklären, wird von selbigen aus den erhobenen Daten eine rapide Zunahme der Dauer körperlich inaktiver Tätigkeiten festgestellt. Bei der Betrachtung der Auswirkungen eines dauerhaft inaktiven Lebensstils auf den Bewegungsapparat zeigt die Studie von Gabel, Macdonald, Nettlefold und McKay (2017), dass die Knochenbelastbarkeit in Form von

vorteilhafter Mikroarchitektur trotz eines überwiegend inaktiven bzw. sitzenden Lebensstils durch kurzfristige intensivere Belastungen positiv beeinflusst werden kann. In dieser Studie, an der 309 Personen im Alter von neun bis 20 Jahren teilgenommen haben, wurden je Individuum Messwerte der Ossifikation jährlich über einen Zeitraum von vier Jahren erhoben. Die physische Aktivität bzw. inaktives Verhalten wurde je jährlicher Messperiode durch Beschleunigungsmessgeräte erhoben, die sieben Tage lang in Folge getragen werden mussten. Eine Altersunabhängigkeit hat sich für den Zusammenhang, dass die Nettozeit hochaktiver Phasen die Mikroarchitektur des Knochens vorteilhaft beeinflusst, herausgestellt. Für die Knochengeometrie wurde dagegen festgestellt, dass sie im Verlauf des Wachstums unterschiedlich stark auf Be- und Entladungsreize, also auf höher intensive Belastungen, wie sie für KT typisch sind, reagiert. In der präpubertären und pubertären Phase reagierten die Werte für die Knochengeometrie sowohl im positiven, als auch im negativen Sinne, sensibel. Auch Tan, Macdonald, Gabel und McKay (2018) zeigen in einer ähnlich angelegten Studie mit 192 15-jährigen Jungen und Mädchen, dass nicht die Dauer der körperlich inaktiven Tätigkeiten ausschlaggebend für die Knochenstärke ist, sondern die Dauer der mittleren bis stärker physisch aktiven Tätigkeiten den entscheidenden Einfluss haben. Die absolute Dauer von mittleren und stärkeren physischen Aktivitäten bis zur frühen Pubertät stehen auch bei Osborn et al. (2018) in Verbindung mit Parameterwerten guter Knochengesundheit. Aus den Daten ihrer Untersuchung von 864 Kindern mit einem Durchschnittsalter von 11,4 Jahren, scheint es unwesentlich zu sein, wie die Belastungszeiten verteilt sind und auch wie lange durchgehende Belastungen andauern. Aus epidemiologischer Sicht zeigt eine longitudinale Betrachtung, dass die summierte Dauer des inaktiven Verhaltens während der Kindheit zugenommen hat. Allerdings ist die Gesamtzeit an Aktivitäten mit mittlerer bis höherer Intensität, denen Kinder ihre Zeit widmen, bis zum achten Lebensjahr gleichgeblieben. Zwischen dem achten und dem elften Lebensjahr hat sich die Gesamtdauer mittlerer und höher intensiven physischer Aktivitäten allerdings deutlich verringert. Die Autoren Schwarzfischer et al. (2019) schließen aus einer Studie mit 600 Kindern, deren tägliche Aktivität über einen Zeitraum von je sieben Tagen im Alter von sechs, acht und elf Jahren gemessen wurde, dass dieser Abschnitt der Kindheit besonders sensibel bzw. richtungsweisend für den späteren gesundheitlichen Zustand und die Prioritäten in der Gestaltung des eigenen Lebens ist. Aussagen der Studien, die Implikationen für das KT von KJ enthalten, sind in Tabelle 9 gelistet.

Tabelle 9: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche enthalten, die eine beeinträchtigte Knochengesundheit in Folge von Bewegungsmangel haben könnten

Risikofaktor: Beeinträchtigte Knochengesundheit		
Autor/en	Jahr	Kernaussage
Gabel, et al.	2017	inaktiver Lebensstil bedeutet keinen Nachteil für die Mikroarchitektur der Knochen aber für die Knochengeometrie (n=309)
Tan et al.	2018	Die Dauer der mittel- bis hochintensiven Aktivitäten ist ausschlaggebend für die Knochenstärke und nicht die Summe der inaktiven Zeit (n=192)
Osborn et al.	2018	Die Verteilung und Dauer einzelner Phasen mittel- bis hochintensiver Aktivitäten hat keinen Einfluss auf die positive Wirkung auf die Knochengesundheit (n=864)
Schwarzfischer et al.	2019	Bis zum achten Lebensjahr bleibt die Gesamtzeit von Aktivitäten mit mittel bis hoher Intensität konstant, auch wenn die inaktive Gesamtzeit steigt, zwischen dem achten und elften Lebensjahr sinkt die Gesamtzeit von Aktivitäten mit mittel bis hoher Intensität (n=600)

Quelle: Eigene Darstellung

5.5 Rückenschmerzen als unsicherer Indikator

Schmerzen im Bereich der Brustwirbelsäule sind Briggs et al. (2009) zufolge, die sich auf 33 Publikationen in ihrer Übersichtsarbeit stützen, ein verbreitetes Phänomen in der Bevölkerung. Für biopsychosoziale Ursachen konnten sie, wenn auch schwache, Belege finden und verbleiben daher bei der Schlussfolgerung, dass mehr Forschung zur Ergründung von Schmerzen der Brustwirbelsäule notwendig ist. Ähnliches bringen O'Sullivan et al. (2017) in einer klinischen Erläuterung vor, die Schmerzsymptomatik im Bereich der Lendenwirbelsäule konzentriert behandelt. Es wird festgehalten, dass Mädchen bzw. Frauen häufiger von Rückenschmerzen im Bereich der LWS betroffen sind und dass es genetische Prädispositionen dafür gibt. Darüber hinaus werden weitere Assoziationen, wie schwache mentale Gesundheit, zusätzliche körperliche Beschwerden, eine abweichende Stressantwort des Körpers und die Beteiligung an sportlichen Aktivitäten mit dem Vorkommen von Rückenschmerzen im Lendenwirbelsäulenbereich hergestellt. Faktoren, die historisch mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Rückenschmerzen gesehen werden, stellen die Autoren in Frage. Abweichende Wirbelsäulenkrümmungen und Skoliose sowie das regelmäßige Tragen schwerer Taschen, Gelenkshypermobilität und unzureichende Ausdauer der Rückenmuskulatur sind demzufolge keine besonders starken Prädiktoren für LWS-Beschwerden. O'Sullivan et al. (2017) stellen damit ihrer eigenen Aussage zufolge übliche klinische Betrachtungsweisen in Frage und sehen einen Bedarf darin, Jugendliche rechtzeitig über Faktoren und Umgangsformen von und mit Rückenschmerzen zu informieren. Eine gezielte Information der Jugendlichen wird nicht zuletzt deshalb als wichtig erachtet, weil insbesondere falsche Überzeugungen rund um die Ursachen und Zusammenhänge von Rückenschmerzen ein nachgewiesener starker Prädiktor für Beeinträchtigungen durch eben diese sind. Noll et al. (2016) können bei einer Studie mit 1597 Kindern aus städtischen Schulen, mit dem Ziel der Ergründung der Ursachen für Rückenschmerzen bei KJ, Unterschiede zwischen den Geschlechtern und eine gewisse Erblichkeit von chronischen Rückenschmerzen feststellen. Die wöchentliche Frequenz sportlicher Betätigungen sowie die Gesamtzeit, die sitzend verbracht wird aber auch die Art wie Rucksäcke getragen werden, konnten mit Rückenschmerzen bei KJ in Verbindung gebracht werden.

Bei KJ, die einen inaktiven Lebensstil führen, sind die häufigsten Ursachen für Rückenschmerzen welche als chronisch, also mehr als drei Monate anhaltend oder innerhalb von drei Monaten wiederkehrend, klassifiziert werden, laut Hasler (2013) muskuläre Dysbalancen und lokale muskuläre Schwächen während Wachstumsschüben und außerdem noch schwach ausgeprägte konditionelle Fähigkeiten. In seine Übersichtsarbeit stehen auch sportliche Aktivitäten im Hochleistungsbereich mit Rückenschmerzen bei KJ in Verbindung. Radiologische Befunde von Abweichungen des Bewegungsapparates sind bei KJ stärker mit Rückenschmerzen verbunden, als dies bei Erwachsenen der Fall ist. Weiters scheint es, dass radiologisch positive Befunde für Fehlstellungen, die als Prädiktoren für Rückenschmerzen gelten, umso wahrscheinlicher zu einem chronischen Verlauf führen, je jünger die Patienten sind. Folgende Faktoren, die eine vertiefende Klärung durch medizinisches Fachpersonal indizieren, werden im Falle einer Konfrontation mit einem Kind oder einem/einer Jugendlichen mit Rückenschmerzen angeführt:

- das Alter des Patienten liegt unter fünf Jahren
- es liegt ein akutes Trauma vor
- Tätigkeiten des Alltags sind eingeschränkt
- der Schmerz breitet sich auf andere Körperregionen aus
- ein Verlust an Körpermasse ist zu verzeichnen
- die Schmerzen halten bereits länger als vier Wochen an
- der Patient selbst hatte bereits Tumore
- es besteht die Möglichkeit einer Tuberkuloseansteckung
- die Schmerzen treten auch in der Nacht auf
- anhaltendes Fieber

Für KJ, die höheren leistungssportlichen Reizen und damit der Gefahr einer strukturellen Überbeanspruchung der Wachstumszonen der Wirbelkörper ausgesetzt sind, gelten die Scheuermann-Krankheit, Skoliose und Ermüdungsbrüche als die häufigsten Ursachen für einen chronischen Verlauf von Rückenschmerzen. Spondylose hingegen stellt sich als eine harmlose Veränderung dar, die selten symptomatisch wird und gut mit konservativen Maßnahmen zu korrigieren ist. Ein mit der Spondylose verbundenes Wirbelgleiten zwischen L5 und S1 tritt häufig auf, verschlechtert sich aber nur selten. Während den Wachstumsschüben der Pubertät besteht allerdings ein erhöhtes Risiko für weiteres Wirbelgleiten, doch sportliche Aktivität auch im Hochleistungsbereich an sich stellt kein Risiko für die Verschlechterung einer Spondylose oder von Wirbelgleiten dar. Hasler (2013) sieht abweichende Krümmungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene deutlich stärker mit chronischen Schmerzen verbunden, als das O'Sullivan et al. (2017) tun, stimmt aber bei der geringen Assoziation der idiopathischen Skoliose mit Rückenschmerzen mit ihnen überein. Chronische Rückenschmerzen bei KJ sind ein unterschätztes Phänomen, das lediglich anhand der Dauer des Auftretens bzw. der Frequenz des Wiederauftretens charakterisiert wird, wo es hingegen als eigenständiges Krankheitsbild gesehen werden sollte (Hasler, 2013). Tabelle 10 überblickt die Kernaussagen zu unzureichendem Bewegungskönnen, inaktivem Lebensstil und Rückenschmerzen.

Tabelle 10: *Liste der Publikationen, die Rückenschmerzen als möglichen Indikator für ein Risiko beim Krafttraining von Kindern und Jugendlichen darstellen*

Risikofaktor: Rückenschmerzen		
Autor/en	Jahr	Kernaussage
Briggs et al.	2009	Schmerzen der Brustwirbelsäule haben schwach begründete biopsychosoziale Ursachen (Review)
Hasler	2013	Ursachen für chronische Rückenschmerzen sind muskuläre Dysbalancen und lokale muskuläre Schwächen während des Wachstums, schwache konditionelle Fähigkeiten und sportliche Höchstleistung (Review)
Noll et al.	2016	Rückenschmerzen zeigen genetische Prädispositionen und Frauen bzw. Mädchen sind häufiger betroffen, die wöchentliche Frequenz sportlicher Aktivitäten steht ebenfalls mit dem Auftreten von Rückenschmerzen in Verbindung (n=1597)
O'Sullivan et al.	2017	Rückenschmerzen zeigen genetische Prädispositionen und Frauen bzw. Mädchen sind häufiger betroffen, den größten Einfluss haben mentale und biopsychosoziale Probleme aber auch sportliche Aktivität (Klinische Erläuterung)

Quelle: Eigene Darstellung

6. Diskussion

Aus der folgenden Diskussion soll allem voran hervorgehen, dass es klare Risiken gibt, denen KJ ausgesetzt sind, wenn sie mit geringen Bewegungserfahrungen und damit einhergehenden motorischen und physiologischen Beeinträchtigungen, beginnen KT auszuüben. Darüber hinaus soll gezeigt werden, dass sich Trainerinnen und Trainer einer komplexen Aufgabe gegenübersehen sehen, wenn es gilt die postulierten Risikofaktoren für jede Person einzuschätzen und entsprechend sichere Trainingsinterventionen zu planen und zu gestalten.

6.1 Relevanz der Risikofaktoren auf Grund ihrer Prävalenzen

Es ist offensichtlich, dass die Diskussion darüber, ob das Auftreten von Phänomenen, die sich bei der Durchführung eines KT nachteilig, im Sinne der Erläuterungen in Kapitel 5, auswirken würden, erst Sinn macht, wenn diese Phänomene häufig genug in der Grundgesamtheit der Bevölkerung auftreten. Die Argumentation für eine Erweiterung der Liste an Risikofaktoren, die von Personen berücksichtigt werden sollten, die KT für KJ planen, gestalten und betreuen, stützt sich also unter anderem auf die Prävalenz der Beeinträchtigungen, die KJ in das KT mitbringen. Weiters werden die postulierten Risikofaktoren also in Bezug auf die Häufigkeit des Auftretens der entsprechenden Phänomene und deren Implikationen für das Training diskutiert. Befunde wie jene von Kratenová et al. (2007), Wojtków et al. (2018) Barczyk-Pawelec et al. (2015) und Barczyk-Pawelec et al. (2017), die abweichende Krümmungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene bei einem Drittel bis der Hälfte von Kindern vor und während der Pubertät feststellen, sprechen klar dafür solche Abweichungen als bedeutend für die Praxis des Krafttrainings einzustufen. Zu der potenziellen Gefahr einer akuten oder chronischen Überlastung von Wirbelkörpern und Bandscheiben, bedingt durch die unphysiologische Kraftverteilung in Folge von Fehlstellungen, kommt noch eine Feststellung von Wojtków et al. (2018) hinzu, die das Gefahrenpotential verstärken könnte, denn ihnen zufolge weisen 65% jener Kinder, die eine zu starke oder zu schwache Krümmung der Wirbelsäule zeigen, zusätzlich eine ungleichmäßige Verteilung der Belastung der unteren Extremitäten im Stehen auf. Abweichungen der Wirbelsäulengeometrie in der Frontalebene sind zwar deutlich weniger verbreitet, führen aber ebenfalls zu unausgeglichene Verteilungen von äußerlich wirkenden Kräften auf den Bewegungsapparat.

Fehlstellungen der Beinachsen konnten in ihrer expliziten Häufigkeit bei KJ nur leidlich erfasst werden. Eine Studie von Palad et al. (2018) beziffert das Vorkommen einer Varusbeinstellung mit 41% bei Kindern im Alter von drei bis neun Jahren und mit 25% bei

Jugendlichen. Diese Zahlen würden an sich für eine Berücksichtigung von O-Beinen als Risikofaktor sprechen aber auf der Grundlage einer einzigen epidemiologischen Studie ist dies nicht zu rechtfertigen. Da die Autoren in dieser Studie, aber auch Barrios und Strotman (2014) bereits im Jugendalter Anzeichen von Arthrosen durch eine Varusbeinstellung erkannt haben, sollten weitere Nachforschungen zur Häufigkeit von Beinachsenfehlstellungen unternommen werden.

Für die Häufigkeit von Fußstellungen bzw. Fußgewölbekrümmungen, die außerhalb der Norm liegen, gibt es zahlreiche Belege (siehe Kapitel 5.1.3) Ebenso sind negative Folgen, insbesondere von niedrigen Longitudinalbögen für Knie, Hüfte und Wirbelsäule, sowohl durch Untersuchungen im Stehen als auch durch Ganganalysen nachgewiesen. Frühzeitige Abnutzungserscheinungen und Schmerzsymptomatik, auch bei explizit unsportlichen KJ, wurden dabei ebenso festgestellt. Fehlhaltungen der Füße scheinen damit ein eindeutiges Risiko für Bewegungen unter dem Einfluss von Zusatzlasten auszumachen. Was bei der Erfassung und Auswertung von Studien zum Thema „Fußgewölbe bei KJ“ allerdings besonders auffällt, ist die Uneinigkeit darüber, ob die Breiten des Normbereichs für die Wölbungen des wachsenden Fußes überhaupt haltbar sind. In zwei Studien werden Plattfüße beispielsweise als mögliche Folge einer normalen, entwicklungsbedingt erhöhten Beweglichkeit des gesamten Skeletts dargestellt (Gijon-Nogueron et al., 2019; Hawke et al., 2016). Unterstützt wird die Hypothese, der breiteren Normen aufgrund von größeren Schwankungen innerhalb von Gelenksstellungen bei KJ durch einer Computermodellstudie aus dem Jahr 2002 von (Fransson et al.). Es stellt sich also die Frage, ob eine weitere Evaluierung von Fehlhaltungen als intrinsische Risikofaktoren bzw. die Vertiefung der Analyse von schädlichen Belastungen durch KT auf bestimmte Gelenke mit Fehlstellungen, zielführend wären, wenn nicht klar ist, wo die Grenze zwischen Fehlhaltungen und natürlichen Schwankungen der Gelenksstellungen aufgrund von entwicklungsbedingt erhöhter Mobilität liegt. Für die Betreuung betroffener KJ gilt es also nach der Feststellung des somatischen Alters bzw. der Skelettreife, zu eruieren, ob und welche Asymmetrien im Bewegungsapparat vorliegen, die den kategorischen Ausschluss von Zusatzlasten indizieren oder zumindest differenzierte Applikationen von Zusatzlasten verlangen.

Wenig Zweifel gibt es über eine hohe Prävalenz von Übergewicht und Fettleibigkeit bei KJ. Enorm verbreitet dürften, den Studien aus Kapitel 5.2.1 zufolge, Fehlhaltungen bei betroffenen KJ sein, die in ihrem Ausprägungsgrad eine positive Korrelation mit einem erhöhten BMI aufweisen. Konkret werden Plattfüße, Valgusstellung des Knies und verstärkte BWS-Kyphosen besonders häufig genannt. Bei Fettmassen, wie sie für adipöse Personen bekannt sind, scheinen zusätzliche mechanisch ungünstige Stellungen der

Schulterblätter und des Beckens hinzuzukommen. KT für KJ mit Übergewicht wird in zahlreichen Studien, die hier nicht referenziert wurden, für besonders geeignet erklärt, um Fettmassen zu reduzieren und um einen Einstieg in eine physisch aktive Lebensgestaltung zu bieten. Aus diesem Grund erscheint es besonders bedeutend, Personen, die KT für KJ planen, gestalten und betreuen, darin zu schulen, Fehlhaltungen zu erkennen und den KJ Handlungsmöglichkeiten zu bieten, mit denen sie ungünstige Belastungen vermeiden können bzw. wie sie Haltungsschwächen korrigieren können. Für das KT von übergewichtigen KJ kommt erschwerend hinzu, dass die ohnehin schon bekannten Schwankungsbreiten der Zeitpunkte und der Geschwindigkeiten von körperlichen Entwicklungsschüben, insbesondere bei Pubertierenden, durch übermäßige Fettansammlungen noch weiter vorverschoben sein können. Das kann zur Folge haben, dass die körperliche Entwicklung noch weiter von der geistig-emotionalen und damit auch sozialen Reife entfernt liegt und somit zusätzliche Herausforderungen entstehen. Es ist bekannt, dass das viszerale und subkutane Fett im menschlichen Körper mit zunehmender Masse eine immer größer werdende Rolle als Hormonproduzent einnimmt und Veränderungen der natürlichen Wirkungsketten verschiedener Hormone mit sich bringt. Ursachen und Auswirkungen dieses Phänomens haben Autoren, die in Kapitel 5.2.2. angeführt werden, für die Zusammenhänge mit der körperlichen Entwicklung Heranwachsender untersucht. Insbesondere für das KT mit übergewichtigen KJ könnten diese Erkenntnisse bedeutend sein, da KT auch das Ziel verfolgt, Muskelwachstum zu verursachen, was ebenfalls durch die Veränderung von Hormonspiegeln entsteht. Ob ein konkretes Risiko aufgrund von angesprochenen hormonellen Interaktionen besteht, konnte mit Hilfe der gefundenen Beiträge nicht ausreichend eingeschätzt werden. Praktikerinnen und Praktiker, die mit übergewichtigen KJ konfrontiert sind, könnten also das Risiko ihrer Schützlinge, Verletzungen oder Überlastungen zu erleiden minimieren, indem sie zusätzlich zu den oben erwähnten Erhebungen von Fehlhaltungen, Nachforschungen zu abweichendem Wachstumsverhalten in der Kindheit und Anzeichen einer verfrühten Pubertät anstellen.

Eine hohe Prävalenz von Bewegungsmangel bringen naturgemäß auch die verbreitet niedrigen grob-, aber auch feinmotorischen Bewegungskompetenzen oder wie es für die Zwecke dieser Arbeit formuliert wurde, ein niedriges Bewegungskönnen mit sich. Ireland et al. (2016) und Haugen und Johansen (2018) bestätigen nicht nur diese Annahme in ihren aktuellen Studien, sondern liefern auch gleichzeitig die wichtigsten Argumente dafür, mangelndes Bewegungskönnen als einen Risikofaktor beim KT zu charakterisieren. Offensichtlich ist, dass ein geringer Bewegungsschatz und geringe Bewegungskompetenzen zu unbeholfenen Ausführungen von Übungen und langsamen

Lernfortschritten führen können. Im Beisein fachkundiger Betreuer und Betreuerinnen, wie es für ein sicheres KT mit KJ verlangt wird, sollte diesem Risiko allerdings einfach entgegen getreten werden können. Weniger offensichtlich sind die Implikationen der im Tabelle 8 angeführten Autoren. Ihnen zufolge verursachen frühkindliche bzw. im frühen Schulkindalter bestehende Defizite im Bewegungskönnen, verringerte Knochenstabilitäten und eine nachhaltig reduzierte Belastbarkeit, die bereits im Jugendalter zu Einschränkungen führt und ohne kompensatorische Maßnahmen im Erwachsenenalter zu bleibenden Reduktionen physischer Kapazitäten werden können. Für die Adressierung dieses Phänomens wäre es also sinnvoll, beim Einstieg von KJ in das KT deren Bewegungskönnen gezielt auf die Probe zu stellen. Dies kann, für Klienten ab dem späten Schulkindalter, sinnvoll mit unterschiedlichen motorischen Testmethoden und für jüngere Kinder durch Beobachtung des Bewegungsverhaltens im einem entsprechend fordernden Umfeld geleistet werden. So könnten übermäßige Belastungen durch Reize vermieden werden, die bei der Programmierung des Trainings nur auf Basis des Entwicklungsstandes vielleicht als passend einzustufen sind.

Das Kapitel 5.4 verarbeitet ebenfalls Ergebnisse, die die Knochengesundheit bzw. deren Belastbarkeit betreffen. Gegenstand der entsprechenden Untersuchungen ist allerdings der durchschnittliche Anteil von physisch aktiven Tätigkeiten an der wachen Gesamttageszeit. Was konkret unter „physisch aktiv“ zu verstehen ist, geht aus Kapitel 3.1 hervor. Wichtige Aussagen der Ergebnisse sind, dass lange inaktive Phasen für die Festigkeit der Knochen auf der Ebene der Mikroarchitektur nicht schwächend wirken, solange es ausreichende Phasen hoher physischer Belastung gibt. Anders verhält es sich dagegen mit der Belastbarkeit des Knochens auf der Ebene seiner Geometrie bzw. seiner Dimensionen. Ein überwiegend inaktiver Lebensstil führt zu geringeren Belastbarkeiten des Skeletts durch zu geringe Dimensionen von Abschnitten knöcherner Strukturen, die bei intensiven Bewegungen hohe Belastungsspitzen tolerieren müssen. Das Gefahrenpotential beim KT von KJ liegt in einer gewissen Wahrscheinlichkeit, Klienten zu betreuen, die, außer gering ausgeprägten konditionellen Fähigkeiten, keine Anzeichen von Beeinträchtigungen durch Bewegungsmangel zeigen, aber dennoch gefährdet sind, überlastet zu werden. Wie hoch diese Wahrscheinlichkeit ist, kann nur Gegenstand von Spekulationen sein.

Letztlich sind Rückenschmerzen aufgrund der hohen gefundenen Zahlen zu Prävalenzen in die Ergebnisse der Recherche zu Risiken des KT für KJ aufgenommen worden, da die gefundenen Publikationen Implikationen bieten, die Rückenschmerzen als möglicherweise bedeutenden Indikator sowohl für die Gestaltung des Einstiegs als auch für die laufende Betreuung darstellen. Obwohl die Aussagen der vier gefundenen Beiträge die meisten der als hier Risikofaktoren diskutierten Phänomene mehr oder weniger betreffen, sind sie weit

davon entfernt, konkrete Verknüpfungen zu ihnen zuzulassen. Die Auflistung von Umständen die für KJ zutreffend könnten, in denen Rückenschmerzen ein Anzeichen für eine gesundheitsgefährdende Situation darstellen, ist dennoch erwähnenswert. Diese Liste an Indikatoren für Gefahren, die durch Rückenschmerzen angezeigt werden könnten, ist ein Beispiel für die Art von Wissen, das Trainerinnen und Trainer zusätzlich besitzen sollten, um KT für KJ sicher zu gestalten.

6.2 Risikofaktoren nach den verschiedenen Entwicklungsstadien

Die Daten und Ergebnisse der in Kapitel 5 ausgewählten Beiträge, wurden aus Probandengruppen unterschiedlichen Alters gewonnen oder sind verschiedenen Altersgruppen zuzuordnen. Es erscheint daher sinnvoll, die abgeleiteten Implikationen für potenzielle Risiken beim KT vor dem Hintergrund der in Kapitel 4.1 formulierten Entwicklungsphasen zu diskutieren.

Für das *frühe Schulkindalter* lassen sich für gesunde und normalgewichtige Kinder die folgenden Aussagen zusammenfassen:

- Abweichende Krümmungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene sind bereits deutlich präsent (bis zu 33% bei sieben-Jährigen)
- Bei Kindern im Alter zwischen drei und neun Jahren wurde eine Häufigkeit der Varusstellung des Kniegelenks bei bis zu 41% der Untersuchten festgestellt.
- Eine Valgusstellung des Fußgelenkes trat mit bis zu 21,8% Häufigkeit auf und eine Valgusstellung der Knie mit bis zu 14,5%.
- Für die Valgusstellung im Knie konnte ebenfalls für drei bis neun-Jährige gezeigt werden, dass die Ausprägung der Fehlstellung negativ mit der Beteiligung an sportlichen Aktivitäten korreliert.
- Eine in mehreren unterschiedlichen Ganganalysen gefundene Tendenz von abweichenden Bewegungsabläufen, die als autonome Vermeidung von Belastungsspitzen im Kniegelenk betrachtet werden, bestätigt einen möglichen kausalen Zusammenhang für die Neigung von Kindern mit Valgusstellung sportliche Aktivitäten zu meiden.
- Die Prävalenz von abweichenden Fußgewölbekrümmungen in diesem Alter wird in den gefundenen Publikationen nicht explizit ausgewiesen. Zusätzlich erschwert die bereits erwähnte Kritik an der Häufigkeit der Diagnose von Plattfüßen bei KJ, die Formulierung von Implikationen für das KT mit Kindern dieses Alters.

- Unabhängig davon, ob ein niedriges Fußgewölbe aus einer entwicklungsgemäß größeren Flexibilität der Fußknochengelenke stammt oder aus einer tatsächliche Fehlstellung resultiert, gelten für diese Altersgruppen dennoch dieselben Konsequenzen, wie ungünstige Verteilungen von mechanischen Kräften im Knie- und Hüftgelenk sowie eine Tendenz zur Verstärkung von Wirbelsäulenkrümmungen außerhalb des Normbereiches.
- In derselben Art, wie Fehlstellungen innerhalb dieser Altersgruppe zunehmen, verhält es sich laut aktuellen Daten der WHO mit Übergewicht.
- Der wahrscheinlich bedeutendste Effekt von Übergewicht bei KJ, einschließlich der Kinder im frühen Schulkindalter, ist, dass Fehlhaltungen bei dieser Personengruppe generell wesentlich häufiger (bis zu 69,7%) vorkommen.
- Besonders häufig sind stärkere BWS-Kyphosen und Valgusstellungen des Knies und des Knöchels.
- Zusammenhänge mit einer beeinträchtigten Entwicklung des Bewegungsapparates wurden für diese Altersgruppe nicht gefunden (Grabara, 2014). Eine Studie, die bei der Recherche ausgeschlossen wurde, gab aber Hinweise auf den Einfluss von Übergewicht bei jüngeren Kindern auf deren Stoffwechselfunktionen im Jugend- und Erwachsenenalter.

Die Empfänglichkeit für das Erlernen fundamentaler Bewegungen im frühen Schulkindalter, bei gleichzeitig eingeschränkter Belastbarkeit (Kapitel 4.1.2), sollte den Ergebnissen der meisten Studien aus dem Kapitel 5.3 zufolge auch dringend genutzt werden. Fällt der Erwerb grundlegender Bewegungskonzepte und -muster in diesem Alter aus, werden in den folgenden Entwicklungsabschnitten bereits kompensierende Maßnahmen erforderlich, um eine langfristige Beeinträchtigung der konditionellen Fähigkeiten in Form von reduzierten Belastbarkeiten des Bewegungsapparates zu vermeiden. Für die beschriebene Problematik einer reduzierten Knochenqualität durch Bewegungsmangel wird festgehalten, dass Kinder dieser Altersspanne zwar schon zu wesentlich langanhaltenderem körperlich inaktiven Verhalten neigen, aufgrund ihres dennoch starken natürlichen Bewegungsdranges aber noch ausreichend Zeit mit genügend intensiven Tätigkeiten verbringen (Schwarzfischer et al., 2019) und die Gefahr geschwächter Knochen noch nicht allzu hoch sein sollte.

Im *späten Schulkindalter* scheint die Häufigkeit von Fehlhaltungen allgemein anzusteigen, so sind beispielsweise bis zu 40,8% der elf-jährigen Kinder von verstärkten sagittalen Krümmungen der Wirbelsäule betroffen. In dieser Altersgruppe treten auch eindeutigere

Unterschiede bei den Geschlechtern im Hinblick auf Fehlhaltungen auf. Skoliosen sind hierfür ein Beispiel, von denen Mädchen signifikant öfter betroffen sind, als Jungen. Zusätzlich wurde festgestellt, dass Fehlhaltungen bei Mädchen dazu neigen, sich im Zuge dieser Wachstumsphase zu verstärken. Unphysiologische Verkrümmungen der Wirbelsäule, sowohl in der Sagittalebene als auch in der Frontalebene, sind bei Kindern in diesem Alter mit asymmetrischen Verteilungen mechanischer Kräfte in den Gelenken der Extremitäten verbunden. Mädchen, bei denen das Einsetzen der Regelblutung in diese Zeit, also bereits mit elf Jahren fällt, können von früher einsetzenden Wachstumsschüben des Skeletts betroffen sein, die mit einer verstärkten Valgusstellung des Knies verbunden sind. Die Autoren der entsprechenden Studie (Froehle et al., 2017) sehen damit assoziiert eine Übertragung kindlicher Gangmuster in die postpubertäre Phase. Zusammen mit den Befunden anderer, dass ausgeprägte Valgusstellungen der Knie aufgrund von Ausweichbewegungen veränderte Gangmuster nach sich ziehen (Kaspiris et al., 2013; Kindel & Challis, 2017; Mauntel et al., 2014), ergibt dies solide Implikationen für die Gestaltung der Belastung und besonders auch für die Übungsauswahl beim KT von akzelerierten Mädchen. Die Entscheidung, ob und wann symmetrische oder asymmetrische Verteilungen von Zusatzlasten auf den Rumpf sinnvoll sind ist hierbei wahrscheinlich bedeutend. Mehrere Studien an Kindern, die mitunter im späten Schulkindalter waren, zeigen den nachteiligen Einfluss von Plattfüßen auf die Gelenkstellungen von Knöchel, Knie, Hüfte und auch die Wirbelsäulenkrümmungen, die in der Folge mit Verschleißerscheinungen von Gelenkflächen und Schmerzsymptomaten verbunden sind. Übergewicht spielt für diese Altersgruppe nicht nur in Sachen Prävalenz, sondern auch durch den Effekt der Ausmaße eine zunehmende Rolle. Die Ausmaße der bereits erwähnten Fehlstellungen verstärken sich offenbar mit dem Anstieg des BMI-Wertes. Für fettleibige Kinder kommt hinzu, dass exzessive Fettmassen die Gelenkstellungen von Schulterblättern und Becken nachteilig beeinträchtigen können. Die bereits beschriebenen Auswirkungen hormoneller Ungleichgewichte durch Übergewicht ergänzen die Problemstellungen für diese Altersgruppe. Für beide Geschlechter kann Übergewicht die Ursache einer frühzeitig einsetzenden Geschlechtsreife bedeuten. Damit verbunden können grobe Diskrepanzen zwischen verschiedenen Aspekten der geistigen und körperlichen Reife auftreten. Insbesondere bedeutend für das KT ist aber der steiler werdende Anstieg und die Verschiebung der Kurve der Wachstumsgeschwindigkeit während des pubertären Wachstumsschubs (vgl. Abbildung 3). Betroffene Kinder erfahren also, mit leichten Unterschieden der Parameter zwischen den Geschlechtern, ein früheres und schnelleres Wachstum des Skeletts. Für Mädchen speziell wird im Zusammenhang mit Übergewicht in diesem Alter auch die Entstehung des polyzystischen Ovariensyndroms

postuliert, welches eine kaum zu behandelnde Entgleisung der Wachstums- und Sexualhormone bedeutet und damit gravierende Auswirkungen auf die Morphologie und Zusammensetzung des Körpers hat. Bei Jungen bzw. Männern wurde erkannt, dass das Wachstum des Skeletts in Folge von hormonellen Ungleichgewichten zwar verfrüht und beschleunigt auftritt, in seiner Dauer allerdings verkürzt wird. So können Defizite in der Knochenarchitektur und Beeinträchtigungen der testosteronbildenden Gewebe des postpubertären Körpers zurückbleiben. Der Anspruch an ein KT mit übergewichtigen Kindern steigt also im Hinblick auf die methodische Differenzierung und Programmierung für eine fachgerechte Adressierung der möglichen Komplikationen deutlich an. Zu den Einflüssen von geringem Bewegungskönnen im späten Schulkindalter gibt es keine speziellen Aussagen. Die bereits formulierten Befunde, dass defizitäres Bewegungskönnen eine Unterdimensionierung spezifischer morphologischer Merkmale des Knochens mit sich bringen, impliziert, dass verhältnismäßig große Lasten für den Bewegungsapparat mit erhöhten Verletzungswahrscheinlichkeiten von knöchernen Strukturen einhergehen könnten. Ein andauernder inaktiver Lebensstil während dieser Entwicklungsphase, kann trotz eventuell sporadischer sportlicher Betätigungen zu schwach dimensionierten Anpassungen des Knochens an intensive Belastungen führen. Das ergibt für die Gestaltung der Trainingsreize im KT eine identische Implikation wie bei den Folgen von geringem Bewegungskönnen. Zusätzlich von Interesse ist die Aussage, dass Kinder während dieses Altersabschnitts dazu neigen, noch weniger Zeit mit ausreichend intensiven Tätigkeiten zu verbringen.

Die *erste puberale Phase* ist gekennzeichnet durch stark beschleunigtes Wachstum in Folge eines natürlichen Anstiegs der Produktion von Wachstums- und Geschlechtshormonen. Diskrepanzen zwischen den Wachstumsgeschwindigkeiten unterschiedlicher Gewebe führen, wie in den einleitenden Kapiteln erklärt, naturgemäß zu Körperproportionen und Gelenkstellungen, die ungünstige mechanische Bedingungen im Bewegungsapparat mit sich bringen. Den entsprechenden Studien nach könnten aus der Kindheit mitgebrachte Fehlhaltungen dabei eine weitere Verschlechterung erfahren.

Übergehend in die *zweite puberale Phase* und damit hin zur Schließung der Epiphysen, drohen Fehlhaltungen zu nachhaltigen Defiziten in der körperlichen Leistungsfähigkeit zu werden. Nicht adressiertes Übergewicht sowie mangelndes Bewegungskönnen bis in die Pubertät scheinen bei jeweils starker Ausprägung bereits nachhaltige Schäden zu verursachen. Obwohl KT im therapeutischen Kontext als erfolgsversprechende Maßnahme diskutiert und erforscht wird, sind solche Schädigungen als Pathologien einzustufen und damit nicht mehr im Fokus dieser Arbeit.

6.3 Schwächen der Erhebung

Bereits während des Suchprozesses hat sich aufgrund von kleinen Trefferzahlen, selbst bei einer breiten Suchstrategie, aber mit einschlägigen Schlagwörtern abgezeichnet, dass insbesondere intrinsische Risikofaktoren beim KT von KJ im aktuellen trainingswissenschaftlichen Diskurs so gut wie kein Thema sind. Daraus resultierten einerseits Versuche Evidenzen für Risiken beim KT von KJ aus Studien und Beiträgen zu filtern, deren Fokus auf körperlicher Entwicklung und Wachstum von KJ liegt. Andererseits wurden Quellen gesucht, die Zusammenhänge zu Defiziten eines sonst gesunden, heranwachsenden Körpers liefern, die potenzielle Risiken beim KT darstellen könnten. Der Verlauf der jeweiligen Recherchen, aber auch jede inkludierte Publikation haben klar gemacht, dass die vermuteten Risikofaktoren aus Abbildung 4 einzeln wesentlich vertiefter aufzuklären sind, bevor eine fundierte Aussage über das Risikopotential der jeweiligen Bereiche gemacht werden kann. Die vorliegende Arbeit ist in ihrer Zielsetzung, eine Übersichtsarbeit zu sein, bestenfalls so weit gekommen, eine Übersicht über potenzielle, engere Forschungsfragen zum Thema Risiken des KT für KT aufzuzeigen.

7. Schlussfolgerung

Die Aussagen der inkludierten Publikationen und deren Interpretation ergeben im Hinblick auf die Beantwortung der Forschungsfrage folgende Schlussfolgerungen: Übergewicht als Folge von Bewegungsmangel in Kombination mit entsprechendem Ernährungsverhalten scheint, von den herausgearbeiteten Phänomenen, deutlicher als andere als Risikofaktor Geltung zu haben. Dies begründet sich zunächst im großen und globalen Ausmaß in dem KJ von Übergewicht betroffen sind. Darüber hinaus lassen die Ergebnisse der Studien, die Fehlhaltungen bei übergewichtigen KJ häufiger und stärker ausgeprägt zeigen, direkte Implikationen von Gefahren beim KT zu. Am offensichtlichsten ist, dass Bewegungen unter zusätzlicher Last, aber ohne die Berücksichtigung von Fehlstellungen, Verletzungen und Verschleißerscheinungen provozieren oder verstärken. Selbst KT ohne Zusatzlasten kann speziell bei Übergewicht an den Wendepunkten von Bewegungen große Kräfte in Gelenken hervorrufen, insbesondere wenn dabei ungewohnte Gelenkwinkel eingenommen werden. Was Übergewicht noch zu einem gefährlichen Faktor beim KT macht, sind jene Befunde, die darauf hindeuten, dass die körperliche Entwicklung von Übergewichtigen über die bekannte Schwankungsbreite während der Pubertät hinaus abweichen kann. Da Übergewicht zu einem großen Teil aus einem inaktiven Lebensstil hervorgeht, ist es auch wahrscheinlich, dass ungünstige Konsequenzen, wie sie im Hinblick auf Bewegungskönnen und Knochenarchitektur gefunden wurden, Einfluss haben könnten. Das Phänomen idiopathischer Fehlhaltungen, erscheint aufgrund seiner hohen Prävalenz und der direkten mechanischen Implikationen für Gelenksstrukturen, ebenfalls als Risikofaktor, der von kompetentem Personal gut gekannt werden sollte, zu gelten. Ein mangelhaftes Bewegungskönnen rechtfertigt sich letztlich als ernstzunehmender Risikofaktor aufgrund der progressiven Natur beschriebener Folgen und der offensichtlichen Verletzungsgefahr durch unkontrollierte Bewegungen unter dem gezielten Einfluss äußerer Kräfte. Geringe Belastbarkeiten von Knochen durch einen inaktiven Lebensstil so wie Rückenschmerzen sind mit den Ergebnissen dieser Arbeit nicht als eigenständige Risikofaktoren abgrenzbar.

Eine Trainingspraxis, in der die drei in dieser Arbeit gefestigteren Risikofaktoren berücksichtigt werden, verlangt beträchtliches Wissen, fachlicher, wie auch methodischer Natur, des praktizierenden Personals. Im Hinblick auf die zahlreichen zu erhebenden Parameter bei einer Eingangsanalyse im Vorfeld der Planung und Durchführung von KT werden vermutlich auch einige technische Hilfsmittel gebraucht, um Risiken objektiv einschätzen zu können, welche einen hohen finanziellen Aufwand bedeuten würden.

Eine offene Frage die aus dieser Arbeit heraus entstanden ist und nicht nur für das KT, sondern auch für viele andere Bereiche des sportlichen Trainings bedeutend sein könnte,

ist, ob und zu welchem Grad die körperliche Entwicklung mit größeren Schwankungsbreiten in der Beweglichkeit einhergeht. Nach der Inkludierung von Übersichtsarbeiten und anderen Arten von Publikationen wurde zudem klar, dass die Themen, wie Fehlhaltungen bei normal- und übergewichtigen Kindern sowie mangelndes Bewegungskönnen, wenig wissenschaftliche Aufmerksamkeit bekommen. Diese Erkenntnis ist verwunderlich, da KT speziell als Maßnahme zur Bekämpfung von Übergewicht in den letzten Jahren zunehmend beforscht wird.

Literaturverzeichnis

- Adamczewska, K., Wiernicka, M., Malchrowicz-Moško, E., Małecka, J., & Lewandowski, J. (2019). The Angle of Trunk Rotation in School Children: A Study from an Idiopathic Scoliosis Screening. Prevalence and Optimal Age Screening Value. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph16183426>
- Adobor, R. D., Rimeslatten, S., Steen, H., & Brox, J. I. (2011). School screening and point prevalence of adolescent idiopathic scoliosis in 4000 Norwegian children aged 12 years. *Scoliosis*, 6, 23. <https://doi.org/10.1186/1748-7161-6-23>
- Anderson, A. D., Solorzano, C. M. B., & McCartney, C. R. (2014). Childhood obesity and its impact on the development of adolescent PCOS. *Seminars in Reproductive Medicine*, 32(3), 202–213. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1371092>
- Balyi, I., Way, R., & Higgs, C. (2013). *Long-term athlete development*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Barbieri, D., & Zaccagni, L. (2013). Strength training for children and adolescents: Benefits and risks. *Collegium Antropologicum*, 37 Suppl 2, 219–225.
- Barczyk-Pawelec, K., Dziubek, W., Piechura, J. R., & Rożek, K. (2017). Correlations between somatic features, anteroposterior spinal curvatures and trunk muscle strength in schoolchildren. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 19(1), 133–139.
- Barczyk-Pawelec, K., Piechura, J. R., Dziubek, W., & Rożek, K. (2015). Evaluation of isokinetic trunk muscle strength in adolescents with normal and abnormal postures. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 38(7), 484–492. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2015.06.010>
- Barrios, J. A., & Strotman, D. E. (2014). A sex comparison of ambulatory mechanics relevant to osteoarthritis in individuals with and without asymptomatic varus knee alignment. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(5), 632–636. <https://doi.org/10.1123/jab.2014-0039>
- Beneke, R., & Hebestreit, H. (2002). *Kinder- und Jugendsportmedizin: Grundlagen, Praxis, Trainingstherapie ; 41 Tabellen*. Stuttgart: Thieme.
- Benjamin, H. J., & Glow, K. M. (2003). Strength training for children and adolescents: What can physicians recommend? *The Physician and Sportsmedicine*, 31(9), 19–26. <https://doi.org/10.3810/psm.2003.09.482>

- Beunen, G. P., Malina, R. M., Lefevre, J., Claessens, A. L., Renson, R., & Simons, J. (1997). Prediction of adult stature and noninvasive assessment of biological maturation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *29*(2), 225–230. <https://doi.org/10.1097/00005768-199702000-00010>
- Blanchet, M., Prince, F., & Messier, J. (2019). Development of postural stability limits: Anteroposterior and mediolateral postural adjustment mechanisms do not follow the same maturation process. *Human Movement Science*, *63*, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.016>
- Briggs, A. M., Smith, A. J., Straker, L. M., & Bragge, P. (2009). Thoracic spine pain in the general population: Prevalence, incidence and associated factors in children, adolescents and adults. A systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *10*, 77. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-10-77>
- Brinums, M., Imuta, K., & Suddendorf, T. (2018). Practicing for the Future: Deliberate Practice in Early Childhood. *Child Development*, *89*(6), 2051–2058. <https://doi.org/10.1111/cdev.12938>
- Brzeziński, M., Czubek, Z., Niedzielska, A., Jankowski, M., Kobus, T., & Ossowski, Z. (2019). Relationship between lower-extremity defects and body mass among polish children: A cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *20*(1), 84. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2460-0>
- Buldt, A. K., Levinger, P., Murley, G. S., Menz, H. B., Nester, C. J., & Landorf, K. B. (2015). Foot posture is associated with kinematics of the foot during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet.: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait & Posture*, *42*(1), 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.03.004>
- Carter, C. W., & Micheli, L. J. (2011). Training the child athlete: Physical fitness, health and injury. *British Journal of Sports Medicine*, *45*(11), 880–885. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090201>
- Casey, B. J., Tottenham, N., Liston, C., & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: What have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(3), 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.01.011>
- Conrad, K. (1963). *Der Konstitutionstypus: Theoretische Grundlegung und Praktische Bestimmung* (Zweite, Veränderte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-86142-0> <https://doi.org/10.1007/978-3-642-86142-0>

- Dumith, S. C., Gigante, D. P., Domingues, M. R., & Kohl, H. W. (2011). Physical activity change during adolescence: A systematic review and a pooled analysis. *International Journal of Epidemiology*, *40*(3), 685–698. <https://doi.org/10.1093/ije/dyq272>
- Evans, A. M., & Karimi, L. (2015). The relationship between paediatric foot posture and body mass index: Do heavier children really have flatter feet? *Journal of Foot and Ankle Research*, *8*, 46. <https://doi.org/10.1186/s13047-015-0101-x>
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., & Myer, G. D. (2013). Youth resistance training: Past practices, new perspectives, and future directions. *Pediatric Exercise Science*, *25*(4), 591–604.
- Faigenbaum, A. D., & Myer, G. D. (2010). Pediatric resistance training: Benefits, concerns, and program design considerations. *Current Sports Medicine Reports*, *9*(3), 161–168. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181de1214>
- Faigenbaum, A. D., Stracciolini, A., & Myer, G. D. (2011). Exercise deficit disorder in youth: A hidden truth. *Acta Paediatrica (Oslo, Norway : 1992)*, *100*(11), 1423-5; discussion 1425. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2011.02461.x>
- Falk, B. (2019). The Safety of Resistance Training in Children-What Do We Really Know! *Pediatric Exercise Science*, *31*(3), 265–266. <https://doi.org/10.1123/pes.2019-0143>
- Falk, B., & Eliakim, A. (2003). Resistance training, skeletal muscle and growth. *Pediatric Endocrinology Reviews : PER*, *1*(2), 120–127.
- Farokhmanesh, K., Shirzadian, T., Mahboubi, M., & Shahri, M. N. (2014). Effect of foot hyperpronation on lumbar lordosis and thoracic kyphosis in standing position using 3-dimensional ultrasound-based motion analysis system. *Global Journal of Health Science*, *6*(5), 254–260. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v6n5p254>
- Farr, S., Kranzl, A., Pablik, E., Kaipel, M., & Ganger, R. (2014). Functional and radiographic consideration of lower limb malalignment in children and adolescents with idiopathic genu valgum. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, *32*(10), 1362–1370. <https://doi.org/10.1002/jor.22684>
- Foss, K. D. B., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2009). Generalized joint laxity associated with increased medial foot loading in female athletes. *Journal of Athletic Training*, *44*(4), 356–362. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.4.356>
- Fransson, P.-A., Tjernström, F., Hafström, A., Magnusson, M., & Johansson, R. (2002). Analysis of short- and long-term effects of adaptation in human postural control. *Biological Cybernetics*, *86*(5), 355–365. <https://doi.org/10.1007/s00422-001-0305-y>

- Froehle, A. W., Grannis, K. A., Sherwood, R. J., & Duren, D. L. (2017). Relationships Between Age at Menarche, Walking Gait Base of Support, and Stance Phase Frontal Plane Knee Biomechanics in Adolescent Girls. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 9(5), 444–454. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2016.07.532>
- Fröhlich, M., Gießing, J., & Strack, A. (2013). *Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen: Hintergründe, Trainingspläne, Übungen* (2nd ed.). Baden-Baden: Tectum Verlag. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=4346767>
- Gabel, L., Macdonald, H. M., Nettlefold, L., & McKay, H. A. (2017). Physical Activity, Sedentary Time, and Bone Strength From Childhood to Early Adulthood: A Mixed Longitudinal HR-pQCT study. *Journal of Bone and Mineral Research: The Official Journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 32(7), 1525–1536. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3115>
- Gasser, T., Rousson, V., Cafilisch, J., & Largo, R. (2007). Quantitative reference curves for associated movements in children and adolescents. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(8), 608–614. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00608.x>
- Gautier, G., Thouvarecq, R., & Larue, J. (2008). Influence of experience on postural control: Effect of expertise in gymnastics. *Journal of Motor Behavior*, 40(5), 400–408. <https://doi.org/10.3200/JMBR.40.5.400-408>
- Gerrig, R. J., Zimbardo, P. G., Graf, R., Mallett, D., Nagler, M., & Ricker, B. (2008). *Psychologie* (18., aktualisierte Auflage). *PS Psychologie*. München: Pearson Studium. Retrieved from <http://d-nb.info/987313053/04>
- Gijon-Nogueron, G., Martinez-Nova, A., Alfigeme-Garcia, P., Montes-Alguacil, J., & Evans, A. M. (2019). International normative data for paediatric foot posture assessment: A cross-sectional investigation. *BMJ Open*, 9(4), e023341. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-023341>
- Gottschling-Lang, A., Franze, M., & Hoffmann, W. (2016). Prävalenzen und Risikofaktoren motorischer Entwicklungsgefährdungen bei 3- bis 6-jährigen Kindergartenkindern in Mecklenburg-Vorpommern (M-V). *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))*, 78(1), 28–33. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1387708>
- Grabara, M. (2014). Anteroposterior curvatures of the spine in adolescent athletes. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 27(4), 513–519. <https://doi.org/10.3233/BMR-140475>
- Groot, C. J. de, van den Berg, A., Ballieux, B. E. P. B., Kroon, H. M., Rings, E. H. H. M., Wit, J. M., & van den Akker, E. L. T. (2017). Determinants of Advanced Bone Age in Childhood Obesity. *Hormone Research in Paediatrics*, 87(4), 254–263. <https://doi.org/10.1159/000467393>

- Haff, G., & Triplett, N. T. (Eds.) (2016). *Essentials of strength training and conditioning* (Fourth edition). Champaign IL: Human Kinetics.
- Han, Y., Duan, D., Zhao, K., Wang, X., Ouyang, L., & Liu, G. (2017). Investigation of the Relationship Between Flatfoot and Patellar Subluxation in Adolescents. *The Journal of Foot and Ankle Surgery : Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 56(1), 15–18. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2016.10.001>
- Hasler, C. C. (2013). Back pain during growth. *Swiss Medical Weekly*, 143, w13714. <https://doi.org/10.4414/smw.2013.13714>
- Haugen, T., & Johansen, B. T. (2018). Difference in physical fitness in children with initially high and low gross motor competence: A ten-year follow-up study. *Human Movement Science*, 62, 143–149. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.10.007>
- Hawke, F., Rome, K., & Evans, A. M. (2016). The relationship between foot posture, body mass, age and ankle, lower-limb and whole-body flexibility in healthy children aged 7 to 15 years. *Journal of Foot and Ankle Research*, 9, 14. <https://doi.org/10.1186/s13047-016-0144-7>
- Hepp, W. R., Debrunner, H. U., & Grosser, W. (2004). *Orthopädisches Diagnostikum: 82 Tabellen* (7., überarb. und aktualisierte Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Hoffmann, A., & Wulff, J. (Eds.) (2018). *Schriftenreihe für angewandte Trainingswissenschaft: Band 10. Die Spitze im Blick: Tagungsband zum gleichnamigen Nachwuchsleistungssport-Symposium vom 8.-10. Mai 2017 in Leipzig*. Aachen: Meyer et Meyer.
- Holden, S., Boreham, C., & Delahunt, E. (2016). Sex Differences in Landing Biomechanics and Postural Stability During Adolescence: A Systematic Review with Meta-Analyses. *Sports Medicine*, 46(2), 241–253. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0416-6>
- Hösl, M., Böhm, H., Multerer, C., & Döderlein, L. (2014). Does excessive flatfoot deformity affect function? A comparison between symptomatic and asymptomatic flatfeet using the Oxford Foot Model. *Gait & Posture*, 39(1), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.05.017>
- Ireland, A., Sayers, A., Deere, K. C., Emond, A., & Tobias, J. H. (2016). Motor Competence in Early Childhood Is Positively Associated With Bone Strength in Late Adolescence. *Journal of Bone and Mineral Research : The Official Journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 31(5), 1089–1098. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2775>
- Jafarnezhadgero, A., Majlesi, M., & Madadi-Shad, M. (2018). The effects of low arched feet on lower limb joints moment asymmetry during gait in children: A cross sectional study. *Foot (Edinburgh, Scotland)*, 34, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2017.11.005>

- Jankowicz-Szymanska, A., Mikolajczyk, E., & Wodka, K. (2017). Correlations Among Foot Arching, Ankle Dorsiflexion Range of Motion, and Obesity Level in Primary School Children. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 107(2), 130–136. <https://doi.org/10.7547/15-150>
- Jankowicz-Szymańska, A., Bibro, M., Wodka, K., & Smola, E. (2019). Does Excessive Body Weight Change the Shape of the Spine in Children? *Childhood Obesity (Print)*, 15(5), 346–352. <https://doi.org/10.1089/chi.2018.0361>
- John, C., Rahlf, A. L., Hamacher, D., & Zech, A. (2019). Influence of biological maturity on static and dynamic postural control among male youth soccer players. *Gait & Posture*, 68, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.10.036>
- Kaspiris, A., Zaphiropoulou, C., & Vasiliadis, E. (2013). Range of variation of genu valgum and association with anthropometric characteristics and physical activity: Comparison between children aged 3-9 years. *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*, 22(4), 296–305. <https://doi.org/10.1097/BPB.0b013e328360f9a5>
- Katić, R., & Bala, G. (2012). Relationships between cognitive and motor abilities in female children aged 10-14 years. *Collegium Antropologicum*, 36(1), 69–77.
- Kempf, H.-D. (2015). *Funktionelles Training mit Hand- und Kleingeräten*. Place of publication not identified: Springer Berlin Heidelberg.
- Khamis, H. J., & Roche, A. F. (1994). Predicting adult stature without using skeletal age: The Khamis-Roche method. *Pediatrics*, 94(4 Pt 1), 504–507.
- Kindel, C., & Challis, J. (2017). Joint moment-angle properties of the hip abductors and hip extensors. *Physiotherapy Theory and Practice*, 33(7), 568–575. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1323357>
- Kothari, A., Dixon, P. C., Stebbins, J., Zavatsky, A. B., & Theologis, T. (2016). Are flexible flat feet associated with proximal joint problems in children? *Gait & Posture*, 45, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.02.008>
- Kraemer, W. J., & Fleck, S. J. (2005). *Strength training for young athletes* (2nd ed.). Champaign, Ill., Leeds: Human Kinetics.
- Kratenová, J., Zejglicová, K., Malý, M., & Filipová, V. (2007). Prevalence and risk factors of poor posture in school children in the Czech Republic. *The Journal of School Health*, 77(3), 131–137. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2007.00182.x>
- Krivickas, L. S. (1997). Anatomical Factors Associated with Overuse Sports Injuries. *Sports Medicine*, 24(2), 132–146. <https://doi.org/10.2165/00007256-199724020-00005>

- Laakso, S., Viljakainen, H., Lipsanen-Nyman, M., Turpeinen, U., Ivaska, K. K., Anand-Ivell, R., Mäkitie, O. (2018). Testicular Function and Bone in Young Men with Severe Childhood-Onset Obesity. *Hormone Research in Paediatrics*, 89(6), 442–449. <https://doi.org/10.1159/000489818>
- Larsen, L. R., Kristensen, P. L., Junge, T., Møller, S. F., Juul-Kristensen, B., & Wedderkopp, N. (2016). Motor Performance as Risk Factor for Lower Extremity Injuries in Children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(6), 1136–1143. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000877>
- Lloyd, R. S., Cronin, J. B., Faigenbaum, A. D., Haff, G. G., Howard, R., Kraemer, W. J., Oliver, J. L. (2016). National Strength and Conditioning Association Position Statement on Long-Term Athletic Development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1491–1509. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001387>
- Lloyd, R. S., Faigenbaum, A. D., Stone, M. H., Oliver, J. L., Jeffreys, I., Moody, J. A., Myer, G. D. (2014). Position statement on youth resistance training: The 2014 International Consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 498–505. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092952>
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2014). *Strength and conditioning for young athletes: Science and application*. London: Routledge, Taylor and Francis Group.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & Ste Croix, M. B. A. de (2014). Chronological age vs. Biological maturation: Implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1454–1464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>
- Macińczyk-Paprocka, K., Stawińska-Witoszyńska, B., Kotwicki, T., Sowińska, A., Krzyżaniak, A., Walkowiak, J., & Krzywińska-Wiewiorowska, M. (2017). Prevalence of incorrect body posture in children and adolescents with overweight and obesity. *European Journal of Pediatrics*, 176(5), 563–572. <https://doi.org/10.1007/s00431-017-2873-4>
- Malina, R. M. (2006). Weight training in youth-growth, maturation, and safety: An evidence-based review. *Clinical Journal of Sport Medicine : Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 16(6), 478–487. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000248843.31874.be>
- Marcovecchio, M. L., & Chiarelli, F. (2013). Obesity and growth during childhood and puberty. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 106, 135–141. <https://doi.org/10.1159/000342545>
- Martínez-Nova, A., Gijón-Noguerón, G., Alfageme-García, P., Montes-Alguacil, J., & Evans, A. M. (2018). Foot posture development in children aged 5 to 11 years: A three-year prospective study. *Gait & Posture*, 62, 280–284. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.032>

- Mauntel, T. C., Frank, B. S., Begalle, R. L., Blackburn, J. T., & Padua, D. A. (2014). Kinematic differences between those with and without medial knee displacement during a single-leg squat. *Journal of Applied Biomechanics*, *30*(6), 707–712. <https://doi.org/10.1123/jab.2014-0003>
- Meinel, K., Schnabel, G., & Krug, J. (Eds.) (2007). *Bewegungslehre - Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11., überarb. und erw. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer. Retrieved from http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=2884103&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- Milone, M. T., Bernstein, J., Freedman, K. B., & Tjousmakaris, F. (2013). There is no need to avoid resistance training (weight lifting) until physeal closure. *The Physician and Sportsmedicine*, *41*(4), 101–105. <https://doi.org/10.3810/psm.2013.11.2041>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *34*(4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>
- Moalej, S., Asadabadi, M., Hashemi, R., Khedmat, L., Tavacolizadeh, R., Vahabi, Z., & Shariatpanahi, G. (2018). Screening of scoliosis in school children in Tehran: The prevalence rate of idiopathic scoliosis. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, *31*(4), 767–774. <https://doi.org/10.3233/BMR-171078>
- Mølgaard, C., Rathleff, M. S., & Simonsen, O. (2011). Patellofemoral pain syndrome and its association with hip, ankle, and foot function in 16- to 18-year-old high school students: A single-blind case-control study. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *101*(3), 215–222. <https://doi.org/10.7547/1010215>
- Morrison, S. C., McClymont, J., Price, C., & Nester, C. [Chris] (2017). Time to revise our dialogue: How flat is the paediatric flatfoot? *Journal of Foot and Ankle Research*, *10*, 50. <https://doi.org/10.1186/s13047-017-0233-2>
- Murray, A. (2017). Managing the Training Load in Adolescent Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(Suppl 2), S242-S249. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0334>
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Chu, D. A., Falkel, J., Ford, K. R., Best, T. M., & Hewett, T. E. (2011). Integrative training for children and adolescents: Techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. *The Physician and Sportsmedicine*, *39*(1), 74–84. <https://doi.org/10.3810/psm.2011.02.1854>
- Myer, G. D., Kushner, A. M., Faigenbaum, A. D., Kiefer, A., Kashikar-Zuck, S., & Clark, J. F. (2013). Training the developing brain, part I: Cognitive developmental considerations for training

- youth. *Current Sports Medicine Reports*, 12(5), 304–310.
<https://doi.org/10.1097/01.CSMR.0000434106.12813.69>
- Myer, G. D., Lloyd, R. S., Brent, J. L., & Faigenbaum, A. D. (2013). How Young is "Too Young" to Start Training? *ACSM's Health & Fitness Journal*, 17(5), 14–23.
<https://doi.org/10.1249/FIT.0b013e3182a06c59>
- Myer, G. D., Quatman, C. E., Khoury, J., Wall, E. J., & Hewett, T. E. (2009). Youth versus adult "weightlifting" injuries presenting to United States emergency rooms: Accidental versus nonaccidental injury mechanisms. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 2054–2060. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b86712>
- Nettle, H., & Sprogis, E. (2011). Pediatric exercise: Truth and/or consequences. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 19(1), 75–80. <https://doi.org/10.1097/JSA.0b013e318209cf2b>
- Niethard, F. U., & Carstens, C. (2010). *Kinderorthopädie: 50 Tabellen* (2., aktualisierte und erw. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Noll, M., Candotti, C. T., Rosa, B. N. d., & Loss, J. F. (2016). Back pain prevalence and associated factors in children and adolescents: An epidemiological population study. *Revista De Saude Publica*, 50. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050006175>
- Organisation mondiale de la santé (2010). *Global recommendations on physical activity for health*. Genève: WHO.
- Osborn, W., Simm, P., Olds, T., Lycett, K., Mensah, F. K., Muller, J., Wake, M. (2018). Bone health, activity and sedentariness at age 11-12 years: Cross-sectional Australian population-derived study. *Bone*, 112, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2018.04.011>
- O'Sullivan, P., Smith, A., Beales, D., & Straker, L. (2017). Understanding Adolescent Low Back Pain From a Multidimensional Perspective: Implications for Management. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 47(10), 741–751.
<https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7376>
- Palad, Y. Y., Leaver, A. M., McKay, M. J., Baldwin, J. N., Lunar, F. R. M., Caube, F. D. M., Simic, M. (2018). Knee thrust prevalence and normative hip-knee-ankle angle deviation values among healthy individuals across the lifespan. *Osteoarthritis and Cartilage*, 26(10), 1326–1332.
<https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.06.009>
- Penha, P. J., Penha, N. L. J., Carvalho, B. K. G. de, Andrade, R. M., Schmitt, A. C. B., & João, S. M. A. (2017). Posture Alignment of Adolescent Idiopathic Scoliosis: Photogrammetry in Scoliosis School Screening. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 40(6), 441–451. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2017.03.013>

- Rusek, W., Baran, J., Leszczak, J., Adamczyk, M., Weres, A., Baran, R., Pop, T. (2018). The Influence of Body Mass Composition on the Postural Characterization of School-Age Children and Adolescents. *BioMed Research International*, 2018, 9459014. <https://doi.org/10.1155/2018/9459014>
- Schwarzfischer, P., Gruszfeld, D., Stolarczyk, A., Ferre, N., Escribano, J., Rousseaux, D., Grote, V. (2019). Physical Activity and Sedentary Behavior From 6 to 11 Years. *Pediatrics*, 143(1). <https://doi.org/10.1542/peds.2018-0994>
- Sherar, L. B., Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., & Thomis, M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *The Journal of Pediatrics*, 147(4), 508–514. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.04.041>
- Shultz, S. P., D'Hondt, E., Fink, P. W., Lenoir, M., & Hills, A. P. (2014). The effects of pediatric obesity on dynamic joint malalignment during gait. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 29(7), 835–838. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.05.004>
- Soares, A. L. A., Kós, L. D., Paes, R. R., Nascimento, J. V., Collins, D., Gonçalves, C. E., & Carvalho, H. M. (2019). Determinants of drop-out in youth basketball: An interdisciplinary approach. *Research in Sports Medicine (Print)*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1586708>
- Tan, V. P., Macdonald, H. M., Gabel, L., & McKay, H. A. (2018). Physical activity, but not sedentary time, influences bone strength in late adolescence. *Archives of Osteoporosis*, 13(1), 31. <https://doi.org/10.1007/s11657-018-0441-9>
- Tong, J. W. K., & Kong, P. W. (2013). Association between foot type and lower extremity injuries: Systematic literature review with meta-analysis. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 43(10), 700–714. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4225>
- Ueno, M., Takaso, M., Nakazawa, T., Imura, T., Saito, W., Shintani, R., Minami, S. (2011). A 5-year epidemiological study on the prevalence rate of idiopathic scoliosis in Tokyo: School screening of more than 250,000 children. *Journal of Orthopaedic Science : Official Journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 16(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s00776-010-0009-z>
- Vandewalle, S., Schepper, J. de, & Kaufman, J.-M. (2015). Androgens and obesity in male adolescents. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes, and Obesity*, 22(3), 230–237. <https://doi.org/10.1097/MED.000000000000160>
- Verloigne, M., Loyen, A., van Hecke, L., Lakerveld, J., Hendriksen, I., Bourdheaudhuij, I. de, van der Ploeg, H. P. (2016). Variation in population levels of sedentary time in European children and adolescents according to cross-European studies: A systematic literature review within

DEDIPAC. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 13, 69.
<https://doi.org/10.1186/s12966-016-0395-5>

Walters, B. K., Read, C. R., & Estes, A. R. (2018). The effects of resistance training, overtraining, and early specialization on youth athlete injury and development. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(9), 1339–1348. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07409-6>

Weineck, J. (2003). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (13. Aufl.). Balingen: Spitta-Verl.

Wojtków, M., Szkoda-Poliszuk, K., & Szotek, S. (2018). Influence of body posture on foot load distribution in young school-age children. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 20(2), 101–107.

Yong, F., Wong, H.-K., & Chow, K.-Y. (2009). Prevalence of adolescent idiopathic scoliosis among female school children in Singapore. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 38(12), 1056–1063.

Zawieja, M., & Oltmanns, K. (2011). *Kinder lernen Krafttraining*. Münster: Philippka-Sportverl.

Zegher, F. de, López-Bermejo, A., & Ibáñez, L. (2018). Central Obesity, Faster Maturation, and 'PCOS' in Girls. *Trends in Endocrinology and Metabolism: TEM*, 29(12), 815–818.
<https://doi.org/10.1016/j.tem.2018.09.005>

Zheng, Y., Wu, X., Dang, Y., Yang, Y., Reinhardt, J. D., & Dang, Y. (2016). Prevalence and determinants of idiopathic scoliosis in primary school children in Beitang district, Wuxi, China. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 48(6), 547–553. <https://doi.org/10.2340/16501977-2098>

Zwolski, C., Quatman-Yates, C., & Paterno, M. V. (2017). Resistance Training in Youth: Laying the Foundation for Injury Prevention and Physical Literacy. *Sports Health*, 9(5), 436–443.
<https://doi.org/10.1177/1941738117704153>

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Boolesche Phrasen aus MeSH-Terms zur groben Suchen nach Risiken des Krafttraining für inaktive Kinder und Jugendliche	5
Tabelle 2: Gegenüberstellung bekannter und von dieser Arbeit postulierten Risiken des Krafttrainings für Kinder und Jugendliche, die keine oder wenig Erfahrung mit Training unter Zusatzlasten haben	29
Tabelle 3: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche mit abweichender Wirbelsäulengeometrie enthalten	32
Tabelle 4: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche mit abweichender Beinachsen enthalten	33
Tabelle 5: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche mit abweichender Fußgewölben enthalten	36
Tabelle 6: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche enthalten, deren Haltung durch Übergewicht beeinträchtigt wird	38
Tabelle 7: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche enthalten, deren Entwicklung durch Übergewicht beeinträchtigt wird	39
Tabelle 8: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche enthalten, die mangelndes Bewegungskönnen an den Tag legen	41
Tabelle 9: Liste der Publikationen, die Implikationen für das Risiko beim Krafttraining für Kinder und Jugendliche enthalten, die eine beeinträchtigte Knochengesundheit in Folge von Bewegungsmangel haben könnten	43
Tabelle 10: Liste der Publikationen, die Rückenschmerzen als möglichen Indikator für ein Risiko beim Krafttraining von Kindern und Jugendlichen darstellen	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1; PRISMA Flussdiagramm mit der Übersicht über die parallel angewandten Suchstrategien. Angepasst nach Moher, Liberati, Tetzlaff, and Altman (2009)	8
Abbildung 2: Standardisierte Referenzkurven für den BMI nach dem Alter für weibliche Kinder und Jugendliche (Organisation mondiale de la santé, 2010).	11
Abbildung 3: Standardisierte Referenzkurven für den BMI nach dem Alter für männliche Kinder und Jugendliche (Organisation mondiale de la santé, 2010).	12
Abbildung 4: Wachstumsraten von Individuen mit früher somatischer Entwicklung, normaler (altersgemäßer) somatischer Entwicklung und später somatischer Entwicklung (Lloyd, Oliver et al., 2014).	24

Abkürzungsverzeichnis

BMI	Body mass index
BWS	Brustwirbelsäule
DVZ	Dehnungsverkürzungszyklus
FM	„Fels Methode“ zur Bestimmung der Reife des Skeletts
GPM	„Greulich-Pyle Methode“ zur Bestimmung der Reife des Skeletts
HGH	Human growth hormon
KGE	Körpergröße im Erwachsenenalter
KJ	Kinder und Jugendliche
KT	Krafttraining
LWS	Lendenwirbelsäule
MeSH	Medical Subject Headings
PHV	Peak hight velocity
TWM	„Tanner-Whitehouse Methode“ zur Bestimmung der Reife des Skeletts

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit gebe ich die Versicherung ab, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt.

Christoph Putz

Wien, 23.2.2020