

REVIEW

Strength training in children and adolescents: science, effects and recommendations

COACHING / GROWTH / MATURATION / SPORTS AND YOUTH



Krafttraining im Kindes- und Jugendalter: Bedeutung, Wirkung und Handlungsempfehlungen

Büsch D¹, Prieske O², Kriemler S³, Puta C⁴, Gabriel H⁴, Granacher U²

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fakultät IV Human- und Gesellschaftswissenschaften, Institut für Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Sport und Training, Oldenburg, Deutschland

² Universität Potsdam, Humanwissenschaftliche Fakultät, Forschungsschwerpunkt Kognitionswissenschaften, Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft, Potsdam, Deutschland

³ Universität Zürich, Institut für Epidemiologie, Biostatistik & Prävention, Gruppe CHIPAH, Zürich, Schweiz

⁴ Friedrich-Schiller-Universität Jena, Lehrstuhl für Sportmedizin und Gesundheitsförderung, Jena,

Deutschland

Abstract

During the last years, muscle strengthening exercises have been included as an essential part in youth physical activity guidelines of national and international health organisations. It is well-documented that strength training is effective in improving physical fitness and promoting health and psycho-social well-being. Therefore, the purpose of this review article is to present empirical evidence on the effectiveness of strength training in children and adolescents. Additionally, and with reference to an established youth physical development model, conceptual and methodological aspects of safe and effective strength training in youth will be discussed and specific practical recommendations will be presented.

Zusammenfassung

In den Bewegungsempfehlungen nationaler wie internationaler Gesundheitsorganisationen wird für Kinder und Jugendliche seit einigen Jahren die verstärkte Förderung der Kraft ausgewiesen. Für ein Krafttraining im Kinder- und Jugendbereich werden positive Effekte auf die Entwicklung der sportlichen und alltagsmotorischen Leistung, Förderung der Gesundheit und des psychosozialen Wohlbefindens berichtet. Auf Grundlage empirischer Befunde werden im vorliegenden Überblicksbeitrag die Wirkungen eines Krafttrainings für Kinder und Jugendliche vorgestellt. Darüber hinaus werden bezugnehmend auf ein ganzheitliches Entwicklungsmodell inhaltliche und methodische Aspekte zur sicheren und effektiven Gestaltung beim Krafttraining mit Heranwachsenden diskutiert und konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Einleitung

Nach den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (World Health Organisation, WHO) sollten junge Menschen, d. h. Kinder und Jugendliche im Alter zwischen 5 und 17 Jahren, täglich mindestens 60 Minuten mit moderater bis intensiver körperlicher Aktivität (moderate- to vigorous-intensity physical activity daily, MVPA) erreichen, um eine gesunde Entwicklung sicherzustellen [45]. Eine darüber hinaus gehende tägliche körperliche Aktivität wird mit einem zusätzlichen gesundheitlichen Nutzen assoziiert, sodass bspw. die deutschen Empfehlungen zur Bewegung und Bewegungsförderung täglich mindestens 90 Minuten für 6- bis 18-jährige Grundschul Kinder und Jugendliche fordern, von denen 60 Minuten auch mit Alltagsaktivitäten, z. B. 12 000 Schritte/Tag, erbracht werden können [39]. Leider konnte in zahlreichen Studien gezeigt werden, dass diese Empfehlungen nur von ungefähr einem Viertel der Kinder und Jugendlichen erreicht werden und die Aktivitätszeiten mit zunehmendem Alter weiter zurückgehen [22,31].

Während bisher der Schwerpunkt bei der körperlichen Aktivität auf die aerobe Leistungsfähigkeit gelegt wurde, zeigt sich seit einigen Jahren ein «Paradigmenwechsel» zur spezifischen Förderung der Kraft durch Krafttraining, um dadurch eine positive körperliche Entwicklung und sportliche Partizipation zu erlangen und einer zu konstatierenden «juvenilen Dynapenie», d. h. einem Verlust von Kraft bereits im Kindesalter entgegenzuwirken [11,12]. Bereits seit 2010 empfiehlt die WHO, neben der aeroben körperlichen Aktivität zusätzlich dreimal in der Woche intensive körperliche Aktivitäten zu integrieren, mit denen die

Muskulatur gekräftigt und die Knochen und Sehnen gestärkt werden [45]. Eine systematische Literaturrecherche in der Datenbank PubMed für den Zeitraum von 1970 bis 2017 und unter Verwendung der Booleschen Operatoren «AND», «OR» und der folgenden Suchsyntax («strength» OR «resistance» OR «strength training» OR «resistance training» OR «weight training» OR «power training» OR «plyometric training» OR «complex training» OR «weight-bearing exercise») AND (child* OR adolescent OR youth OR puberty OR kid* OR teen* OR girl* OR boy*) sowie den Spezifikationen («humans», «child: 6–12 years» und «adolescent: 13–18 years») ergab eine Trefferanzahl von 68.649 Publikationen (siehe Abbildung 1). Dies zeigt deutlich, dass das Forschungsinteresse an der Thematik Kraft und Krafttraining im Kindes- und Jugendalter seit den 1970er-Jahren deutlich gestiegen ist.

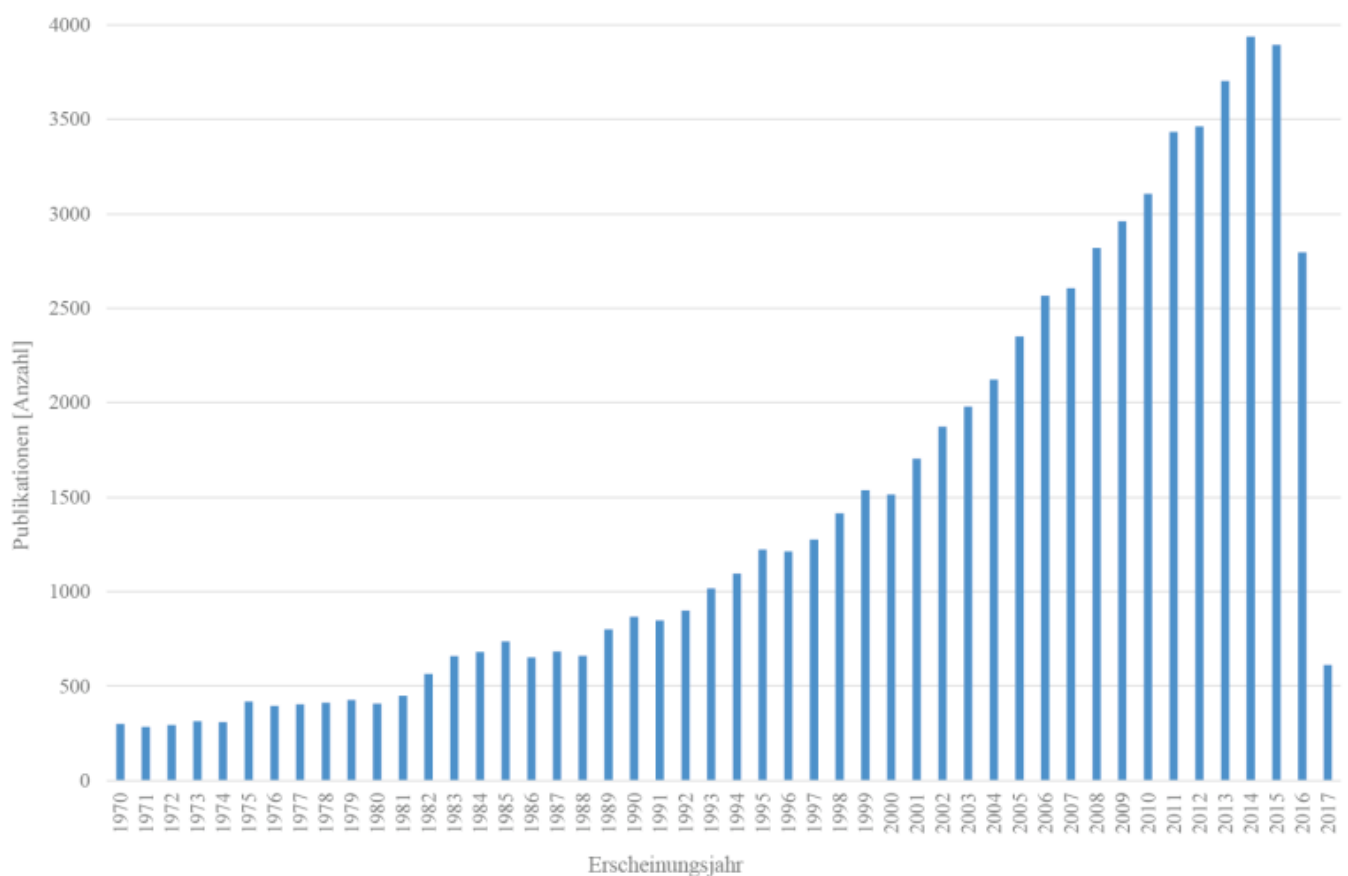


Abbildung 1: Ergebnis einer systematischen PubMed-Recherche zwischen 1970 und 2017 mit einer Gesamttrefferanzahl von 68.649 Publikationen.

Die Zielgrößen eines Krafttrainings im Kinder- und Jugendbereich können in drei übergeordnete Bereiche aufgeteilt werden: (1) Entwicklung der sportlichen und alltagsmotorischen Leistung, (2) Förderung der Gesundheit und (3) des psycho-sozialen Wohlbefindens. Der aktuelle empirische Kenntnisstand dokumentiert (siehe Tabelle 1), dass (ad 1) die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer, die Reaktivkraft, die kardio-respiratorische Fitness (Ausdauer), die Ausführung elementarer und sportmotorischer Bewegungstechniken, die sportartspezifische Leistung, (ad 2) die Körperzusammensetzung, die

Knochendichte, kardio-vaskuläre Faktoren, die Verletzungsprophylaxe, die langfristige Belastungsverträglichkeit, (ad 3) die psychische Gesundheit, das Wohlbefinden und die Einstellung zum lebenslangen Sporttreiben durch ein Krafttraining im Kinder- und Jugendbereich verbessert werden können [8,9,19,33,44]. Des Weiteren ist positiv hervorzuheben, dass ein angeleitetes Krafttraining auch eine extrem geringe Verletzungsinzidenz per se (0,003 Verletzungen pro 100 Stunden Krafttraining mit Adoleszenten) sowie eine deutlich geringere Verletzungsinzidenz im Vergleich zu anderen sportlichen Aktivitäten, z. B. im Fussball 6,2 und im Badminton 0,05 Verletzungen pro 100 Stunden Training/Spiel aufweist [3,13,15,16,20,30,34].

Da die Durchführung eines angeleiteten Krafttrainings im Kindes- und Jugendalter u. a. auch aufgrund eines sich stetig verändernden Freizeitverhaltens nachdrücklich zu fordern ist, fokussieren die aktuellen Fragestellungen auf den potenziellen Krafttrainingsbeginn, die altersadäquaten Krafttrainingsmethoden und -inhalte in Abhängigkeit der individuellen Entwicklung. Im Folgenden soll bezugnehmend auf ein ganzheitliches Entwicklungsmodell [29] mit dem Fokus auf die Kraft gezeigt werden, welche trainingsmethodischen Konsequenzen, z. B. unter Berücksichtigung des biologischen Alters, resultieren und mit welchen Trainingsinhalten und zu welchem Zeitpunkt die Kraftentwicklung systematisch und zielorientiert entwickelt werden kann.

Entwicklungsmodell für das Kinder- und Jugendtraining

Lloyd et al. [29] haben im Überblick der verschiedenen langfristigen Ansätze für die motorische und athletische Entwicklung von Kindern und Jugendlichen ein ganzheitliches Modell extrahiert (siehe Abbildung 2), welches zwar primär auf die Entwicklung von sportlichen Talenten fokussiert, aber durch die Berücksichtigung von gesundheitlichen Aspekten, langfristiger sportlicher Partizipation und Wohlbefinden auch für den gesamten Kinder- und Jugendbereich als Orientierung dienen kann. Ein wesentlicher Aspekt in diesem ganzheitlichen Modell bezieht sich auf die altersgemässe Zuordnung und Priorisierung von psycho-sozialen und körperlichen Entwicklungsinhalten. Dabei ist zu beachten, dass die oftmals gewählte Einordnung in die Altersstufen mittleres Kindesalter, spätes Kindesalter, Jugend- und Erwachsenenalter anhand des kalendarischen Alters nur als grobe Orientierung dienen kann. Differenzierter und für sportliche Belange besser geeignet ist die Orientierung am biologischen Reifegrad, bei dem zwischen der präpubertären, der pubertären sowie der postpubertären Phase unterschieden wird. Diese Unterteilung orientiert sich am Beginn des sogenannten Wachstumsschubs, d. h. an der Phase mit der grössten (erwarteten) Körperhöhenveränderung (Peak Height Velocity, PHV), woraus trainingspraktische Konsequenzen, z. B. bei der Übungsauswahl oder der Belastungshöhe resultieren. Der biologische Reifegrad bzw. der Beginn des Wachstumsschubs kann nicht-invasiv und nicht-röntgenologisch, aber hinreichend genau mit dem Regressionsmodell von Mirwald et al. [32,42] durch die Angaben zum Geschlecht, zum Geburts- sowie Testdatum, zur Körperhöhe stehend, Körperhöhe sitzend sowie der Körpermasse abgeschätzt werden [7,32,41]. Die Berechnung kann für Kinder und Jugendliche im Alter zwischen 8 und 16 Jahren z. B. online für einzelne Personen (https://kinesiology.usask.ca/growthutility/ahp_ui.php) oder offline mit einer kostenfreien Software des Instituts für Angewandte Trainingswissenschaft in Leipzig für grössere Personengruppen mit einem Datenimport durchgeführt (<http://www.iat.uni-leipzig.de/service/downloads/fachbereiche/technik-taktik/biofinal/view>) und heruntergeladen werden.

Auch wenn die psycho-sozialen Inhalte, insbesondere die Motivation zu einem lebenslangen Sporttreiben, sowie die körperlichen Entwicklungsinhalte, Beweglichkeit, Gewandtheit, Schnelligkeit und Ausdauer wichtige Bausteine für die ganzheitliche Entwicklung von Kindern und Jugendlichen darstellen, so lässt sich aus der Abbildung 2 die grosse Bedeutung der unterschiedlichen Kraftdimensionen und -methoden erschliessen, die im Folgenden mit Bezug auf die Wirkungen eines Krafttrainings in den Fokus der weiteren Betrachtungen gestellt werden.

Zielbereich	Komponente	Wirkungsbereich	Kinder	Jugendliche
Sportliche Leistung	Kraftdimensionen	• Maximalkraft	↑	↑
		• Schnellkraft	↑	↑
		• Kraftausdauer	↑	?
		• Sprungkraft	↑	↑
	Elementare Bewegungsfertigkeiten	• Laufen (Sprint)	↑	↑
		• Springen	↑	↑
		• Werfen	↑	↑
	Sportartspezifische Bewegungsfertigkeiten	• Baseball	?	↑
		• Fussball	?	↑
		• Handball	?	↑
		• Schwimmen	?	↑
Gesundheit	Verletzungsprävention	• Verletzungsrate	↑	↑
	Knochenstatus	• Knochendichte	↑	↑
	Körperzusammensetzung	• Körperfettanteil	↑	↑
		• Hautfaldendicke	↑	?
Kardiovaskuläre Faktoren	• Blutlipide	↑	↑	
		• Blutdruck	?	↑
Psycho-soziales Wohlbefinden	Psychosoziale Faktoren	• Selbstkonzept	↔	↑
		• Selbstwirksamkeit	↔	↑
		• Selbstwertgefühl	?	↑

Legende: ↑ = positive, signifikante Wirkung; ↔ = keine signifikante Wirkung; ? = fehlender Wirkungsnachweis.

Tabelle 1: Auswirkungen von Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen auf die sportliche Leistung, die Gesundheit und das psycho-soziale Wohlbefinden (in Anlehnung an [33], S. 40).

Altersstufe	Frühes Kindesalter	Mittleres und spätes Kindesalter	Jugendalter	Erwachsenenalter
Kalendarisches Alter (Jahre) ♂	2-4	5-11	12-20	21+
Kalendarisches Alter (Jahre) ♀	2-4	5-9	10-19	20+
Reifungsphase	Präpubertär (prä PHV)		PHV	Postpubertär (post PHV)
Talententwicklung	Investitionsjahre	Jahre des Ausprobierens	Freizeitjahre Spezialisierungsjahre	
Psycho-soziale Entwicklung	Exploration und soziale Interaktion	Peergroup-Beziehungen, Befähigung, Selbstwirksamkeit	Selbstwert, Selbstbewusstsein sportspezifische psychologische Kompetenzen	
	Motivation zur lebenslangen sportlichen und körperlichen Aktivität			
Körperliche Entwicklung	EBF	EBF	EBF	EBF
	SSF	SSF	SSF	SSF
	Beweglichkeit	Beweglichkeit		Beweglichkeit
	Gewandtheit	Gewandtheit	Gewandtheit	Gewandtheit
	Schnelligkeit	Schnelligkeit	Schnelligkeit	Schnelligkeit
	Schnellkraft	Schnellkraft	Schnellkraft	Schnellkraft
	Kraft*	Kraft*	Kraft*	Kraft*
		Hypertrophie	Hypertrophie	Hypertrophie
Ausdauer und Stoffwechszustand	Ausdauer und Stoffwechszustand	Ausdauer und Stoffwechszustand	Ausdauer und Stoffwechszustand	Ausdauer und Stoffwechszustand

PHV: Peak-Height-Velocity (Zeitpunkt des Eintritts in den Wachstumsschub)
 EBF: Elementare Bewegungsfertigkeiten
 SSF: Sportspezifische Fertigkeiten
 *: Kraftausdauer und Maximalkraft
 Hinweise zum Modell: Die unterschiedliche Größe der Begriffe verdeutlicht die Gewichtung. Eine größere Schriftgröße zeigt eine entsprechend höhere Gewichtung an. Die Schattierungen kennzeichnen eine unterschiedliche Gewichtung in den differenzierten Reifungsphasen (prä PHV, PHV, post PHV).

Abbildung 2: Ganzheitliches motorisches Entwicklungsmodell im Kindes- und Jugendalter (in Anlehnung an [29]).

Wirkungen von Krafttraining im Entwicklungsverlauf

Ein altersgerechtes Krafttraining führt sowohl im präpubertären (Mädchen: 11–12 Jahre; Jungen: 13–14 Jahre) als auch im pubertären Alter (Mädchen: 12–18 Jahre; Jungen: 14–18 Jahre) zu Kraftsteigerungen im Bereich von 10–40% [2,17,35]. Aus einer meta-analytischen Perspektive handelt es sich hierbei um grosse Effekte durch ein Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen zur Verbesserung des Kraftniveaus gegenüber einer vergleichbaren Kontrollgruppe [2]. Jedoch sind bei der Bewertung bestimmte Faktoren wie das biologische Alter, das Geschlecht, die Trainingsmethode, die Belastungsgestaltung (Belastungshöhe, Belastungsdauer) oder die trainierten Muskelgruppen zu beachten, die die unterschiedlichen Zuwachsraten beeinflussen können. Beispielsweise fallen die Krafttrainingseffekte in Bezug auf die absoluten Verbesserungen bei postpubertären Jungen grösser als bei präpubertären Jungen aus. Demgegenüber unterscheiden sich die relativen Kraftzuwachsrate, d. h. der Kraftgewinn in Relation zur Körpermasse, in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen nicht bedeutsam [27].

Auch für den Nachwuchsleistungssport konnte anhand einer Meta-Analyse von Lesinski et al. [26] sowie eines Literaturüberblicks von Granacher et al. [19] gezeigt werden, dass ein Krafttraining – unabhängig von Alter, Geschlecht und Trainingsform – zu bedeutsamen Kraftzuwächsen führt. Die Bedeutsamkeit der Kraftzuwächse kann mit Hilfe von standardisierten Effektgrössen (EG) berechnet werden. Die Klassifizierung der EG erfolgt zielgruppenspezifisch (Personen mit kontinuierlicher ein- bis fünfjähriger Krafttrainingserfahrung) für das Krafttraining in Anlehnung an Rhea [38]: $EG < 0,35$ = trivialer Effekt, $0,35$

$\leq EG < 0,80$ = kleiner Effekt, $0,80 \leq EG < 1,50$ = mittlerer Effekt und $EG \geq 1,50$ = grosser Effekt.

Effekte von Krafttraining auf die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie auf sportartspezifische Leistungen in Abhängigkeit vom kalendarischen Alter

Unter Berücksichtigung des kraftspezifischen Klassifikationsschemas sind mittlere Effekte auf die Maximal- (EG = 1,09) und Schnellkraft (EG = 0,80) sowie kleine Effekte auf die Kraftausdauer (EG = 0,57) und auf sportartspezifische Leistungen (z. B. Wurfgeschwindigkeit; EG = 0,75) zu konstatieren. Die Subanalysen unter Berücksichtigung des Faktors kalendarisches Alter ergaben für die Maximalkraft im Kindes- (EG = 1,35) und im Jugendalter (EG = 0,91) mittlere Effekte. Für die Schnellkraft konnten kleine (Kinder: EG = 0,78) bis mittlere (Jugendliche: EG = 0,85) Effekte und für die Kraftausdauer triviale Effekte (Kinder: k. A. [keine Angaben möglich, da entweder keine oder ≤ 2 Studien vorliegen], Jugendliche: EG = 0,19) ermittelt werden. In Bezug auf sportartspezifische Leistungen zeigte sich eine praktisch bedeutsame Tendenz zu altersspezifischen Wirkungen (Kinder: EG = 0,50; Jugendliche: EG = 1,03) zugunsten von Athleten im Jugendalter (siehe Abbildung 3).

Effekte von Krafttraining auf die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie auf sportartspezifische Leistungen in Abhängigkeit vom biologischen Alter

In Abhängigkeit des Faktors biologisches Alter, das z. B. über das Regressionsmodell von Mirwald et al. [32,42] bestimmt werden kann, zeigen sich für die Maximalkraft kleine Effekte (präpubertär: k. A.; [post-]pubertär: EG = 0,61) und für die Schnellkraft mittlere Effekte (präpubertär: EG = 0,91; [post-]pubertär: EG = 1,15). Aufgrund einer unzureichenden Studienanzahl (≤ 2 Studien) war es für präpubertäre und (post-)pubertäre Athleten nicht möglich, Effektgrößen für die Kraftausdauer zu berechnen (siehe Abbildung 4).

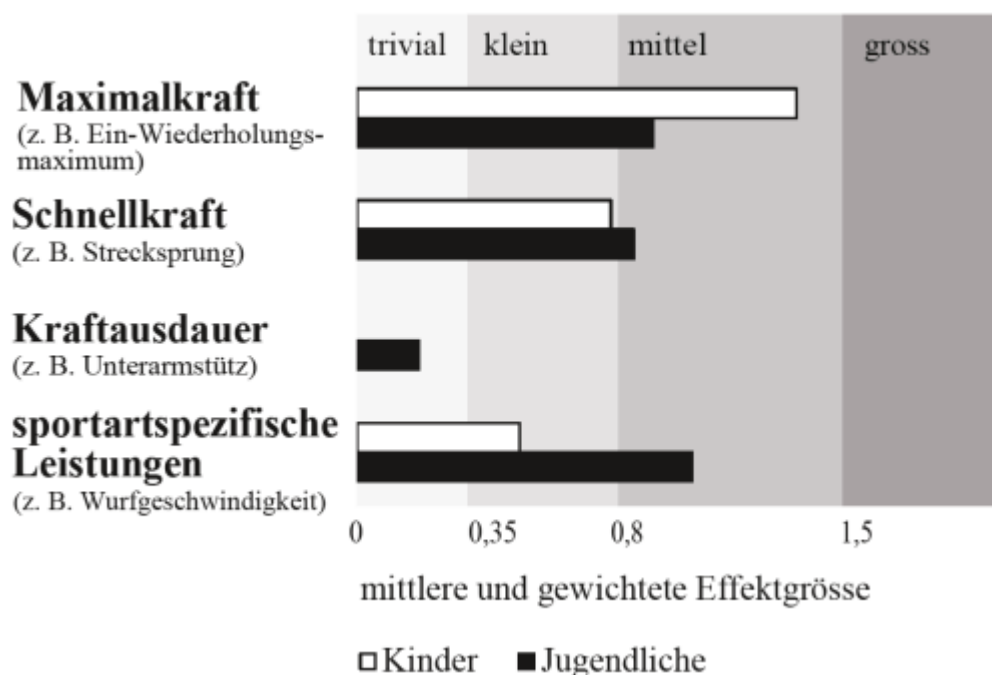


Abbildung 3: Effekte von Krafttraining bei Nachwuchsathletinnen und -athleten auf die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie auf sportartspezifische Leistungen

in Abhängigkeit vom kalendarischen Alter. Fehlende Balken verweisen auf nicht vorhandene oder zu wenige (≤ 2 Studien) Studienergebnisse (modifiziert nach [19, 25, 26]).

Effekte von Krafttraining auf die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie auf sportartspezifische Leistungen in Abhängigkeit vom Geschlecht

Im Hinblick auf die Subkategorie Geschlecht konnten für die Maximalkraft mittlere Effekte (Mädchen: k. A.; Jungen: EG = 1,21), für die Schnellkraft kleine (Mädchen: EG = 0,61) bis mittlere (Jungen: EG = 0,85) Effekte und für die Kraftausdauer kleine Effekte (Mädchen: k. A.; Jungen: EG = 0,77) berechnet werden (siehe Abbildung 5).

Effekte von Krafttraining auf die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie auf sportartspezifische Leistungen in Abhängigkeit von der Trainingsform

Die Subanalyse für unterschiedliche Trainingsformen ergab ein uneinheitliches Bild. Zum Beispiel wurden für die Verbesserung der Maximalkraft praktisch bedeutsame Effekte, d. h. höhere Wirkungen zugunsten des Krafttrainings mit Freihanteln (EG = 2,97) gegenüber einem Krafttraining an Maschinen (EG = 0,36), einem Krafttraining an Maschinen in Kombination mit Freihanteln (EG = 1,16), einem funktionellen Training (EG = 0,62) und einem Reaktivkrafttraining (EG = 0,39) gefunden. Im Hinblick auf die Steigerung sportartspezifischer Leistungen offenbarten sich höhere resp. praktisch bedeutsame Wirkungen zugunsten eines Komplextrainings (EG = 1,85) im Vergleich zu einem Krafttraining an Maschinen (EG = 0,30), einem funktionellen Training (EG = 0,79) und einem Reaktivkrafttraining (EG = 0,74) (siehe Abbildung 6).

Zusammenfassend ist unabhängig vom Alter, Geschlecht und der Trainingsform zu konstatieren, dass ein angeleitetes Krafttraining im Kindes- und Jugendalter für die Zielgrößen (1) Entwicklung der sportlichen und alltagsmotorischen Leistung, (2) Förderung der Gesundheit und (3) des psycho-sozialen Wohlbefindens grundsätzlich empfehlenswert erscheint.

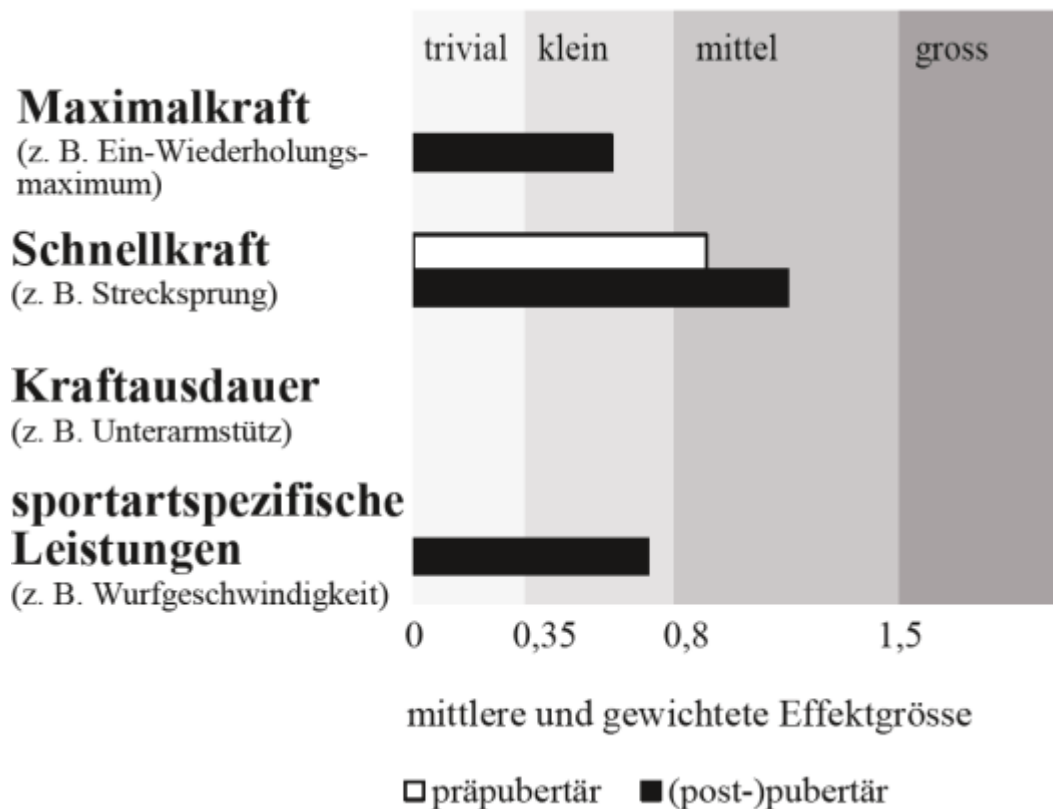


Abbildung 4: Effekte von Krafttraining bei Nachwuchsathletinnen und -athleten auf die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie auf sportartspezifische Leistungen in Abhängigkeit vom biologischen Alter. Fehlende Balken verweisen auf nicht vorhandene oder zu wenige (≤ 2 Studien) Studienergebnisse (modifiziert nach [19, 25, 26]).

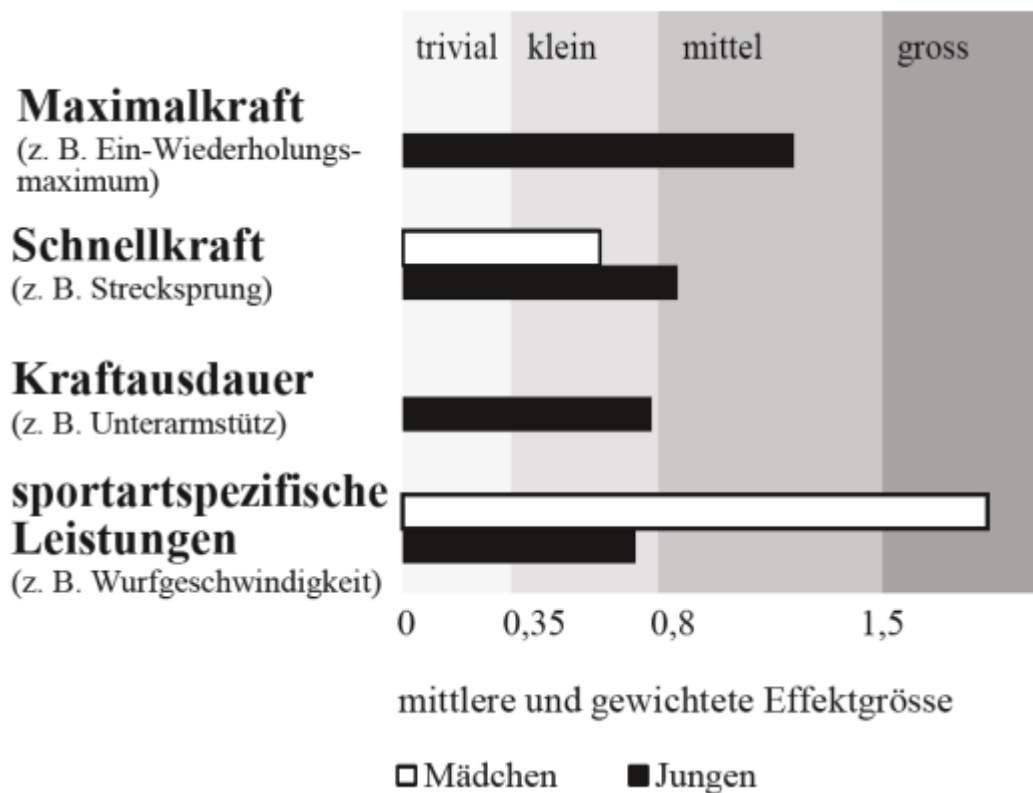
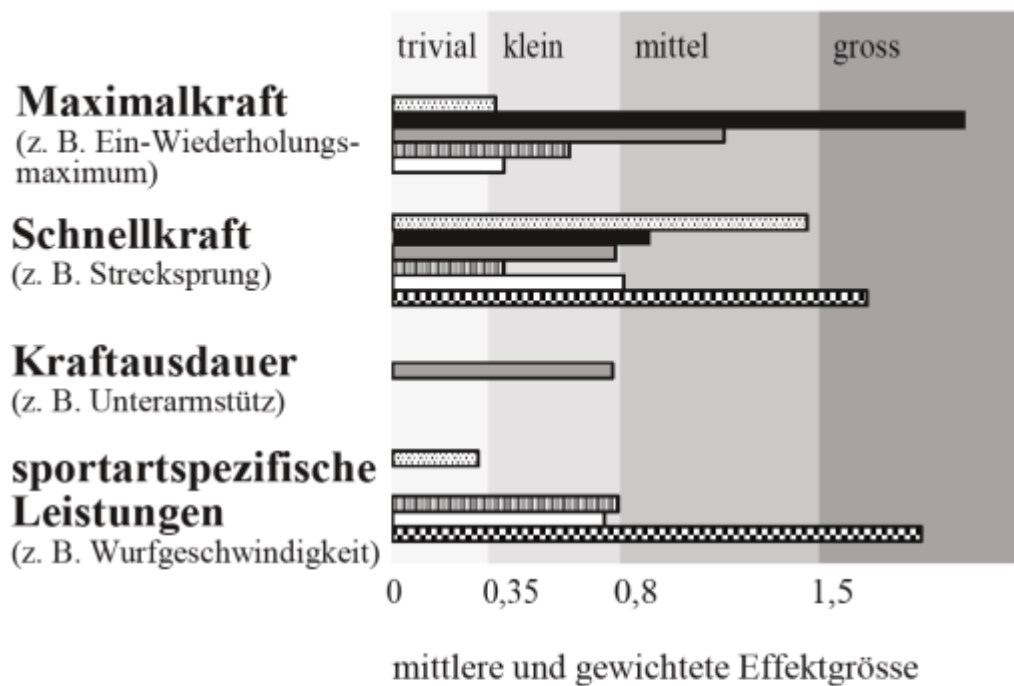


Abbildung 5: Effekte von Krafttraining bei Nachwuchsathletinnen und -athleten auf die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie auf sportartspezifische Leistungen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Fehlende Balken verweisen auf nicht vorhandene oder zu wenige (≤ 2 Studien) Studienergebnisse (modifiziert nach [19, 25, 26]).



- ▣ Krafttraining an Maschinen
- Krafttraining mit Freihanteln
- ▤ Krafttraining an Maschinen und mit Freihanteln
- ▨ Funktionelles Training
- Reaktivkrafttraining
- ▩ Komplextraining

Abbildung 6: Effekte von Krafttraining bei Nachwuchsathletinnen und -athleten auf die Maximal-/Schnellkraft, die Kraftausdauer sowie auf sportartspezifische Leistungen in Abhängigkeit von der Trainingsform. Fehlende Balken verweisen auf nicht vorhandene oder zu wenige (≤ 2 Studien) Studienergebnisse (modifiziert nach [19, 25, 26]).

Empfehlungen für das Krafttraining im Entwicklungsverlauf

Unter Berücksichtigung der bisherigen Ausführungen sollten bei der Konzeption eines Krafttrainings mit Kindern und Jugendlichen sowie Nachwuchsathletinnen und -athleten die Faktoren kalendarisches und biologisches Alter, Geschlecht und Trainingsform berücksichtigt werden. Diese Erkenntnisse wurden von einem Expertenkonsortium aufgegriffen und in Anlehnung an das Modell zur ganzheitlichen Entwicklung im Kindes- und Jugendalter [29] in ein konzeptionelles Modell zur Implementierung von Krafttraining im Entwicklungsverlauf überführt [19] (siehe Abbildung 7).

Mittleres Kindesalter	Spätes Kindesalter	Jugendalter	Erwachsenenalter
<i>Kalendarisches Alter</i>			
weiblich: 5/6-8/9 Jahre männlich: 5/6-9/10 Jahre	weiblich: 8/9-9/10 Jahre männlich: 9/10-12/13 Jahre	weiblich: 10/11-18/19 Jahre männlich: 12/13-19/20 Jahre	weiblich: >19 Jahre männlich: >20 Jahre
<i>Reifungsphase</i>			
präpubertär (vor PHV)	präpubertär (vor PHV)	pubertär (während PHV)	postpubertär (nach PHV)
<i>Etappe im langfristigen Leistungsaufbau</i>			
Grundlagentraining	Aufbautraining	Anschlussstraining	Hochleistungstraining
<i>Langfristige Entwicklung der Muskelkraft (Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer)</i>			
gering Krafttrainingskompetenz (bezogen auf die Ausführungstechnik von Kraftübungen) hoch			
<ul style="list-style-type: none"> - Gewandtheitstraining - Gleichgewichtstraining - Koordinationstraining - Kraftausdauertraining mit dem eigenen Körpergewicht oder Zusatzgeräten (z. B. Medizinball) und dem Fokus auf die richtige Ausführungstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> - Gleichgewichtstraining - Reaktivkrafttraining in Form von spielerischem Üben (z. B. Seilspringen) mit dem Fokus auf die richtige Sprung- und Landetechnik - Rumpfkrafttraining - Kraftausdauertraining mit dem eigenen Körpergewicht oder Zusatzgeräten (z. B. Medizinball) - Freihanteltraining mit dem Fokus auf die richtige Ausführungstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> - Gleichgewichtstraining - Reaktivkrafttraining (Niedersprünge von geringen Höhen) - Rumpfkrafttraining - Freihanteltraining mit leichten bis mittleren Lasten - Maximalkrafttraining (Hypertrophie) - Sehnenadaptationstraining, z. B. isometrisches Krafttraining - Sportartspezifisches Krafttraining 	<ul style="list-style-type: none"> - Gleichgewichtstraining - Reaktivkrafttraining (Niedersprünge von mittleren Höhen) - Rumpfkrafttraining - Freihanteltraining mit mittleren bis hohen Lasten - Maximalkrafttraining (neuromuskuläre Koordination und Hypertrophie) - Sportartspezifisches Krafttraining
<i>Trainingsbedingte Anpassungen</i>			
Neuronale Anpassungen		Hormonelle, neuronale, muskuläre, tendinöse und skeletale Anpassungen	

Abbildung 7: Konzeptionelles Modell zur Implementierung verschiedener Krafttrainingsformen in das Entwicklungsrahmenmodell (modifiziert nach [19, 25, 28]).

Aus diesem Modell geht hervor, dass ein Krafttraining in seinen unterschiedlichen Ausprägungsformen, z. B. Komplextraining, Hypertrophietraining, Reaktivkrafttraining, Rumpfkrafttraining usw. zur Steigerung der Muskelkraft, d. h. der Maximal-/Schnellkraft sowie der Kraftausdauer in allen Etappen einer langfristigen Leistungsentwicklung durchgeführt werden kann (siehe im Detail die Trainingsformen in Abbildung 7). Darüber hinaus kommt dem Gleichgewichtstraining als krafttrainingsvorbereitende sowie krafttrainingsunterstützende Massnahme in allen Etappen eine bedeutsame Rolle zu [24]. So konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass (i) die Anordnung von Gleichgewichts- vor Reaktivkrafttraining (jeweils vier Wochen) bei Athleten (12–13 Jahre) zu grösseren Leistungszuwächsen (z. B. Reaktivkraftindex) als die umgekehrte Reihung [21] und (ii) die Anordnung von Gleichgewichts- vor Reaktivkrafttraining sowie ein alternierendes Gleichgewichts- und Reaktivkrafttraining über acht Wochen zu vergleichbaren Leistungszuwächsen von > 30% bei durchschnittlich 14-jährigen Athleten [5] führte. Für eine methodisch sinnvolle Gestaltung von Krafttrainingsmassnahmen, insbesondere mit Kindern, aber auch mit Jugendlichen sollten die folgenden Expertenempfehlungen als initiale allgemeine Handlungsorientierung beachtet werden [33]:

- Erst leichte, dann schwere Widerstände verwenden!
- Erst Einsatztraining, dann Mehrsatztraining!
- Erst die Armmuskulatur, dann die Bein- und Rumpfmuskulatur trainieren!
- Erst grosse, dann kleine Muskelgruppen trainieren!
- Erst mehrgelenkige, dann eingelenkige Übungen ausführen!
- Koordinativ herausfordernde Übungen zu Beginn einer Trainingseinheit, d. h. im «ermüdungsfreien» Zustand durchführen!

- Eine ausgeglichene Übungsverteilung für Agonisten und Antagonisten, z. B. durch ein Training der Beinstrecker und Beinbeuger vornehmen!

Für die konkrete Festlegung der Belastungsgrößen kann aus Meta-Analysen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung abgeleitet werden, dass die Modulation der einzelnen Belastungsparameter vor allem für die Entwicklung der Maximalkraft entscheidend ist [26]. Es empfiehlt sich daher, ein langfristiges Krafttraining zu planen und durchzuführen (> 23 Wochen), eine relative Belastungshöhe von 80–89% des Ein-Wiederholungsmaximums zu verwenden, 5 Sätze pro Übung und 6–8 Wiederholungen pro Satz zu realisieren sowie 3–4 Minuten Satzpause einzuhalten, um grösstmögliche Zuwächse in der Maximalkraft zu erreichen. Diese Dosis-Wirkungs-Beziehungen stellen eine empirisch evaluierte Empfehlung zur Belastungsdosierung für das Krafttraining im Kinder- und Jugendbereich dar, die aber individualisiert, d. h. insbesondere in Abhängigkeit vom biologischen Alter, aber auch vom Geschlecht sowie vom Trainings- resp. Leistungszustand angepasst werden muss (siehe Tabelle 2).

Eine wesentliche Voraussetzung bei allen trainingsmethodischen Überlegungen ist – und dies kann gar nicht oft genug eingefordert werden – eine technisch einwandfreie Bewegungsausführung, bevor die Durchführung moderater und intensiver Kraftübungen erfolgt. Darüber hinaus empfiehlt es sich, neben den zuvor genannten Belastungsgrößen auch subjektive Beanspruchungsparameter (z. B. Anstrengungsskalen) zur Steuerung des Krafttrainings einzusetzen [4,14,40].

Zusammenfassung für das Krafttraining im Kinder- und Jugendbereich

In Anlehnung an die aktuellen Überblicksarbeiten [1,19,25,37] ist bei einer empfehlenswerten Priorisierung von Kraft und Krafttraining im Kindes- und Jugendalter festzuhalten:

- Krafttraining ist eine effektive Massnahme zur Steigerung der Muskelkraft, d. h. der Maximal-/Schnellkraft sowie der Kraftausdauer. Die Wirksamkeit von Krafttraining scheint dabei alters-, geschlechts- und trainingsformspezifisch zu sein.
- Krafttraining mit Freihanteln ist effektiver zur Verbesserung der Maximalkraft als Maschinentraining, Maschinentraining in Kombination mit Freihanteln, funktionelles und Reaktivkrafttraining.
- Krafttraining zeigt bedeutsam höhere Wirkungen auf sportartspezifische Leistungen bei Athletinnen und Athleten im Jugend- gegenüber dem Kindesalter.
- Krafttraining zeigt bedeutsam höhere Wirkungen auf sportartspezifische Leistungen von Athletinnen gegenüber Athleten.
- Komplextraining ist effektiver als Maschinentraining, funktionelles und Reaktivkrafttraining zur Verbesserung sportartspezifischer Leistungen.
- Das konzeptionelle Modell zum Krafttraining im langfristigen Leistungsaufbau (Abbildung 7) dient als Orientierung zur Auswahl geeigneter Trainingsformen im (körperlichen) Entwicklungsverlauf und bedarf einer tiefergehenden empirischen Evaluation.
- Effektive, voneinander unabhängig berechnete Dosis-Wirkungs-Beziehungen von Krafttraining zur Verbesserung der Maximalkraft im Nachwuchssport sind: Trainingsperiode: > 23 Wochen, Trainingsintensität: 80–89% des Ein-Wiederholungsmaximums, 5 Sätze pro Übung, 6–8 Wiederholungen pro Satz, 3–4 Minuten Satzpause. Voraussetzung für die Umsetzung dieser Belastungsparameter ist eine technisch einwandfreie Bewegungsausführung.

Schlussbemerkung

Während noch in den 1970er- und 1980er-Jahren die Empfehlungen zur körperlichen Aktivität von Kindern und Jugendlichen die Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit präferierten, sollte sich der inhaltliche Fokus zur körperlichen Aktivität zunehmend auf die Kraft verlagern [12]. Ein bedeutsamer Grund könnte daraus abgeleitet werden, dass früher noch ausreichend Kraft-, aber unzureichende Ausdauerreize durch die Aktivitäten im Alltag von Kindern und Jugendlichen gegeben waren, wohingegen heute körperliche Freizeitaktivitäten mit unterschiedlichen Kraftanforderungen wie Klettern, Hangeln, Drücken rückläufig sind [6,23,43]. Entsprechend müssen notwendige Kraftvoraussetzungen zur Bewegungsausführung, auch für Ausdauerbelastungen wie z. B. Laufen, durch ein entsprechendes Krafttraining entwickelt bzw. ausgebildet werden. Ein angeleitetes altersgerechtes Krafttraining wäre demnach als Kompensation fehlender körperlicher Freizeitaktivitäten zu verstehen. Es würde die gesunde körperliche Entwicklung effektiv unterstützen und müsste insbesondere durch Schule und Sportverein gefördert werden. Die Prüfung dieser nicht einmal besonders «gewagten Hypothese» [36] könnte sowohl für die allgemeine Entwicklung als auch im Speziellen für die Bedeutung des Krafttrainings im Kindes- und Jugendalter ein vielversprechendes Forschungsfeld eröffnen [12].

Belastungsgrößen	Empfehlungen für das Kindesalter (Präpubeszenz) respektive Krafttrainingsanfänger	Empfehlungen für das Jugendalter (Pubeszenz) respektive Krafttrainingsfortgeschrittene
Umfang	<ul style="list-style-type: none"> • 4–12 Wochen (optimal 8 Wochen) • ca. 30 min pro Trainingseinheit • 6–8 Übungen pro Trainingseinheit • 1–2 Serien mit 15–20 Wiederholungen oder variable Wiederholungsanzahl 	<ul style="list-style-type: none"> • 4–12 Wochen (je nach Zielsetzung des Trainings) • ca. 45 min pro Trainingseinheit • 8–10 Übungen pro Trainingseinheit • 1–3 Serien mit 6–12(20) Wiederholungen (je nach Zielsetzung)
Serienpause	<ul style="list-style-type: none"> • keine Angaben 	<ul style="list-style-type: none"> • 1–2 min (je nach Zielsetzung)
Häufigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • [1–]2 Trainingseinheiten pro Woche 	<ul style="list-style-type: none"> • 2–3 Trainingseinheiten pro Woche
Intensität	<ul style="list-style-type: none"> • Regulierung über die maximale Wiederholungszahl (15–20 1RM) oder: • Regulierung über das subjektive Anstrengungsempfinden. Nach Faigenbaum et al. [14] sollten Kinder auf einer Skala von 1–10 den Wert 6 angeben oder: • Regulierung über das 1RM im Leistungssport ($\leq 60\%$ 1RM) • Progression zuerst über die Wiederholungszahl, dann über die Serienzahl und schlussendlich über die Lasterhöhung. • Die Last (Belastungshöhe) sollte 14-tägig angepasst werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regulierung über die maximale Wiederholungszahl (15–20 1RM) oder: • Regulierung über das subjektive Anstrengungsempfinden. Nach Faigenbaum et al. [14] sollten Jugendliche auf einer Skala von 1–10 den Wert 7 angeben oder: • Regulierung über das 1RM im Leistungssport ($\leq 80\%$ 1RM) • Progression zuerst über die Wiederholungszahl, dann über die Serienzahl und schlussendlich über die Lasterhöhung. • Die Last (Belastungshöhe) sollte 2–4-wöchig angepasst werden.
Bewegungsgeschwindigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • langsam bis moderat 	<ul style="list-style-type: none"> • langsam bis moderat • im Leistungssport auch schnell bei kontrollierter Technik
<p>Legende: min = Minuten; 1RM = one repetition maximum oder Ein-Wiederholungsmaximum (d. h. die Last, die nur einmal über die gesamte Bewegungsamplitude bewegt werden kann)</p>		

Tabelle 2: Allgemeine Empfehlungen für die Belastungsgestaltung im Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen (in An-lehnung an [10, 18, 26]).

Dank

Die Autoren möchten dem Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des WVL-Projekts «Krafttraining im Nachwuchsleistungssport» (KINGS-Studie) danken (ZMV11-08190114-18).

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. habil. Urs Granacher
Universität Potsdam
Forschungsschwerpunkt
Kognitionswissenschaften
Humanwissenschaftliche Fakultät
Professur für Trainings-
und Bewegungswissenschaft
Am Neuen Palais 10, Haus 12
14469 Potsdam
urs.granacher@uni-potsdam.de



Literatur

1. Behm, DG, Young, JD, Whitten, JHD, Reid, JC, Quigley, PJ, Low, J, Li, Y, Lima, CD, Hodgson, DD, Chaouachi, A, Prieske, O, and Granacher, U. Effectiveness of Traditional Strength vs. Power Training on Muscle Strength, Power and Speed with Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*. 8, 2017.
2. Behringer, M, vom Heede, Andreas, Yue, Z, and Mester, J. Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics*. 126:1199-1210, 2010.
3. Brown, EW and Kimball, RG. Medical history associated with adolescent powerlifting. *Pediatrics*. 72:636-644, 1983.
4. Büsch, D, Pabst, J, Naundorf, F, Braun, J, Marschall, F, Schumacher, K, Wilhelm, A, and Granacher, U. Subjektive Beanspruchung im Krafttraining. In: *Krafttraining: Kraftvoll durchs Leben»: Jahrestagung der dvs-Sektion Trainingswissenschaft vom 28.–30. Mai 2015 in Potsdam (Abstractband)*. U. Granacher (Ed.) Potsdam: Uni-Print, 2015,p.13.
5. Chaouachi, M, Granacher, U, Makhlof, I, R., H, Behm, DG, and Chaouachi, A. Within session sequence of balance and plyometric exercises does not affect training adaptations with youth soccer athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*. 16:125-136 2017.
6. Cohen, DD, Voss, C, Taylor, MJD, Delextrat, A, Ogunleye, AA, and Sandercock, GRH. Ten-year secular changes in muscular fitness in English children. *Acta Paediatrica*. 100:e175-e177, 2011.
7. Engebretsen, L, Steffen, K, Bahr, R, Broderick, C, Dvorak, J, Janarv, P-M, Johnson, A, Leglise, M, Mamisch, TC, McKay, D, Micheli, L, Schamasch, P, Singh, GD, Stafford, DEJ, and Steen, H. The International Olympic Committee Consensus Statement on age determination in high-level young

- athletes. *British Journal of Sports Medicine*. 44:476-484, 2010.
8. Faigenbaum, A and Chu, DA. Plyometric training for children and adolescents Indianapolis, IN: American College of Sports Medicine, 2017.
 9. Faigenbaum, AD. State of the Art Reviews: Resistance Training for Children and Adolescents: Are There Health Outcomes? *American Journal of Lifestyle Medicine*. 1:190-200, 2007.
 10. Faigenbaum, AD, Lloyd, RS, MacDonald, J, and Myer, GD. Citius, Altius, Fortius: beneficial effects of resistance training for young athletes. *British Journal of Sports Medicine*. Published online first 18 June 2015, 2015.
 11. Faigenbaum, AD, Lloyd, RS, and Myer, GD. Youth resistance training: Past practices, new perspectives, and future directions. *Pediatric Exercise Science*. 25:591-604, 2013.
 12. Faigenbaum, AD and MacDonald, JP. Dynapenia: it's not just for grown-ups anymore. *Acta Paediatrica*. 106:696-697, 2017.
 13. Faigenbaum, AD and McFarland, J. Relative safety of weightlifting movements for youth. *Strength and Conditioning Journal*. 30:23-25, 2008.
 14. Faigenbaum, AD, Milliken, LA, and Cloutier, G. Perceived exertion during resistance exercise by children. *Perceptual and Motor Skills*. 98:627-637, 2004.
 15. Faigenbaum, AD and Myer, GD. Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects. *British Journal of Sports Medicine*. 44:56-63, 2010.
 16. Faigenbaum, AD, Myer, GD, Naclerio, F, and Casas, AA. Injury trends and prevention in youth resistance training. *Strength and Conditioning Journal*. 33:36-41, 2011.
 17. Falk, B and Tenenbaum, G. The Effectiveness of Resistance Training in Children: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 22:176-186,1996.
 18. Granacher, U, Kriemler, S, Gollhofer, A, and Zahner, L. Neuromuskuläre Auswirkungen von Krafttraining im Kindes- und Jugendalter: Hinweise für die Trainingspraxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 60:41-49, 2009.
 19. Granacher, U, Lesinski, M, Büsch, D, Muehlbauer, T, Prieske, O, Puta, C, Gollhofer, A, and Behm, DG. Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Frontiers in Physiology*. 7:164, 2016.
 20. Hamill, BP. Relative safety of weightlifting and weight training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 8:53-57, 1994.
 21. Hammami, R, Granacher, U, Makhlof, I, Behm, DG, and Chaouachi, A. Sequencing Effects of Balance and Plyometric Training on Physical Performance in Youth Soccer Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 30:3278-3289, 2016.
 22. Kalman, M, Inchley, J, Sigmundova, D, Iannotti, RJ, Tynjälä, JA, Hamrik, Z, Haug, E, and Bucksch, J. Secular trends in moderate-to-vigorous physical activity in 32 countries from 2002 to 2010: a cross-national perspective. *European Journal of Public Health*. 25:37-40, 2015.
 23. Laurson, KR, Saint-Maurice, PF, Welk, GJ, and Eisenmann, JC. Reference curves for field tests of musculoskeletal fitness in U.S. children and adolescents: The 2012 NHANES National Youth Fitness Survey. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Publish Ahead of Print, 2016.
 24. Lesinski, M, Hortobagyi, T, Muehlbauer, T, Gollhofer, A, and Granacher, U. Dose-response relationships of balance training in healthy young adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 45:557-576, 2015.
 25. Lesinski, M, Mühlbauer, T, Prieske, O, Büsch, D, Gollhofer, A, Puta, C, Behm, DG, and Granacher, U. Krafttraining im Nachwuchsleistungssport. *Leistungssport*. 46:11-14, 2016.
 26. Lesinski, M, Prieske, O, and Granacher, U. Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 50:781-795, 2016.
 27. Lloyd, RS and Oliver, JL (Eds.). *Strength and conditioning for young athletes*. Abingdon, Oxon:

- Routledge, 2014.
28. Lloyd, RS and Oliver, JL. The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development. *Strength & Conditioning Journal*. 34:61-72, 2012.
 29. Lloyd, RS, Oliver, JL, Faigenbaum, AD, Howard, R, De Ste Croix, MBA, Williams, CA, Best, TM, Alvar, BA, Micheli, LJ, Thomas, DP, Hatfield, DL, Cronin, JB, and Myer, GD. Long-term athletic development: Part 1: A pathway for all youth. *Journal of Strength & Conditioning Research*. 29:1439-1450, 2015.
 30. Malina, RM. Weight training in youth-growth, maturation, and safety: An evidence-based review. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 16:478-487, 2006.
 31. Manz, K, Schlack, R, Poethko-Müller, C, Mensink, G, Finger, J, and Lampert, T. Körperlich-sportliche Aktivität und Nutzung elektronischer Medien im Kindes- und Jugendalter. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*. 57:840-848, 2014.
 32. Mirwald, RL, Baxter-Jones, ADG, Bailey, DA, and Beunen, GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 34:689-694, 2002.
 33. Mühlbauer, T, Roth, R, Behm, D, and Kibele, A. Krafttraining im Kinder- und Jugendalter. Schorndorf: Hofmann, 2013.
 34. Myer, GD, Quatman, CE, Khoury, J, Wall, EJ, and Hewett, TE. Youth versus Adult «Weightlifting» injuries presenting to United States emergency rooms: Accidental versus nonaccidental injury mechanisms. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 23:2054-2060, 2009.
 35. Payne, GV, Morrow Jr, JR, Johnson, L, and Dalton, SN. Resistance training in children and youth: A meta-analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 68:80-88, 1997.
 36. Popper, K. *Logik der Forschung*. 9., verbesserte Auflage ed. Tübingen: J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), 1989.
 37. Prieske, O, Lesinski, M, Kriemler, S, and Granacher, U. Krafttraining im Kindes- und Jugendalter. *Kinderärztliche Praxis*. 88:88-97, 2017.
 38. Rhea, MR. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res*. 18:918-920, 2004.
 39. Rütten, A and Pfeifer, K (Eds.). *Nationale Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung*. Erlangen: Friedrich-Alexander-Universität, 2016.
 40. Scott, BR, Duthie, GM, Thornton, HR, and Dascombe, BJ. Training monitoring for resistance exercise: Theory and applications. *Sports Medicine*. 46:687-698, 2016.
 41. Sherar, LB, Mirwald, RL, Baxter-Jones, AD, and Thomis, M. Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *The Journal of Pediatrics*. 147:508-514, 2005.
 42. Sherar, LB, Mirwald, RL, Baxter-Jones, ADG, and Thomis, M. Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *The Journal of Pediatrics*. 147:508-514, 2005.
 43. Tremblay, MS, Barnes, JD, González, SA, Katzmarzyk, PT, Onywera, VO, Reilly, JJ, Tomkinson, GR, and Team, tGMR. Global Matrix 2.0: Report card grades on the physical activity of children and youth comparing 38 countries. *Journal of Physical Activity and Health*. 13:S343-S366, 2016.
 44. Valovich McLeod, TC, Decoster, LC, Loud, KJ, Micheli, LJ, Parker, JT, Sandrey, MA, and White, C. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Prevention of Pediatric Overuse Injuries. *Journal of Athletic Training*. 46:206-220, 2011.
 45. World Health Organisation. Physical activity and young people. Available at: Accessed 11.07.2107, 2017.