



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Die Auswirkungen von unterschiedlichen
Krafttrainingsmethoden auf ausgewählte
kraftbetonte Leistungsparameter bei prä- und
postpubertären Kindern und Jugendlichen“

verfasst von / submitted by

Hannes Slavik

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2017 / Vienna, 2017

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

A 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

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Mag. Pascal Bauer

Abstract

Summary

During the last couple of year's strength training with children and adolescents become more and more established in the practice of sport clubs in german speaking territories. Nowadays performing strength training in young age is approved as absolutely safe, highly effective and injury preventing during an active lifestyle. This thesis starts with a short introduction about strength training, muscle composition and finishes with the current state of knowledge about the effectiveness and scope of strength training with children and adolescents. Additionally, 12 selected studies with 8-19th years old subjects have been analyzed concerning their effectiveness on specific performance parameters. Even though all of these strength training methods had positive influences on some main performances, there have been some specific differences which coaches should be aware of. In conclusion, the right choice of the optimal strength training parameters depends on the physical maturation and the performance level of the single subject. To increase specific performance skills like the start and running velocity some certain exercises often make the difference if benefits can be observed or not.

Zusammenfassung

In den letzten Jahren hat sich Krafttraining im Kinder- und Jugendbereich innerhalb des deutschsprachigen Raumes zunehmend etabliert und kommt vermehrt zur Anwendung. Durch die bei professioneller Betreuung gegebene Unbedenklichkeit und die auch in jungen Jahren effektive Leistungssteigerung findet Krafttraining in den unterschiedlichsten Methoden und Sportarten seinen Weg in die Trainingspraxis. Der vorliegenden Arbeit liegt zunächst ein ausführlicher Theorieteil über das Krafttraining, die Muskulatur und den aktuellen Wissenstand zur Trainierbarkeit im Kindes- und Jugendalter zugrunde. Weiterführend wurden 12 ausgewählte Studien mit Proband/innen im Alter von acht bis 19 Jahren, unter Anwendung unterschiedlichster Trainingsmethoden oder Methodenkombinationen, analysiert und diese bezüglich ihrer Effektivität nach dem Alter und dem ausgehendem Leistungsniveau der Teilnehmer/innen beurteilt. Alle angewandten Krafttrainingsmethoden führten zu Leistungssteigerungen von mehreren Parametern unabhängig vom Alter und Geschlecht der Proband/innen. Dennoch gibt es für unterschiedliche körperliche Reifezustände und

Leistungsniveaus spezifische Trainingsempfehlungen um eine optimale Trainingsplanung zu gewährleisten. Speziell die Trainierbarkeit der Sprintfähigkeit betreffend, fließen viele Parameter mit ein und Details in der Trainingsplanung können diesbezüglich den wesentlichen Unterschied zwischen Leistungsverbesserung oder Stagnation bedeuten.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	8
1.1 Ein historischer Rückblick zum Thema Kinder- und Jugendkrafttraining	8
1.2 Beschreibung der Forschungsfrage	9
1.3 Literatursuche.....	11
2. Wissenschaftliche Einführung zum Thema Krafttraining	14
2.1 Definition „Krafttraining“	14
2.2 Exkurs: Besonderheiten von Krafttests und Studiendesigns bei Kindern und Jugendlichen	16
2.3 Die Schnellkraft	17
2.3.1 Definition der Schnellkraft.....	17
2.3.2 Unterteilung der Schnellkraft.....	17
2.3 Hypertrophie-Effekt und Muskelfaserzusammensetzung	19
2.4 Intra- und intermuskuläre Koordination	22
2.4.1 Intramuskuläre Betrachtungsweise.....	22
2.4.2 Intermuskuläre Betrachtungsweise.....	23
2.5 Schnellkraft in der sportlichen Praxis	23
2.6 Der genetische Einfluss auf die individuellen muskulären Strukturen	23
3. Trainierbarkeit im Kindes- und Jugendalter	25
3.1 Sicherheitsaspekte und gesundheitliche Auswirkungen	25

3.2 Methoden zur Einteilung in Entwicklungsstufen	26
3.3 Leistungssteigerung durch den natürlichen Reifungsprozess	28
3.4 Essentielle geschlechtsspezifische Unterschiede	29
3.5 Genetische Einflussfaktoren im Kindes- und Jugendalter	31
3.6 Einfluss des endokrinen Systems: Hormone	31
3.7 Reifebedingte Adaptionen der neuromuskulären Ansteuerungsprozesse.....	33
3.8 Anpassungen neuronaler Natur	34
3.9 Krafttrainingsadaptionen im Kindes- und Jugendalter.....	34
3.10 Hypertrophie-Effekte im Kindes- und Jugendalter.....	35
3.11 Die Kraftverlustrate im Vergleich	36
4. Vergleichende Darstellung aller Studien	37
Ferrete, Rrequena, Suarez-Arrones, and Villarreal (2014): <i>Effects of strength and high-intensity training in jumping, sprinting and intermittent endurance performance in prepubertal soccer player</i>	40
Ramirez-Campillo, Gallardo, et al. (2015): <i>Effects of vertical, horizontal and combined plyometric training on explosive, balance and endurance performance of young soccer players</i>	44
Lloyd et al. (2016): <i>Changes in sprint and jump performance after traditional, plyometric, and combined resistance training in male youth pre- and post peak height velocity</i>	47
Hetzler et al. (1997): <i>Effects from 12 weeks of strength training on anarobic power in prepubescent male athletes</i>	50
Piazza et al. (2014): <i>Effects of resistance training on jumping performance in pre-adolescent rhythmic gymnasts: a randomized controlled study</i>	51

Christou et al. (2006): <i>Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players</i>	53
Sander, Keiner, Wirth, and Schmidtbleicher (2013): <i>Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players</i>	57
Hoyo et al. (2016): <i>Comparative effects of in-season full-back squat, resisted sprint training, and plyometric training on explosive ePerformance in U-19 elite soccer player</i>	59
Kobal et al. (2016): <i>Effects of different combinations of strength, power and plyometric training on the physical performance of elite young soccer players</i>	64
Kotzamanidis , Chatzopoulos , Michailidis , Papajakovou , and Patikas (2005): <i>The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players</i>	67
Chaouachi, Othman, Hammami, Drinkwater, and Behm (2014): <i>The combination of plyometric and balance training improves sprint and shuttle run performances more often than plyometric-only training with children</i>	70
Deley, Cometti, Fatnassi, Paizis, and Babault (2011): <i>Effects of combined electromyostimulation and gymnastics training in prepubertal girl</i>	76
5. Studienergebnisse	81
Ferrete et al. (2014).....	81
Ramirez-Campillo et al. (2015).....	83
Lloyd et al. (2016).....	86
Hetzler et al. (1997).....	87
Piazza et al. (2014).....	90
Christou et al. (2006).....	91
Sander et al. (2013).....	94
Hoyo et al. (2016).....	98

Kobal et al. (2016)	100
Kotzamanidis et al. (2005)	103
Chaouachi et al. (2014)	106
Deley et al. (2011)	110
6. Diskussion der Studien	113
7. Conclusio	131
Abbildungsverzeichnis	141
Tabellenverzeichnis	143
Abkürzungsverzeichnis	146
Lebenslauf	148
Eidesstattliche Erklärung	149

1. Einleitung

1.1 Ein historischer Rückblick zum Thema Kinder- und Jugendkrafttraining

Die Entwicklung und wissenschaftliche Positionierung zu diesem Thema zeigte durch neue empirische Forschungsergebnisse ein deutliches Umdenken um etwa 1990 (Malina, 2006). Zuvor war eine Positionierung gegen ein gezieltes Krafttraining von Kindern und Jugendlichen vorrangig und die Ausübung dessen wurde als nicht empfehlenswert erachtet (American_Academy_of_Pediatrics, 1983). So schrieben Hollmann and Hettinger (1990), dass Krafttraining vor dem achten bis zehnten Lebensjahr kaum eine physiologische Adaption hervorrufe und daher keine Trainierbarkeit bestehe. Eine damals wesentliche Begründung war der niedrige androgene Hormonspiegel bei Kindern und Jugendlichen, wodurch kaum ein Kraftzuwachs in diesem Alter möglich sei (Pitton, 1992). Diese Annahme wurde anfänglich zusätzlich durch Studien unterstützt, die nicht auf eine Steigerung der Kraft- oder Leistungsfähigkeit in diesem Alter schließen konnten (Vrijens, 1978). Hier ist anzumerken, dass diese ausbleibende Steigerung der Kraftwerte in früheren Studien aus heutiger Sicht meist an einer zu geringen Trainingsintensität oder / und zu niedrigen -umfängen lag (Benjamin & Glow, 2003). Wesentlich erscheint auch, dass die schlussendliche Datenerhebung vorrangig durch isometrische Krafttests stattfand und diese negative Schlussfolgerung daher auf eine Kontraktionsform beschränkt war. Zuletzt ist zu betonen, dass Krafttraining mitunter aus der Angst vor einer Schädigung an dem unreifen Organismus abgelehnt wurde (Behringer, 2011). Ein weiterer Faktor, der durch spätere Studien widerlegt wurde, war der Verdacht, dass Krafttraining allgemeine negative Auswirkungen auf den Verknöcherungsprozess der Heranwachsenden habe und eine erhöhte Verletzungswahrscheinlichkeit von Knochen, Bindegewebe, Epiphysen und Epiphysenfugen mit sich bringe (Brown & Kimball, 1983; Pitton, 1992). Eine wesentliche Problematik stellt auch die Verwendung des Begriffs „Krafttraining“ dar ohne diesen weiter auszuformulieren oder zu spezifizieren. Zu oft wird nicht genauer auf Belastungsnormative wie die angewendete Trainingsmethode, die Übungsausführung oder die Zielgruppe eingegangen. Gerade bei Kindern und Jugendlichen ist jedoch eine

wesentlich differenziertere Betrachtungsweise dieser Einflussfaktoren unumgänglich (Fröhlich et al., 2009).

Ab etwa 1990 kamen durch neue Forschungsergebnisse erste Zweifel an der bisherigen Positionierung auf. Hochrangige Zeitschriften sprachen sich nach und nach für ein zielgruppenspezifisches, durch Fachpersonal angeleitetes Krafttraining im Kinder- und Jugendbereich aus und betonten erstmals die positiven Aspekte der Verletzungsprävention, der Leistungssteigerung und den Auswirkungen auf das psychische Wohlbefinden (Faigenbaum et al., 1996; Malina, 2006). Ehlenz, Grosser, and Zimmermann (1998) setzten acht Jahre nach dem Umdenken den Beginn der Trainierbarkeit der Kraft bei Kindern, nach damaligen wissenschaftlichen Aussagen, bereits auf das siebte bis neunte Lebensjahr herab. In der aktuellen Literatur kann man Studien zufolge mit adäquatem Widerstandstraining von positiven Effekten auf die Kraftfähigkeit ab einem Alter von fünf Jahren ausgehen (Kaufman & Schilling, 2007). Im Jahr 2001 veröffentlichten Guy and Micheli (2001) einen Übersichtsartikel zum Thema Krafttraining im Kindes- und Jugendalter und berichtigen in diesem drei wesentliche Irrtümer:

- Präpubertäre Kinder können aufgrund des niedrigen androgenen Hormonspiegels nicht von Krafttraining profitieren.
- Durch frühes Krafttraining werden die Flexibilität und der maximale „range of motion“ in einer Zielsportart negativ beeinflusst.
- Krafttraining ist gefährlich und setzt junge Athlet/innen einem nicht einschätzbaren Verletzungsrisiko aus.

All diese zuvor gängigen Meinungen wurden empirisch widerlegt und klar als falsche Annahmen nun richtig gestellt.

1.2 Beschreibung der Forschungsfrage

Lange Zeit war die Wirksamkeit von Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen umstritten und ein mögliches gesundheitliches Risiko gab vielfältige Anlässe für Diskussionen. Während Stellungnahmen aus dem deutschsprachigen Raum über eine lange Zeit fehlten, positionierten sich international zahlreiche medizinische und

sportwissenschaftlich orientierte Landes-organisationen zu gesundheitsrelevanten und trainingspraktischen Fragen (Horn et al., 2012). Inzwischen bestehen auch im deutschsprachigen Raum, sowohl aus den Reihen der Praxis als auch denen der Wissenschaft keine Zweifel an der Legitimation eines frühzeitig begonnen Krafttrainings (Menzi, Zahner, & Kriemler, 2007). Unter Gewährleistung einer korrekten und altersspezifischen Durchführung durch ausgebildetes Personal, ist ein Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen in jedem Alter sinnvoll und ungefährlich (Faigenbaum, Lloyd, & Myer, 2013; Lloyd, Faigenbaum, et al., 2014).

Krafttraining ist als ein Sammelbegriff zu verstehen, der im übergeordneten Sinne eine Trainingsart mit dem generellen Ziel der Verbesserung der Krafftfähigkeiten (Maximal-, Schnellkraft und Kraftausdauer) beschreibt und von den Sportarten „Gewichtheben“ und dem sogenannten „power-lifting“ unterschieden werden soll (Siewers, 2001).

Im Rahmen meiner vorangegangenen Bakkalaureatsarbeit wurde untersucht, welche Auswirkungen ausgewählte Übungen aus dem Bereich des Krafttrainings auf die Schnellkraftleistung, vorrangig ermittelt durch die „vertical jump performance“, auf unter 14-jährige Kinder und Jugendliche haben. Dabei wurde ein Überblick über den aktuellen Forschungs- und Wissensstand in diesem Bereich gegeben. Ebenso wurden die krafttrainingsbedingten Adaptionen der kindlichen Muskulatur, das anabole und das neuromuskuläre System sowie Auswirkungen auf den passiven Bewegungsapparat beschrieben (Slavik, 2016). Verletzungen und Schädigungen durch Krafttrainingsinterventionen wurden im Rahmen der Bakkalaureatsarbeit nur einleitend diskutiert, ebenso wie pädagogische Hinweise und Trainingsempfehlungen für ein Krafttraining (Fröhlich, 2009).

Mit Hilfe dieser Diplomarbeit soll meine Bakkalaureatsarbeit weiter ausgebaut werden um dabei aufgetretene neue Fragestellungen beantworten zu können und die Komplexität dieses Themas qualitativ umfangreicher aufzuarbeiten. In der ursprünglichen Arbeit lag der Fokus auf der krafttrainingsbasierten Schnellkraftverbesserung bei (prä-)pubertären Kindern und Jugendlichen unter 14 Jahren. Nach eingängiger Analyse der ausgewählten Studien zeigte sich ein deutlich positiver Effekt von Krafttraining auf die Leistungssteigerung junger Athlet/innen unabhängig von Alter und Geschlecht. Neben den verletzungspräventiven Wirkungen sollte Krafttraining auch aufgrund der bedeutsamen Leistungssteigerungen der

Maximalkraft, Sprungkraft und „intermitted endurance“ im Kindes- und Jugendalter vermehrt Anwendung finden (Slavik, 2016). Um Gesundheitsschäden zu vermeiden, muss die Durchführung der Trainingsprogramme professionell beaufsichtigt werden und die Übungen müssen dem Leistungsniveau der Kinder und Jugendlichen angepasst sein (Lloyd, Faigenbaum, et al., 2014). Ob ein sportartspezifisches-, traditionelles- oder plyometrisches Krafttraining durchgeführt werden sollte, hängt von mehreren Faktoren ab. Neben der psychischen Reife und dem biologischen Alter des Kindes / Jugendlichen wird die optimale Wahl der Krafttrainingsmethode vorrangig dadurch beeinflusst, welchen Leistungsparameter der/die TrainerIn verbessern möchte. Den dargebotenen Studien zufolge scheinen Kombinationen unterschiedlicher Methoden höhere Effekte zu erzielen und werden daher vorrangig empfohlen. Mit zunehmendem Trainingszustand und Alter der Athlet/innen wird dem traditionellen Krafttraining mit Maschinen und Gewichten eine übergeordnete Bedeutung zuteil (Slavik, 2016).

Um Unterschieden in der Effektivität der bestehenden Trainingsmethoden auch altersspezifisch nachzugehen und das Ausmaß der Trainierbarkeit von unter 14-jährigen mit jenem von postpubertären Jugendlichen zu vergleichen, werden neben der Vertikalsprungleistung im Rahmen der Diplomarbeit auch weitere Leistungstest verstärkt in die Analyse miteinbezogen. Beim Vergleich der bearbeiteten Studien wurde deutlich, dass die krafttrainingsbedingten Adaptionen auch positive Auswirkungen auf Sprintleistung, Maximalkraft, „intermitted endurance“, Regeneration, Verletzungsprävention und Balance zeigen können. Diesen Ergebnissen soll im Rahmen der hier vorliegenden Diplomarbeit intensiver nachgegangen werden. Der Theorieteil der Arbeit wurde in ausgewählten Bereichen durch aktuelle Fachliteratur weiter ausgebaut und durch die detaillierte Aufarbeitung weiterer Studien für diese Diplomarbeit, mit postpubertären Jugendlichen im Durchschnitt unter 19 Jahren, werden weiterführende Erkenntnisse über trainingspezifische-, altersspezifische- und geschlechtsspezifische Unterschiede und Zusammenhänge erwartet.

1.3 Literatursuche

Als fundamentale Basis dieser hermeneutischen Arbeit diene die systematische Literatursuche in wissenschaftlichen Datenbanken wie „Pubmed“, „Medline“, „Web of Science“ sowie in der Bibliotheksdatenbank der Universität Wien. Um einen ersten

theoretischen Einblick und einen aktuellen Stand der Wissenschaft zu diesem Thema zu erhalten, fand die vorausgehende Literatursuche über Google Scholar statt. Durch deutsche Suchbegriffe wie „Krafttraining“ in Kombination mit „Kinder“, „Jugendliche“, „Mädchen“, „Knaben“, „Buben“, „Pubertät“, „Gefahren“, „Leistungssteigerung“ und „Kraftanstieg“ war es möglich umfangreiche einführende deutsche Literatur zu erhalten.

Für den einführenden physiologischen Teil der Arbeit wurde auf Basisliteratur zurückgegriffen. Die Dissertation von Behringer (2011) bot dabei hilfreiche Informationen über die biomedizinischen Grundlagen zum Krafttraining im Kindes- und Jugendalter. In dieser Arbeit wurden 436 Literaturquellen aufgearbeitet, miteinander verglichen und einander gegenübergestellt. Unter anderem enthielt diese Arbeit bereits einige wissenschaftliche Studien zum Thema Krafttraining unter dem Aspekt der Leistungssteigerung im Kindes- und Jugendalter. Aufgrund dieser sich wiederholenden Keywords und Quellen konnte die zielgerichtete Suche nach englischsprachiger Literatur erleichtert werden. Die Verwendung von Keywords wie „children“, „adolescents“, „youth“, „athletes“, „resistance“, „strength“, „training“, „muscle“, „exercise“, „(vertical) jump“ und „(sport) performance“ in der Recherche führte zu aktuellen Studien, die ausschlaggebend für die Beantwortung der Forschungsfrage waren. Studien welche nicht hinreichend genaue Angaben auf die Form der Datenerhebung, die durchgeführte Krafttrainingsmethode oder zu den Proband/innen lieferten, konnten dazu nicht herangezogen werden.

Zur Erlangung eines Überblickes des aktuellen Standes der Wissenschaft, dienten weitere Reviews bzw. Metaanalysen wie etwa die englische Arbeit von Behringer, Heede, Matthews, and Mester (2011) in der mit Hilfe von 34 Studien Auswirkungen von Krafttraining auf die allgemeine körperliche Leistung beschrieben wurden, wobei auch bereits in der Disposition auf Original-arbeiten zugegriffen wurde.

Einen wesentlichen Stellenwert für die Suche spezifischer Studien zum Thema dieser Arbeit hatte die Plattform „Pubmed“. Die Suchfilter wurden wie folgt eingestellt und mit den oben erwähnten Keywords in unterschiedlichen Kombinationen abgefragt:

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| ✓ Textverfügbarkeit: | zumindest der Abstract |
| ✓ Sprache: | Deutsch, Englisch |
| ✓ Publikationsdatum: | 2007 - 2017 |
| ✓ Spezifikation: | „humans“ |
| ✓ Alter der Proband/innen: | bis 18 Jahre |

Diese und weitere Suchergebnisse wurden einzeln auf ihre Inhalte überprüft. Einige erwiesen sich als essentiell für die Beantwortung der spezifischen Forschungsfrage und wurden in dieser Arbeit in weiterer Folge im Detail ausgearbeitet und analysiert. Andere Studien dienten zur Ergänzung des Theorieteiltes oder flossen in die abschließende Diskussion mit ein.

Mein Interesse an einigen, der in dieser Arbeit aufbereiteten Studien wurde ebenfalls durch Lesinski, Prieske, and Granacher (2016) Metaanalyse geweckt. Diese fasst die allgemeinen Ergebnisse aus 43 Studien mit Kindern und Jugendlichen zum Thema Krafttraining und physische Performance zusammen. Die Autoren unterschieden und diskutierten darin spezifische Studienergebnisse bzw. alters- und entwicklungspezifische Unterschiede jedoch unzureichend. Die Trainingsempfehlungen, beruhend auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft, beziehen sich allerdings vorrangig auf traditionelles Krafttraining und werden eher allgemein gehalten.

2. Wissenschaftliche Einführung zum Thema Krafttraining

2.1 Definition „Krafttraining“

Als Krafttraining wird allgemein die Überwindung eines individuellen, progressiven Widerstandes in einer Belastungsgröße von mehr als 30-50 % der jeweilig realisierbaren Maximalkraft bezeichnet. In welcher Form dieser Widerstand und damit der Trainingsreiz für eine Adaption erzeugt werden, hängt vorrangig von der erwünschten Trainingsanpassung und dem Leistungszustand der Zielgruppe ab. Maschinen, Hanteln, Widerstandsbänder, Medizinbälle oder das eigene Körpergewicht sind hierfür zu nennen (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Dabei ist zu betonen, dass Übungen mit dem eigenen Körpergewicht fälschlicherweise für leichter realisierbar und sicherer gehalten werden. Beim Krafttraining mit Maschinen und Hanteln ist das Gewicht und daher der entgegengesetzte Widerstand deutlich feiner dosierbar, Bewegungen sind aufgrund der geringeren Komplexität meist einfacher auszuführen und isoliert für ausgewählte Muskelgruppen anzuwenden (Ebada & Krüger, 2004). Zudem liegen beim Training mit dem eigenen Körpergewicht die Schwachpunkte, welche ein Training und die korrekte Ausführung negativ beeinflussen, oft nicht in jener Muskulatur, die primär durch eine Übung angesprochen werden möchte (Fröhlich et al., 2009).

Das Krafttraining muss vom Gewichtheben, Kraftdreikampf und Bodybuilding klar abgegrenzt werden. Beim Gewichtheben und Kraftdreikampf handelt es sich um eigene Wettkampf-disziplinen mit dementsprechenden spezifischen Übungen und sehr hohen Belastungsintensitäten (Benjamin & Glow, 2003). Die Sonderform des Bodybuildings zielt hingegen auf maximale Muskelquerschnittsvergrößerung und Muskeldefinition ab, die hierfür realisierte Leistung ist trainingsbedeutsam aber sekundär (Fröhlich, Gießing, Schmidtbleicher, & Emrich, 2007). Durch diesen weit gefächerten Bereich des „Krafttrainings“ können Außenstehende ohne weitere Eingrenzung und Ausformulierung nur sehr wenig Information aus dem Begriff selbst entnehmen. Unterschiedliche Trainingsmethoden setzen sehr individuelle Trainingsadaptionen auf neuromuskulärer Ebene in Gang. Um auf Krafttraining basierende Studien aus wissenschaftlicher Sicht betrachten zu können und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicher zu stellen, ist eine

detaillierte Angabe der verwendeten Trainingsmethode, der Durchführung und der Zielgruppe eine Grundvoraussetzung (Ebada & Krüger, 2004). So beruht beispielsweise der rasche anfängliche Anstieg der Kraftwerte bei untrainierten Proband/innen nicht auf einer muskulären Querschnittsvergrößerung, sondern auf neuronalen Anpassungseffekten intra- und intermuskulärer Art (Häkkinen, Alen, Kallinen, Newton, & Kraemer, 2000). Werden dem Leser und der Leserin von Studien solche Informationen von trainingsunerfahrenen Proband/innen vorenthalten, kann es zu Fehlinterpretationen kommen. Daher sind vorab einige Begriffsbestimmungen zu klären.

Tabelle 1 Begrifflichkeiten des Krafttrainings und deren Definition (Fröhlich et al., 2009, S.3)

Begriff	Definition
Krafttraining	Zentraler Sammelbegriff, welcher im übergeordneten Sinn die Trainingsart mit dem generellen Ziel der Verbesserung der motorischen Kraftfähigkeit beschreibt. Krafttraining kann dabei einerseits nach seiner Wirkungsweise (z.B. Hypertrophietraining), andererseits nach seiner Zielsetzung (z.B. Schnellkrafttraining) differenziert werden
Belastungsintensität	Prozent der isometrischen und/oder konzentrischen bzw. exzentrischen Maximalkraft bzw. subjektives Belastungsempfinden
Belastungsdauer	Zeitdauer der Übung, der Serie, der Übungsfolge
Belastungsumfang	Bewältigte Last in der Trainingseinheit, jedoch i.d.R. die Anzahl an Wiederholungen in der Serie
Belastungsdichte	Inter- und intraserielle Pausenzeit
Trainingshäufigkeit	Anzahl der Trainingseinheiten in einem Trainingszyklus (i.d.R. in einer Woche)
Muskelarbeitsweise	Isometrisch (Krafterhöhung ohne äußerlich erkennbare Längenveränderung des Muskels), konzentrisch (Muskelarbeitsweise, bei der sich Ansatz und Ursprung des Muskels einander annähern), exzentrisch (Muskelarbeitsweise, bei der sich Ansatz und Ursprung des Muskels voneinander entfernen)
Periodisierung	Phasenförmige Veränderung von Teilzielen, Trainingsinhalten, -methoden und der Organisation des Trainings
Nicht-Wiederholungsmaximum	Beim nWM wird der Satz bei einer bestimmten Wiederholung abgebrochen, obwohl noch weitere Wiederholungen möglich gewesen wären
Wiederholungsmaximum	Beim WM wird der Satz mit der letztmöglichen, vollständigen, technisch korrekten Wiederholung beendet
Punkt des momentanen Muskelversagens (point of momentary muscular failure, PMF)	Beim PMF gelingt es nicht mehr, die bereits begonnene Wiederholung in technisch korrekter Art auszuführen
Punkt des momentanen Muskelversagens + Intensitätstechniken (point of momentary muscular failure, PMF +)	Beim PMF+ wird der Satz beim PmM nicht beendet, sondern es wird durch zusätzliche Intensitätstechniken weiter trainiert
Progressiver Belastungswiderstand	Systematische Erhöhung der Belastung an den momentanen Trainingszustand
Gewichtheben	Olympische Wettkampfdisziplin, welche ein Maximum an Kraftfähigkeit erfordert und durch die zwei Übungen „Reißen“ und „Stoßen“ charakterisiert ist
Kraftdreikampf	Wettkampfsport, welcher ein Maximum an Kraftfähigkeit erfordert und mit den wettkampf-/disziplinspezifischen Übungen „Kniebeugen“, „Bankdrücken“ und „Kreuzheben“ durchgeführt wird
Bodybuilding	Wettkampf bzw. Trainingsform, bei der es nicht um maximale Kraft, sondern vielmehr um größte Muskelmasse, Symmetrie und Proportion der Muskulatur geht

2.2 Exkurs: Besonderheiten von Krafttests und Studiendesigns bei Kindern und Jugendlichen

Bei wissenschaftlichen Studien ist das Vorhandensein einer Kontrollgruppe essentiell um Interpretationen von Anpassungseffekten bei Kindern und Jugendlichen zu zulassen und um krafttrainingsbasierte Adaptionen von natürlichen Reifungs- und Entwicklungsprozessen des Wachstums zu unterscheiden. Bei Kindern werden Krafttests fälschlicherweise oft mittels Kraftausdauermethoden mit zu vielen Wiederholungen und zu geringem Gewicht durchgeführt. Dadurch dauert ein solcher Test für Kinder zu lange. Die nötige Energiebereitstellung wird durch anaerob laktazide Stoffwechselvorgänge gewährleistet und aufgrund der nicht ausgeprägten Azidosebildungs- und -abbaufähigkeit des anfallenden Laktates im Kindesalter sind diese Ergebnisse nicht aussagekräftig (Faigenbaum et al., 1996). Dem gegenübergestellt hat laut einigen Autoren selbst der 1-RM („one repetition maximum“) Test seine Berechtigung, da in zahlreichen sportlichen Aktivitäten der Kinder wie Springen, Hüpfen, Sprinten usw. höhere Belastungswerte weit unkontrollierbarer ausgeführt werden. Während diesen maximal intensiven Aktivitäten wirken Kräfte auf den kindlichen aktiven und passiven Bewegungsapparat, die dem bis zu zehnfachen des Körpergewichts entsprechen können (Freiwald, 2005). Faigenbaum, Corbin, and Pangrazi (2003) führten mit Kindern 1-RM Tests an unteren und oberen Extremitäten durch, ohne dass dabei Verletzungen oder Muskelkater auftraten. Dennoch muss angemerkt werden, dass eine solche 1-RM Messung zur Bestimmung der Maximalkraft nicht nötig ist, da 6-RM (oder 10- bis 15-RM) Tests die gleiche Aussagekraft besitzen und eine niedrigere Belastung für die Proband/innen darstellen (Kraemer & Fleck, 2005). Welcher Krafttest letztendlich zur Anwendung kommt, muss von den Versuchsleiter/innen und Trainer/innen je nach Zielgruppe, Sportart, Leistungsniveau, Trainingserfahrung sowie der Zielsetzung mit einem hohen Maß an „know-how“ und pädagogischer Eignung entschieden werden. Neben der geeigneten Methode Kraftwerte zu ermitteln, sollte explizit darauf hingewiesen werden, dass Testmodalitäten wie Kniewinkel, Griffbreite, Drehpunkte und Sitzeinstellungen im Sinne der Reliabilität exakt eingehalten werden müssen (Fröhlich et al., 2009).

2.3 Die Schnellkraft

2.3.1 Definition der Schnellkraft

In vielen Sportarten ist die Schnellkraft, die Fähigkeit des neuromuskulären Systems einen möglichst großen Impuls in einer zu Verfügung stehenden Zeit zu produzieren, für den Erfolg von entscheidender Bedeutung (Schmidtbleicher, 1984). Wie hoch die Beschleunigung bzw. die Geschwindigkeit ist, mit der ein Athlet/eine Athletin Bewegungen ausführen kann und diese folglich einem Gegenstand oder einem Gegner/einer Gegnerin weitergibt, ist dabei der ausschlaggebende Faktor (K. Wirth & Schmidtbleicher, 2007). Die Größe der realisierbaren Schnell- und Maximalkraft ist vom Muskelquerschnitt, dessen Faserzusammensetzung und der Impulsfrequenz, mit der ein Muskel über die Alpha-Neuronen innerviert wird, abhängig (De Marées, 2002). Da die für eine Bewegungsausführung zu Verfügung stehende Zeit begrenzt und die Masse des zu bewegendem Körperteils oder Gegenstandes meist konstant ist, ist der durch den Sportler/die Sportlerin beeinflussbare Faktor der Beschleunigungswert (K. Wirth & Schmidtbleicher, 2007). Dabei kommt der Geschwindigkeit der Kraftentfaltung mit Beginn einer Bewegung, also dem Kraftanstieg, eine entscheidende Bedeutung zu je kürzer der zu Verfügung stehende Beschleunigungsweg ist und dieser limitiert die realisierbare Endgeschwindigkeit (Martin, Carl, & Lehnertz, 1993).

2.3.2 Unterteilung der Schnellkraft

Die Schnellkraftfähigkeit ist in Start-, Explosiv- und Maximalkraft zu unterteilen. Die Startkraft wird nach 25-30 ms des Bewegungsbeginns gemessen und gibt dadurch Aufschluss über den realisierten Kraftanstieg. Die Explosivkraft gibt Aufschluss über die größte Kraftzunahme pro Zeiteinheit während eines Kraft-Zeit-Verlaufs (K. Wirth & Schmidtbleicher, 2007). Unter Maximalkraft wird der größte erreichte Kraftwert verstanden. Da die Maximalkraft in engem Zusammenhang mit Explosivkraftwerten steht ist verständlich (Pearson et al., 2002; Schmidtbleicher, 1984), warum diese einen limitierenden Einfluss auf die Ausprägung der Schnellkraft hat (Kraemer & Newton, 1994).

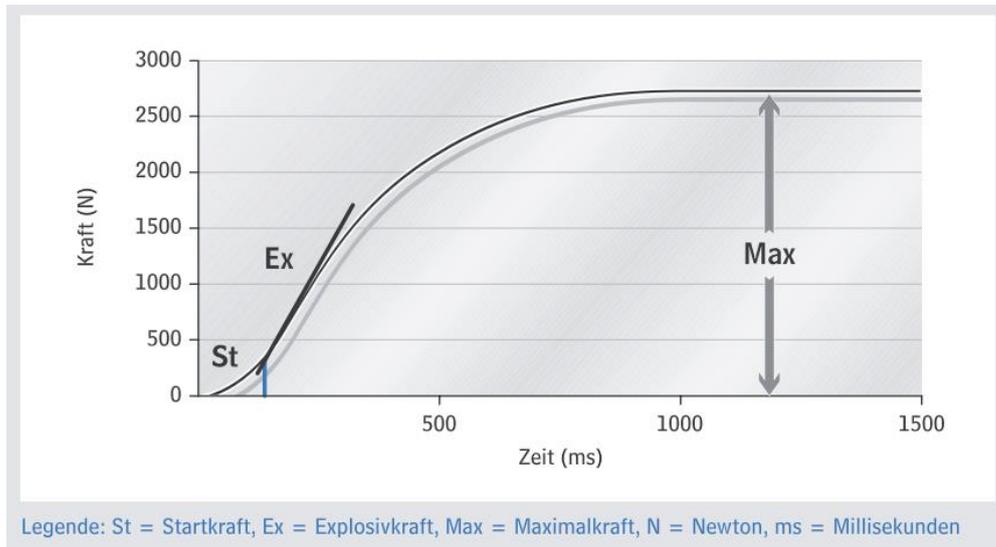


Abbildung 1 **Kraft-Zeit Kurve** (Wirth & Schmidtbleicher, 2007, S. 36)

Je höher die zu überwindende Last ist, desto stärker korreliert die Maximalkraft- mit der Schnellkraftleistung und verliert bei leichten Lasten an Bedeutung (Delecluse, 1997). Das dynamische Kraftmaximum beschreibt den bei einer bestimmten Last höchsten erreichten Kraftwert (Letzelter & Letzelter, 1990).

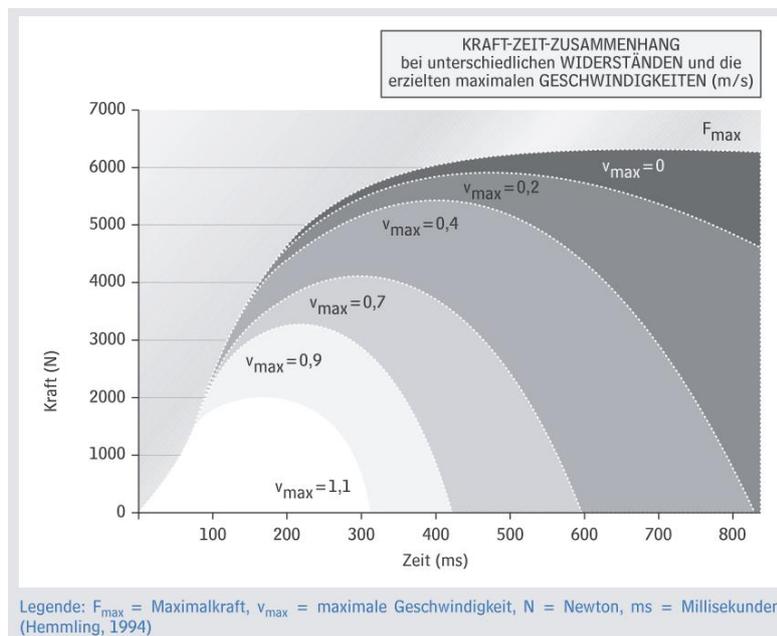


Abbildung 2 **Dynamisches Kraftmaximum** (Wirth & Schmidtbleicher, 2007, S. 36)

Bei sehr niedrigen Lasten ist die anfängliche Geschwindigkeit der Bewegungsausführung bereits nach kurzer Zeit so schnell, dass sich Aktin- und Myosinfilamente nach Ausbildung der Querbrückenbildung rasch wieder lösen müssen und die Zeit nicht ausreicht um wirklich Kraft aufzubauen (Müller, 1987). Dennoch zeigen Studien, dass selbst bei Kampfsportarten, in denen keine Zusatzlasten bewegt werden, eine Steigerung der Maximalkraft zu einer erhöhten Schlaggeschwindigkeit beiträgt (Ebben & Blackard, 1997). Betrachtet man international erfolgreiche Kugelstoßer/innen, die eine verhältnismäßig leichte 7.25 kg Kugel beschleunigen müssen, verdeutlichen deren Maximalkraftwerte von über 200 kg beim Bankdrücken die Wichtigkeit und den Zusammenhang zwischen Maximalkraft und Explosivkraft (Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997). Bei Sprintdisziplinen, in denen der ganze Körper beschleunigt wird, treten Kräfte in Höhe des zwei- bis dreifachen Körpergewichts auf (Schmidtbleicher, 2000). Die Bodenreaktionskräfte bei Sprungformen wie Weit- und Hochsprung liegen zwischen dem vier- bis zehnfachen, bei Tiefensprüngen sogar bis zum 14-fachen des Körpergewichts (Schmidtbleicher, 2003). Ein Anheben der Maximalkraft kann sich daher positiv auf die Explosivkraft in sowohl zyklischen als auch azyklischen Bewegungen auswirken und steigert die Sprungleistungen (Toumi, Best, Martin, & Poumarat, 2004; Wisloff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004). Carlock et al. (2004) konnten in ihren Untersuchungen mit Gewichthebern eine Korrelation zwischen den erreichten physikalischen Leistungswerten in verschiedenen Sprungkrafttests und ihrem realisierten 1-RM bei den Übungen Kniebeugen, Stoßen und Reißen nachweisen.

2.3 Hypertrophie-Effekt und Muskelfaserzusammensetzung

Die Durchführung eines Krafttrainings bringt eine Reihe von neuronalen und muskulären Adaptionen mit sich. Als Antwort auf diesen Trainingsreiz steigt die Proteinsynthese bereits nach einer bis wenigen Kräfteinheiten an. Eine tatsächliche Änderung des Muskelquerschnitts bedingt aber zumindest eine mehrwöchige konstante Trainingsphase mit spezifischen Trainingsmethoden (Seynnes, Boer, & Narici, 2007). Eine sichtbare Anhäufung an Muskelprotein bzw. Zunahme der Muskelmasse benötigt daher Monate an Training, wodurch die raschen anfänglichen Kraftanstiege ausschließlich auf neuronale Basis zurückzuführen sind (Schoenfeld, 2016). Eine Vergrößerung des

Muskelquerschnittes durch Hypertrophietraining hat einen grundlegenden Einfluss auf die Maximalkraft und folglich auf die Schnellkraft (Brechue & Abe, 2002). Dabei kommt der Muskelfaserzusammensetzung eine übergeordnete Rolle zu (De Marées, 2002). Beim Hypertrophietraining wird der Effekt der Querschnittsvergrößerung durch ein Dickenwachstum der schnellen Typ II Fasern hervorgerufen, welche für die Durchführung maximal kraftbetonter und schneller Bewegungsaufgaben verantwortlich sind (Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy, & Lyttle, 1997).

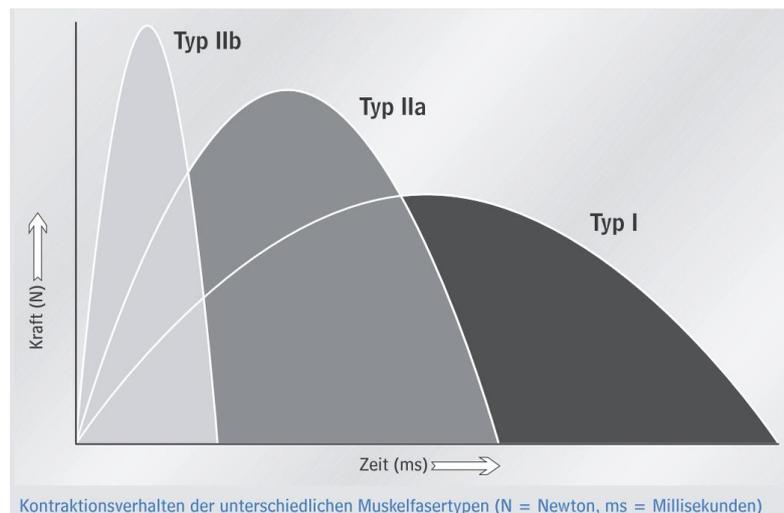


Abbildung 3 **Kontraktionsverhalten von Muskelfasertypen**
(Wirth & Schmidtbleicher, 2007, S.38)

Diese Typ II Fasern unterliegen der Innervation schnellerer α -Motoneuronen und können ihren maximalen Spannungswert in 30-80 ms aufbauen, während Typ I Muskelfasern mit 90-140 ms deutlich langsamer, aber ausdauernd arbeiten. Grund für diese schnellere Arbeitsweise ist die Methode der Energiebereitstellung durch eine höhere ATPase Aktivität in den Typ II Fasern (Powers & Howley, 1994). Der positive Zusammenhang des Muskelfaseranteils an Typ II Fasern und der Explosivkraft wurde bereits in den 70er Jahren nachgewiesen (Viitasalo & Komi, 1978). Wie bereits erwähnt unterliegen die Typ II Fasern auch α -Motoneuronen die zwei bis drei Mal schnellere Impulsentladungen ermöglichen und über größere motorische Endplatten mit den Muskelfasern in Verbindung stehen. Durch Krafttraining erhöht sich die Nervenleit-geschwindigkeit weiter und die Synapsen adaptieren in Größe und in Menge der Neurotransmitterausschüttung (Hutton, 1989; Pahlke, 1999). Zuletzt ist zu betonen, dass die mechanische Leitung

dieser schnellen Fasern etwa um das Vierfache höher ist als jene der Typ I Fasern (Faulkner, Claflin, & McCully, 1986).

Der Begriff Muskelhypertrophie bezeichnet daher eine Volumenzunahme des Muskelgewebes durch Vergrößerung der kontraktilen Elemente dieser Typ II Fasern und der unterstützenden Anpassung extrazellulären Gewebes (Schoenfeld, 2010). Diese Zunahme der Muskelmasse durch Widerstandstraining wird folgenden drei Mechanismen zugeschrieben: Mechanische Anspannung, metabolischer Stress und muskuläre Schädigung (Schoenfeld, 2010). Bei der kontraktilen Hypertrophie werden neu gebildete Sarkomere in „Serie geschaltet“ (aneinander gereiht) oder parallel zueinander orientiert angeordnet. Eine serielle Hypertrophie, die Erhöhung der Anzahl aneinandergereihter Sarkomere, geht mit einer Muskelverlängerung einher. Diese Anpassungsform kann beobachtet werden, wenn ein Muskel in der funktionellen Länge adaptieren muss. Das ist z.B. nach verletzungsbedingten Ruhestellungen, Verkürzungen (Toigo & Boutellier, 2006) oder körperlichen Reifungsprozessen während natürlichen entwicklungsbedingten Wachstumsphasen der Fall. Schoenfeld (2016) fasste die Ergebnisse einiger Studien zusammen; auch wenn diesen zufolge serielle Hypertrophie bei Schnellkraft- und exzentrischem Training bestätigt wurde, liegt bei krafttrainingsbedingter Hypertrophie die parallele Sarkomer-vermehrung mit resultierender Muskelquerschnittsvergrößerung und den damit einhergehenden Kraftanstiegen im Fokus (Paul & Rosenthal, 2002). Dabei führt mechanische Überbelastung zu einer gewissen Schädigung in der Struktur der Myofibrillen, wodurch die extrazelluläre Matrix eine intrazelluläre Enzymkaskade in Gang setzt. Dieses vorteilhafte Milieu unterstützt letztendlich jene Prozesse, die zu einer Vergrößerung und Vermehrung der kontraktilen Elemente führen und sich folglich die Anzahl der parallel liegenden Sarkomere erhöht (Toigo & Boutellier, 2006). Studien zufolge ist diese mechanische Belastung die primär treibende Kraft für parallel-hypertrophische Adaptionsprozesse. Mechanorezeptoren reagieren dabei sowohl auf die Höhe der Last als auch auf die Dauer der Reizeinwirkung sensibel (Schoenfeld, 2016).

2.4 Intra- und intermuskuläre Koordination

In den weiteren Schritten gilt es die neuronale Ansteuerung dieser gut ausgeprägten Muskulatur zu optimieren um das zu Verfügung stehende muskuläre Potential auszuschöpfen.

2.4.1 Intramuskuläre Betrachtungsweise

Unter intramuskulärer Koordination wird die Fähigkeit der Rekrutierung, Frequentierung und Synchronisierung verstanden (K. Wirth & Schmidtbleicher, 2007). Eine Verbesserung der Rekrutierungsfähigkeit ermöglicht es bei einer willkürlichen Bewegung gleichzeitig eine größere Anzahl von motorischen Einheiten zu aktivieren. Diese Fähigkeit ist bei trainierten Sportler/innen deutlich höher ausgeprägt als bei untrainierten Personen (Akima, Kuno, Takahashi, Fukunaga, & Katsuta, 2000). Unter Frequentierung wird die Entladungsfrequenz verstanden, mit der motorische Einheiten aktiviert werden können. Hohe Frequentierungswerte begünstigen einen steilen Kraftanstieg und wirken sich daher positiv auf die Explosivkraftwerte aus, wohingegen sie bei der Maximalkraft nicht leistungslimitierend sind. Diese höhere Frequentierung ist besonderes bei Kontraktionsbeginn festzustellen, wodurch anzunehmen ist, dass beteiligte schnelle Typ II Fasern früher aktiviert werden können. Auch wenn keine maximalen Frequentierungsraten hoher Maximalkraftleistung zugrunde liegen, sind Veränderungen in der intramuskulären Koordination vorrangig beim Training mit maximalen Muskelaktionen zu erwarten und daher förderlich für eine Steigerung der Frequentierungsfähigkeit. Weiters muss bei Maximalkrafttraining diese hohe Frequenz lange aufrecht erhalten werden (Sale, 2003). Unter Synchronisierung wird die Fähigkeit verstanden Muskelfasern gleichzeitig zur aktivieren. Bei Sportarten mit hohem Kraftanteil wirkt sich ein starker Wille durch hohe Motivation positiv auf diese Synchronisierung aus und kommt einer Verbesserung dieser gleich (Felici et al., 2001; Küchler, 1983). Mit zunehmend nötiger Kraft einer Bewegungsausführung scheint zunächst die Entladungsfrequenz erhöht zu werden um einen Kraftsteigerung zu realisieren. Bei weiteren Kraftzuwachsen bleibt diese Entladungsrate konstant und eine Erhöhung wird durch eine Rekrutierung weiterer motorischer Einheiten bis zu einem Wert von ca. 70% der Maximalkraft realisiert. Nun sind bereits ein Großteil der Einheiten aktiv und die weiteren Kraftanstiege werden erneut durch eine Steigerung der Motoneuronenfrequenz realisiert (Perl, 2004)

2.4.2 Intermuskuläre Betrachtungsweise

Unter intermuskulärer Koordination ist das optimale Zusammenspiel der an einer Zielbewegung beteiligten Muskeln zu verstehen. Schnellkräftige sportliche Bewegungen müssen technisch einwandfrei beherrscht werden, da die Bewegung während der Ausführung nicht korrigiert werden kann. Die intermuskuläre Koordination ist eine wichtige Komponente um hohe Schnellkraftwerte in einer bestimmten Bewegung realisieren zu können und bedingt beim Erlernen neuer Bewegungsaufgaben den hohen anfänglichen Kraftzuwachs (K. Wirth & Schmidtbleicher, 2007). Bewegungsprogramme werden optimiert, indem die an einer Bewegung beteiligte Agonisten, Synergisten und Antagonisten in ihrer Kontraktionsstärke und der zeitlichen Aktivierung ökonomischer arbeiten (Baratta et al., 1988).

2.5 Schnellkraft in der sportlichen Praxis

Zu betonen ist, dass eine Steigerung der Maximalkraft bei höherem Leistungsniveau weniger zu einer weiteren Steigerung der Schnellkraftleistung beiträgt (Kraemer & Newton, 1994). Das richtige Maß an Maximalkrafttraining und vor allem dem Aufbau der als Basis anzusehenden /Muskelmasse hängt immer auch von der sportlichen Disziplin ab, in der ein Athlet/eine Athletin tätig ist (Hedrick, 1993). Zu viel Hypertrophietraining mit der damit einhergehenden Zunahme des Körpergewichts, kann in vielen Sportarten von Nachteil sein. Zuletzt ist die Steigerung der Maximalkraft nicht ohne weiteres auf andere Bewegungen übertragbar und daher ein begleitendes Techniktraining zur Schnellkraftsteigerung in der sportartspezifischen Zielbewegung unumgänglich (K. Wirth & Schmidtbleicher, 2007).

2.6 Der genetische Einfluss auf die individuellen muskulären Strukturen

Die Entwicklung der Muskulatur ist Untersuchungen zufolge stark an genetische Voraussetzungen gebunden (Livshits, Kato, Wilson, & Spector, 2007). So ist bereits die Anzahl der Muskelfasern mit einem Alter von 24 Wochen festgelegt und die

Querschnittsvergrößerungen sind als Hypertrophie-Effekte zu verstehen. Eine größere Anzahl an Muskelfasern begünstigt demnach auch die Muskelgröße (Stewart & Rittweger, 2006). Die theoretische Obergrenze einer trainingsbedingten Muskelfaservergrößerung existiert und unterliegt mitunter den genetischen Voraussetzungen einer Person, welche sich im Phänotyp äußert. Ob eine bestimmte Person dazu neigt auf Hypertrophietraining auch tatsächlich mit einer Muskelquerschnittsvergrößerung zu adaptieren ist mitunter stark vom genetischen Faktor abhängig. Während einige Personen starke Zuwächse durch Hypertrophietraining verzeichnen, neigen andere bei gleichem Training und gleicher Ernährung zu nur minimalen oder keinen Veränderungen, benötigen eventuell eine andere Trainingsmethode oder eine längere Trainingsphase (Schoenfeld, 2016). Mitunter ist für diese Hypertrophiefähigkeit einer Person auch die Fasertypzusammensetzung des Muskels von wesentlicher Bedeutung und diese scheint schätzungsweise zu 45 % vom genetischen Faktor beeinflusst zu sein. Beispielsweise liegt die Streuung der Typ I Fasern beim „Vastus lateralis“ bei 35-65 % (Schoenfeld, 2016). Dabei ist die Verteilung der Faseranteile nicht in allen Muskeln einer Person gleich. So kann ein Muskel einer Person eine Dominanz der Typ I Fasern aufzeigen, während ein anders lokalisierter Muskel einen höheren prozentuellen Anteil an Typ II Fasern verzeichnet (Kosek, Kim, Petrella, Cross, & Bamman, 2006). Demnach ist es nachvollziehbar, dass je nach Muskelfasertyp auch unterschiedliche Krafttrainingsreize bessere Leistungssteigerungen mit sich bringen. Eine Person mit höherem Anteil an Typ I Fasern dürfte demnach bei etwas leichteren Gewichten bessere Trainingserfolge erzielen (Petrella, Kim, Mayhew, Cross, & Bamman, 2008), während bei einer Person mit höheren Anteilen an Typ II Fasern schwerere Widerstände zur Leistungssteigerung Anwendung finden sollten (Fisher, Steele, Bruce-Low, & Smith, 2011).

3. Trainierbarkeit im Kindes- und Jugendalter

3.1 Sicherheitsaspekte und gesundheitliche Auswirkungen

Professionell angeleitetes und technisch sauber durchgeführtes Krafttraining, angepasst an Trainingsalter, physiologische Voraussetzungen, Sportart und psychologische Reife der jungen Athlet/innen vermindert das Risiko von sportbezogenen Verletzungen und sollte als wichtiger Inhalt jedes Trainingsprogrammes für heranwachsende Sportler/innen betrachtet werden. Kinder und Jugendliche, die keine sportlichen Aktivitäten betreiben, welche die Muskeln kräftigen und motorische Fähigkeiten in jungen Jahren schulen, haben ein erhöhtes Risiko gesundheitlicher Probleme im späteren Leben. Zu Beginn eines Krafttrainings im Kindesalter steht die Aneignung der richtigen Bewegungstechnik und sauberen Übungsausführung im Vordergrund um die Sicherheit, Effektivität und Nachhaltigkeit zu gewährleisten (Lloyd, Faigenbaum, et al., 2014). Es gibt keine wissenschaftlichen Anhaltspunkte dafür, dass das Training an sich das Wachstum negativ beeinflusst bzw. dadurch der Zeitpunkt des Einsetzens der Pubertät verändert (Malina, 1994). Spezifisches Krafttraining mit Druckbelastungen wirkt sich positiv auf osteoplastische Prozesse aus und ist wichtig für den knöchernen Umbau und das Wachstum (Vicente-Rodriguez, 2006). Da im Kindes- und Jugendalter die Muskeln, Sehnen und Bänder kräftig und elastisch sind (Schmitt, 2007), ist bei Kindern primär der plastische Röhrenknochen mit seiner geringeren Kraffteinwirkungskapazität und bei Jugendlichen die Epiphysenfugen die verletzungsanfälligsten Strukturen. Bei jungen Erwachsenen ist der Kapsel–Band–Apparat und im fortgeschrittenem Alter die osteoporosebedingte Verminderung der Belastbarkeit der Knochen als verletzungsanfällig zu betrachten (Hefti, 2006).

In der stärksten Wachstumsphase der Pubertät („peak high velocity“) besteht daher aufgrund der ungewöhnlich raschen Proportionsveränderungen ein etwas erhöhtes Verletzungsrisiko (Haff & Triplett, 2016b). Muskeldysbalancen, eine Veränderung des Körperschwerpunktes und der noch wachsenden Knochen erfordern eine individuelle Anpassung des Trainingsprogrammes. Mädchen befinden sich mit ca. 12 Jahren, Buben mit etwa 14 Jahren in dieser besonderen Entwicklungsphase (Myer et al., 2009). Durch das früher eintretende und abschließende Wachstum der Mädchen kommt es zu einer zwei bis drei Jahre früheren Verknöcherung der Epiphysenfugen (Haff & Triplett, 2016b).

Ein schweres Trauma dieser Epiphysenplatte vor Wachstumsabschluss kann zu permanenten Wachstumsbeeinträchtigungen führen. Aktuell wird angenommen, dass eine krafttrainingsbedingte Verletzung der aktiven Wachstumsplatte durch außergewöhnlich schnelles Knochenwachstum mit erhöhter Wahrscheinlichkeit in der „peak high velocity“ Phase der Pubertät auftreten kann. In früheren Entwicklungsphasen wird aufgrund der erhöhten Widerstandsfähigkeit gegenüber Scherkräften die Wahrscheinlichkeit trainingsbedingter präpubertärer Epiphysenverletzungen als deutlich geringer eingeschätzt. Das Auftreten solcher Verletzungen kann durch die adäquate Trainingsanpassung ausgewählter Übungen, deren korrekte Ausführung und die verwendeten Last vermieden werden (Haff & Triplett, 2016b). Frakturen der Epiphysenplatte sind nur bei Überkopfübungen mit sehr schweren Gewichten dokumentiert, bei denen keine richtige Ausführung durch Fachpersonal gewährleistet war (Runhaar et al., 2010). Ein Fall einer Epiphysenverletzung bei Einhaltung der Richtlinien zum Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen ist nicht dokumentiert (Haff & Triplett, 2016b). Es soll zu dem betont werden, dass Untersuchungen zufolge selbst 1-RM Tests als sicher angesehen werden, sofern bei diesen altersgemäße Richtlinien und eine technisch saubere Ausführung sichergestellt werden (Faigenbaum, Milliken, & Westcott, 2003). Fry and Schilling (2002) betonten, dass Krafttraining grundsätzlich kein erhöhtes, im Vergleich zu anderen Sportarten sogar ein deutlich geringeres Verletzungsrisiko mit sich bringt. Faigenbaum et al. (1996) merkten zusätzlich an, dass bei auftretenden Verletzungen zudem nicht ausreichend zwischen Verletzungen aufgrund der Durchführung eines Krafttrainings und jenen von Wettkampf-disziplinen wie Gewichtheben und Powerlifting differenziert wurde.

3.2 Methoden zur Einteilung in Entwicklungsstufen

Im Alltag und in der Trainingspraxis ist die einfachste und weit verbreitete Einteilung jene nach dem kalendarischen Alter. Allerdings werden dabei individuelle, teils sehr unterschiedliche körperliche Voraussetzungen nicht berücksichtigt (Behringer, 2011). So sind in einer Gruppe von 14-jährigen Größen- und Gewichtsunterschiede von bis zu 23 cm und 18 kg keine Seltenheit. Diese starken Differenzen basieren auf dem unterschiedlich zeitlichen Einsetzen, dem unterschiedlich voranschreitenden Tempo und der unterschiedlichen Intensität der pubertären Phase und der damit einhergehenden

Veränderungen (Lloyd, Oliver, Faigenbaum, Myer, & De Ste Croix, 2014). Aufgrund dieses Unterschiedes zwischen dem kalendarischen Alter und dem biologischen Entwicklungsstand von Kindern und Jugendlichen, treffen spezifische Trainingsreize auf sehr unterschiedliche Anpassungsvoraussetzungen und müssen daher sowohl für individuelle Trainingsplanungen als auch für Studienvergleiche in Kategorien eingeteilt werden (Behringer, 2011). Umso präziser diese Kategorien den tatsächlichen Entwicklungsstand von Kindern und Jugendlichen wieder geben, umso besser können trainingsbedingte Adaptionenprozesse von natürlichen Wachstums- und Reifungsprozessen während dieser schnell voranschreitenden Entwicklungsphase unterschieden werden. Eine grundlegende Form der Unterteilung ist jene in präpubertären-, pubertären- und postpubertären körperlichen Entwicklungsstand. Diese unterscheidet allerdings nicht ausreichend genau um individuelle Entwicklungsdifferenzen darzustellen (Malina, Bouchard, & Bar-Or, 2004).

Eine von drei gängigen Methoden die biologischen Faktoren für eine Klassifizierung nutzen, wäre jene der Unterscheidung des Ausprägungsgrades der sekundären Geschlechtsmerkmale nach Tanner (1962). Die Ausprägung vom Entwicklungsstand der weiblichen Brust, der Scham-behaarung und der Genitalien von Kindern und Jugendlichen dienen der Einteilung in fünf verschiedenen Stadien. Wesentlicher Kritikpunkt an dieser Methode ist die Verletzung der Intimsphäre, jedoch soll darauf hingewiesen werden, dass Studien zufolge die Selbsteinschätzung der Kinder und Jugendlichen nur wenig von jener des Fachpersonals abweicht (Chan et al., 2008). Die Methode der Analyse des Hormonspiegels von gonadotropen Hormonen (luteinisierendes Hormon und follikelstimulierendes Hormon) und den Sexualhormonen Testosteron und Östrogen ist aufgrund der unterliegenden Schwankungen, unabhängig des Reifungsprozesses, schwierig (Malina & Beunen, 2008). Die aktuell führende Methode stellt jene der Feststellung der Skelettreife dar. Da definierte Start und Endpunkte des ablaufenden Verknöcherungsprozess von Knorpel zu Knochenmasse im Zuge der Entwicklung zum Erwachsenen bekannt sind, ist diese Methode sehr gut geeignet um Einteilungen vorzunehmen (Baxter-Jones & Sherar, 2007). Dabei kann traditionellerweise aus einem Röntgenbild der linken Hand eine repräsentative Aussage über die Knochenreife des Gesamtskelettes abgegeben und dieses einem Skeletalter zugeordnet werden (Malina et al., 2004). Leider wird bei zu vielen Studien eine Reifeinteilung vollkommen vernachlässigt, wodurch diese Ergebnisse in Anbetracht der ständigen Veränderung des Reifungsprozesses nur schwer zu vergleichen sind (Falk & Tenenbaum, 1996).

3.3 Leistungssteigerung durch den natürlichen Reifungsprozess

Zwischen dem achten und 16. Lebensjahr kommt es bei Mädchen und Jungen zu einer erheblichen Zunahme der Masse (♀ 125% / ♂ 160 %) und der Körpergröße (♀ 30% / ♂ 40%). Bei Mädchen setzt die Pubertät zwischen acht und 13 Jahren, bei Buben zwischen neun und 15 Jahren ein. Durchschnittlich treten die Mädchen somit zwei Jahre früher als die Buben in diese Entwicklungsphase ein. Dadurch ist es möglich, dass 11-jährige Mädchen größer und in ihrer motorischen Entwicklung den gleichaltrigen Burschen voraus sein können (Lloyd, Oliver, et al., 2014). Da sich all diese Veränderungsprozesse auf die Leistungskenngrößen auswirken, müssen diese bei der Interpretation von Krafttrainingseffekten sensibel berücksichtigt werden (De Ste Croix, 2007).

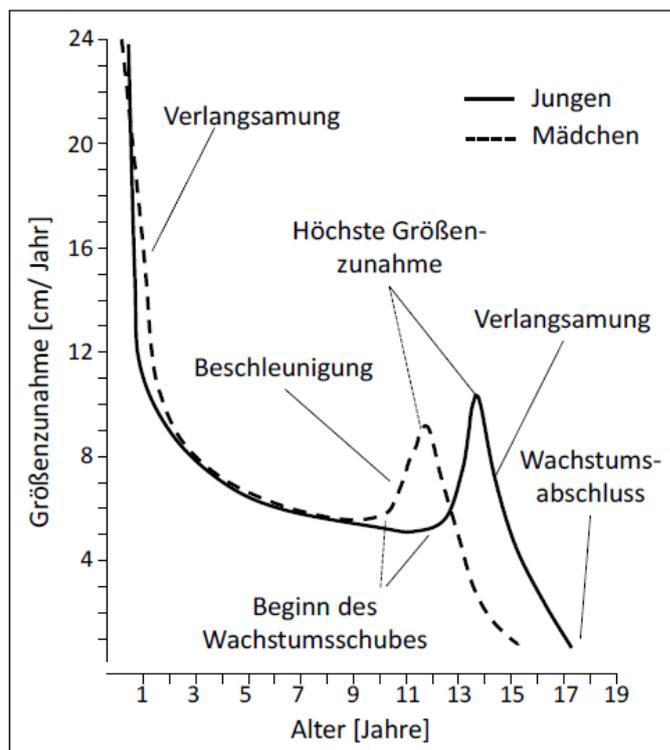


Abbildung 4 **Typische geschlechtsspezifische Wachstumsgeschwindigkeit**
(Behringer, 2011, S.20)

Der größte Kraftanstieg während des natürlichen Reifungsprozesses tritt bei Burschen typischerweise 1.2 Jahren nach der „peak high velocity“ und 0.8 Jahre nach dem „peak weight velocity“ auf, wobei die Zunahme der Körpermasse den genaueren Indikator darstellt. Diese Verzögerung liegt daran, dass der Muskel zuerst einer Wachstumsphase unterliegt und erst verzögert höhere Kraftwerte realisieren kann. Mädchen durchlaufen das gleiche Schema, jedoch stehen die Phasen im zeitlichen Abstand flexibler zueinander (Malina et al., 2004). Neben der Muskelquerschnitts-vergrößerung dürfen gerade in der Wachstumsphase von Kindern und Jugendlichen die Muskelfaserverlängerung und deren Einfluss auf die Schnellkraft nicht unberücksichtigt bleiben. Durch ein Längenwachstum steigt die in Folge geschaltete Anzahl der Sarkomere, wodurch eine Steigerung der Kontraktionsgeschwindigkeit erzielt wird (MacIntosh, Gardiner, & McComas, 2006). Zudem führt eine Zunahme des Muskelquerschnittes durch natürliche Reifungsprozesse mit der natürlichen Verschiebung der Muskelfaserzusammensetzung zugunsten der Typ II Fasern zu einer erhöhten Kraftproduktion pro cm² der physiologischen Querschnittsfläche. Anders gesagt bedeutet dies, dass nicht nur mehr Muskelmasse die höheren realisierbaren Kraftwerte bedingt, sondern die erhöhten Anteile der Typ II Fasern am Querschnitt diesen Effekt noch weiter steigern (Malisoux, Francaux, & Theisen, 2007).

3.4 Essentielle geschlechtsspezifische Unterschiede

Präpubertär sind keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Krafftähigkeit dokumentiert (Malina et al., 2004). Mit der früher eintretenden Pubertät (im Durchschnitt mit 11 Jahren) der Mädchen steigt die Ausbildung der Beinmuskulatur deutlich an und bildet so gegenüber Buben einen temporären Vorsprung aus, der erst mit dem intrapubertären Muskelwachstum der Jungen wieder aufgehoben wird. Betrachtet man den Oberkörper, so können sich Mädchen hier trotz früherer Pubertät keinen Vorteil verschaffen und bleiben ständig hinter den Jungen. Jene bilden in der Pubertät im Verhältnis zum weiblichen Geschlecht eine deutlich kräftigere Oberkörper-muskulatur aus. Diese wird aufgrund der erhöhten Testosteronsensitivität, vergleichbar mit der Entwicklung des Schultergürtels, als sekundäres Geschlechtsmerkmal angesehen (Jones & Round, 2008). Während die Kraftentwicklung bei den Mädchen auch durch die Pubertät hindurch linear ansteigt, ist bei den Jungen mit der Pubertät eine deutlicher

Zuwachs der Krafftähigkeit zu verzeichnen (Parker, Round, Sacco, & Jones, 1990). Diese unterschiedliche körperliche Entwicklung und der unterschiedliche Aufbau spiegeln sich auch in den Kraftwerten erwachsener Frauen wieder. So liegt deren absolute Krafftähigkeit der unteren Extremitäten näher bei jenen der Männer, während die zu realisierbaren Kraftwerte des Oberkörpers im Verhältnis geringer ausfallen (Bishop, Cureton, & Collins, 1987). Der Literatur zufolge geht man davon aus, dass Frauen auf den ganzen Körper bezogen in etwa $\frac{2}{3}$ der Krafftähigkeit eines vergleichbaren Mannes entwickeln (Haff & Triplett, 2016b). Die Ausprägung der oberen und unteren Muskulatur, sowie die prozentuell geringere Muskelmasse und der höhere Körperfettanteil tragen hierzu wesentlich bei (Bishop et al., 1987).

Staron et al. (2000) sprechen von geschlechtsspezifischen Unterschieden beim Verhältnis der Muskelfasertypen am Querschnitt im Erwachsenenalter, wodurch auf eine unterschiedliche Wachstumsgeschwindigkeit während des Reifungsprozesses geschlossen wird. Die größten Fasern sind bei Frauen dem Typ I, bei Männern dem Typ II A zugehörig und diese nehmen daher einen unterschiedlichen Prozentsatz am Muskelquerschnitt ein (Staron et al., 2000). Aktuellen Untersuchungen zufolge bestehen jedoch muskulären keine qualitativen Unterschiede und die Krafftähigkeit pro spezifischem Muskelquerschnittsdurchmesser ist daher als geschlechts-unabhängig anzusehen (Castro, McCann, Shaffrath, & Adams, 1995). Hervorgehoben wird, dass der Unterschied in der Muskelfaserzusammensetzung zwischen zwei Männern oder zwei Frauen größer ausfällt, als die geschlechtsspezifische Differenz. Eventuellen geschlechtsspezifischen Differenzen in der maximalen Rekrutierungsfähigkeit muss in weiteren Studien nachgegangen werden (Haff & Triplett, 2016b).

Eindeutige geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Trainierbarkeit im Kindesalter sind, aufgrund der geringen Studienanzahl in diesem Bereich und der sich widersprechenden Ergebnissen, aus heutiger Sicht nicht zu nennen. Mit dem Einsetzen der Pubertät dürften Jungen jedoch einen geringfügig höheren Kraftzuwachs erzielen als gleich entwickelte Mädchen (Behringer, 2011). Postpubertär verzeichnen Männer einen höheren absoluten trainingsbedingten Kraftanstieg, aber bezogen auf die relative (prozentuelle) Krafftähigkeit adaptieren Frauen in vergleichbarem oder höherem Ausmaß. Dies ist auf den qualitativ niedrigeren Ausgangswert der neuromuskulären Abläufe zurückzuführen (Myer, Ford, Palumbo, & Hewett, 2005). Der Anteil von trainingsbedingten Hypertrophie-Effekten an der Steigerung der Krafftähigkeit sollte auch

bei postpubertären Frauen nicht überbewertet werden und bedarf einem sehr hohen Volumen und einer dementsprechenden Intensität in Krafttrainingseinheiten (Cureton, Collins, Hill, & McElhannon, 1988). Geschlechtsspezifische Unterschiede im Krafttrainingsprogramm gibt es nicht, vielmehr muss das Training präzise auf die individuellen Stärken und Schwächen der Athlet/innen eingehen und auf die eigentliche Zielsportart abgestimmt sein. Durch die verhältnismäßig schwächere Oberkörpermuskulatur bei Frauen kann ein erhöhtes Trainings-volumen (mehr Sätze, unterschiedlichere Übungen) für einen weiteren Kraft- und dadurch Leistungsanstieg in ganzkörperbetonten Sportart nötig sein (Haff & Triplett, 2016b).

3.5 Genetische Einflussfaktoren im Kindes- und Jugendalter

Während der allgemeine genetische Einfluss auf muskuläre Strukturen bereits erläutert wurde, gelten genetische Einflüsse auf die individuelle Krafttrainierbarkeit von Kindern und Jugendlichen jedoch als sehr unergründetes Forschungsgebiet in dem Nachholbedarf besteht (Behringer, 2011). Erste Untersuchungen mit 105 Zwillingspaaren ließen auf einen moderaten bis moderat starken genetischen Einfluss auf die Kraftentwicklung selbst schließen (Beunen et al., 2003).

3.6 Einfluss des endokrinen Systems: Hormone

Mit dem Eintreten der Pubertät kommt es zu einem deutlichen Anstieg der anabolen Hormonausschüttung im kindlichen Organismus wodurch eine Zunahme der Muskelmasse und damit einhergehender Muskelkraft als natürlicher Reifungsprozess zu verstehen ist. Testosteron wirkt durch seine intramuskuläre aktivierende Funktion der Proteinbiosynthese anabol und trägt so zum Muskelaufbau bei. Während der Pubertät steigt die Konzentration je nach Geschlecht sehr unterschiedlich an. Während sich dieser Wert bei Mädchen nur verdoppelt, lässt sich bei Jungen ein mehr als 20-facher Anstieg messen. Dies erklärt vor allem die höheren Kraftzuwächse ab dem Beginn der Pubertät bei Buben. Das jedoch auch Mädchen trotz lediglich geringem Testosteronanstieg eine deutliche Steigerung der Trainierbarkeit vorweisen, legt nahe, dass auch

vor dem pubertär bedingten Anstieg der Sexualhormonkonzentration, ein Reihe hochwirksamer Hormone für den muskulären Aufbau vorzufinden sind (Behringer, 2011). Hier wären das Wachstums-hormon (HGH) und „insulin like growth factor“ (IGF-1) zu nennen, welche beide wichtige anabole Prozesse vor und während der Pubertät in Gang setzen (Casazza, Hanks, & Alvarez, 2010). Die Sekretion des Wachstumshormons steht in positiver Korrelation mit der Intensität der Trainings-belastung, wobei die genaue biologische Bedeutung noch ungeklärt ist (Rowland, 2005). Aus aktueller Sicht wird dieser Effekt, der bei Kindern und Jugendlichen mit einer Hormonauslenkung von über 430 % deutlich höher ausfällt als bei Adulten (242 %) als ein anaboler Prozesse angenommen, der eine strukturelle Regeneration und Adaption auf Trainingsreize darstellt (A. Wirth et al., 1978). Die Annahme einer Bedeutung des „insulin like growth factor“ wird dadurch unterstützt, dass bereits eine signifikant positive Korrelation der IGF-1 Konzentration zur fettfreien Körpermaße in jüngeren Jahren besteht (Garnett et al., 2004). Einen weiteren Einfluss auf die Muskelkraft haben die Schilddrüsenhormone durch ihre stimulierende Wirkung, jedoch sind hier noch weitere Forschungen ausständig, um fundierte Aussagen treffen zu können (Behringer, 2011).

Zusammenfassend ist zu betonen, dass neben den anabolen Hormonen, welche bei Muskelaufbauprozessen bedeutsam sind, das Verhältnis zu den katabolen Hormonen (Cortisol ist hier vorrangig zu nennen) von wesentlicher Bedeutung für das letztendliche Muskelwachstum ist (Pschyrembel, 2002). Durch spezifisches Training beanspruchte Muskelfasern sensibilisieren Membranen und Rezeptoren für anabole Faktoren wie Hormone, welche zu Muskelwachstum und Kraftsteigerungen führen (Haff & Triplett, 2016a). Bei postpubertären Buben und jungen Männern können bestimmte Trainingsreize einen Anstieg der Testosteronkonzentration bewirken. Dieser Effekt wird hervorgerufen, wenn Übungen durchgeführt werden, an der viele (große) Muskelgruppen beteiligt sind, eine Intensität von 85-95 % des 1-RM eingehalten wird, ein moderates bis hohes Volumen an Übungen durchgeführt wird und kurze Regenerationsphasen von 30 Sekunden bis zu einer Minute ausreichen müssen, wobei eine langfristige Durchführung des Krafttrainings von mehr als zwei Jahren empfohlen wird (Haff & Triplett, 2016a). Bei präpubertären Kindern kommen den hormonellen Faktoren aktuell nur eine geringe Bedeutung bezüglich des Muskelaufbaues und der daraus resultierenden Kraftsteigerung zuteil (Blimkie & Sale, 1998).

3.7 Reifebedingte Adaptionen der neuromuskulären Ansteuerungsprozesse

Um mit der zu Verfügung stehenden Muskelmasse eine bestmögliche Kraftentwicklung zu realisieren kommt es auf optimierte neuronale Steuerungsprozesse, welche bereits beim Thema „Schnellkraft“ behandelt wurden, an. Die dafür nötigen Trainingsadaptionen sind bereits beschrieben worden und sollen nun in Bezug zu vorherrschenden Voraussetzungen im Kindes- und Jugendalter gesetzt werden. Studien zufolge sind Kinder erst mit zunehmender Entwicklung zum Erwachsenenalter befähigt in einer maximal willkürlichen Situation besonders schnelle motorische Einheiten mit hoher Erregungsschwelle zu aktivieren (Falk et al., 2009). Kinder können durch diese geringere Typ II Faserbeteiligung nur einen kleineren Anteil ihres zu Verfügung stehenden Muskelquerschnitts für eine maximale Kraftentfaltung nutzen (Behringer, 2011). Dieses Aktivierungsdefizit liegt laut Grosset, Mora, Lambertz, and Perot (2008) bei siebenjährigen Kindern bei etwa 13 %, fällt bei 11-jährigen durch bessere Querschnittsnutzung auf etwa 3,3 % ab und beträgt beim Erwachsenen lediglich etwa 1,5 %. Zudem ist ein ökonomisch optimiertes Zusammenspiel von Agonist und Antagonist für eine hohe Kraftentwicklung essentiell, da sonst der Antagonist bei zu hoher Aktivierung der realisierten Kraftentfaltung des Agonisten entgegen wirkt. Derartige Koaktivierungen werden beim allgemeinen Reifungsprozess und vorrangig bei der Trainingsanpassung an Bewegungsmuster reduziert und führen zu einer Erhöhung der resultierenden Kraft (Frost, Dowling, Dyson, & Bar-Or, 1997). Unter morphologischer Betrachtungsweise kommt es im Lauf des kindlichen Reifungsprozesses zu einer zunehmenden Myelinisierung der efferenten Nervenfasern sowie einer damit einhergehenden Erhöhung der Leitungsgeschwindigkeit die sich folglich positiv auf die Kraftentwicklung auswirkt (Baechle, Earle, & Wathen, 2008). Da diese Myelinisierungen erst mit bzw. nach der Pubertät abgeschlossen sind, können schnelle Reaktionen und hochkomplexe Bewegungen nur in limitierter Ausführung realisiert werden und hohe Kraft- und Schnellkraftwerte sind zuvor unmöglich abzurufen (Haff & Triplett, 2016b).

3.8 Anpassungen neuronaler Natur

Kraftzuwächse durch Veränderungen auf rein neuronaler Ebene sind aus heutigem Forschungsstand nicht unwahrscheinlich, jedoch aus Mangel an zur Verfügung stehenden Daten und der ebenfalls bestehenden Problematik invasiver Methoden bei der Datenerhebung nicht ausreichend wissenschaftlich für den Bereich des Kindes- und Jugendalters gestützt (Malina et al., 2004).

3.9 Krafttrainingsadaptionen im Kindes- und Jugendalter

Aktuellen Studien zufolge ist die Trainierbarkeit von Kindern und Jugendlichen nachgewiesen und sie kommen diesbezüglich zu vergleichbaren Ergebnissen. Dabei sind durchschnittliche Kraftzuwächse von 3,1 % pro Woche dokumentiert, welche vergleichbar mit jenen von Erwachsenen wären. Jedoch ist hier zu kritisieren, dass die Studien meist nicht ausreichend lange durchgeführt wurden und diese Kraftzuwächse vor allem zu Beginn durch inter- und intramuskuläre Anpassungsprozesse stark anstiegen. Dieser Effekt wurde nur in den wenigsten Studien durch eine vorausgehende Trainingsphase eliminiert und da die Studiendauern meist mit acht bis 12 Wochen gering ausfielen ist es äußerst schwer Aussagen über die Einflüsse eines Langzeitkrafttrainings auf das Leistungsniveau im Kindes- und Jugendalter zu tätigen (Behringer, 2011). Rund 14-30 % der Kraftzuwächse sind durch Hypertrophie der Muskulatur zu erwarten (Falk & Tenenbaum, 1996). Kraemer and Fleck (2005) merkten eine Verbesserung von 30-50 % der Kraftleistung an, die auf Studiendesigns und Anpassungen an die Kurzzeit-Trainingsprogramme zurückzuführen sind. Manche Wissenschaftler/innen kommen präpubertär zu besseren Werten der Kraftsteigerung als diese bei Erwachsenen vorzufinden sind und führen diesen Effekt auf das sehr niedrige Ausgangsniveau der Kinder zurück (Falk & Tenenbaum, 1996). Menzi et al. (2007) zufolge haben präpubertäre Kinder eine geringfügig bessere Trainierbarkeit vorzuweisen, als pubertierende- oder postpubertierende Jugendliche. Behringer (2011) kam in einer ersten beschreibenden Zusammenfassung von 41 Studien ebenfalls zu einer Abnahme der Trainierbarkeit mit zunehmendem Alter. Schon damals betrachte er dieses Ergebnis selbst kritisch, begründet durch sehr unterschiedliche Studiendesigns, die geringen Proband/innenzahlen und die hohen Streuungen in allen Altersklassen. Er beschäftigte

sich folglich in einer anschließenden Metaanalyse vertiefend mit diesem Thema und kam dabei zu einer geringfügig signifikant positiven Korrelation zur altersbezogenen Trainierbarkeit (Behringer et al., 2011). Unabhängig von der geringfügigen positiven oder negativen Korrelation der Trainierbarkeit, sprechen sich beide Autoren klar für präpubertäre Krafttrainingseffekte aus und die veraltete Annahme über erst ab der Pubertät greifende Krafttrainingsadaptionen wurde somit deutlich widerlegt.

3.10 Hypertrophie-Effekte im Kindes- und Jugendalter

Der pubertätsbedingte Muskelzuwachs findet in beiden Geschlechtern durch Hypertrophie-Effekte und nicht durch Hyperplasie statt. Bei Frauen findet die Phase des größten Muskel-zuwachses zwischen 16 und 20 Jahren, bei Männern zwischen 18 und 25 Jahren in Abhängigkeit von Krafttraining und Ernährung statt (Malina et al., 2004). Hypertrophie-Effekte im Kindesalter als Adaption auf ein durchgeführtes Krafttraining sind bestehenden Studien zufolge als sehr gering einzuschätzen (Behringer, 2011). Der inadäquate androgene Hormonspiegel unterscheidet sich präpubertär deutlich von der postpubertären Konzentration. Vergleicht man die Testosteron-konzentration von Buben und Mädchen mit 20-60 ng / 100 ml mit jenen Werten von rund 600 ng / 100 ml bei männlichen postpubertären Probanden verdeutlichen diese die grundlegenden Unterschiede. Dennoch muss geschlechtsspezifisch betont werden, dass der Testosteronwert bei Frauen auch postpubertär unverändert bleibt (Malina et al., 2004). Eine genaue Datenerhebung ist schwierig, da anthropometrische Messungen sehr ungenau sind und exaktere Methoden wie beispielsweise mittels isotonenmarkierten Aminosäuren und anschließender Muskelbiopsie aus ethischen Gründen aufgrund der Invasivität nicht anwendbar sind (Behringer, 2011; De Ste Croix, 2007). Derzeit stellt die MRT (Magnet Resonanz Tomographie) die exakteste und ökonomischste Möglichkeit der Datenerhebung dar (Behringer, 2011). Der trainingsbedingte Kraftzuwachs ist Studien zufolge im Verhältnis wesentlich größer als der eventuell bestehende geringe Muskelzuwachs, weshalb zur Begründung der Leistungssteigerung in der Vergangenheit neuromuskuläre Adaptionen in den Fokus rückten (Malina et al., 2004). Aktuell werden die bisherigen Studien kritisch betrachtet und angemerkt, dass aufgrund des niedrigeren Hormonspiegels eine längere Durchführung und intensivere Belastungen beim Krafttraining durchgeführt werden müsste, um eine Hypertrophie bei Kindern auszulösen

(Rowland, 2005). Diese Überlegungen geben Anlass den Hypertrophie-Aspekt weiter zu verfolgen (Behringer, 2011).

3.11 Die Kraftverlustrate im Vergleich

Nach einem mehrwöchig durchgeführten Krafttraining kommt es bei Untersuchungen zum wöchentlichen Kraftverlust in einer folgenden krafttrainingsfreien Phase bei Kindern und Jugendlichen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Mujika and Padilla (2001) zufolge sind im Mittel eine Kraftverlustrate von 0,5 bis 1,5 % pro Woche zu erwarten. Dieser Wert würde jenen aus Studien mit Erwachsenen ähneln und sei somit vergleichbar.

4. Vergleichende Darstellung aller Studien

Um Parallelen und Unterschiede in der Leistungssteigerung, durch das Absolvieren unterschiedlicher Krafttrainingsmethoden und Kombinationen, auf verschiedene Leistungsparameter („vertical jump performance“, Sprintgeschwindigkeiten, Maximalkraft, sportart-spezifische Tests, „intermitted endurance“ Tests, Agilitätstests, Balancetests) festzustellen, werden nachfolgend 12 Studien miteinander verglichen. Folgende Trainingsmethoden kamen, teils in Kombination, zur Anwendung bei Proband/innen unterschiedlichen Alters oder / und Trainingszustandes:

- plyometrisches Training
- „machine based / free weights training“
(unspezifisches / traditionelles Krafttraining)
- sportartspezifisches Training
- „high intensity training“
- Widerstandsläufe („resistance sprints“)
- Elektromyostimulationstraining (EMS)

Da sich die Studien neben der Trainingsmethode auch in ihrer Interventionsdauer und Dichte sowie dem Alter der Proband/innen und den Messmethoden unterscheiden, gilt es diese folglich kritisch zu betrachten. Um einen „einheitliche“ Leistungsparameter über alle Studien hinweg zu gewährleisten und in zumindest einem Punkt Studien miteinander vergleichen zu können, steht primär die Kraftfähigkeit der unteren Extremitäten im Fokus, ermittelt durch den „vertical jump performance“ Test oder den Maximalkrafttest welche daher in jeder ausgearbeiteten Studie beinhaltet sein müssen.

Folglich werden die Ergebnisse der Studien in diesem Kapitel ausführlich präsentiert.

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der angewandten Trainingsmethoden, Interventionsphasen und -Intensität sowie Proband/innenzahlen

	Studie	Trainingsmethode (übernommen aus den englischen Originalartikeln)	Alter	Dauer (Wochen)	Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche	Teilnehmer n=
1	Ferrete et al. 2014	on field combined strength and high-intensity training	8 - 9	26	2x	24
2	Ramirez-Campillo et al. 2014	vertical, horizontal and combined plyometric training	10 - 14	6	2x	40
3	Lloyd et al. 2016	traditional strength, plyometric and combined resistance training	12.7 ± 0.4	6	2x	40
4	Hetzler et al. 1997	strength training on anaerobic power	13.6 ± 0.9	12	3x	30
5	Piazza et al. 2014	resistance training with dumbbells or weighted bells	12.0 ± 1.8	6	2x	57
6	Christou et al. 2006	strength training	12 -15	16	2x	18
7	Sander et al. 2013	long-term strength training	14-19	2 Jahre	2x	134
8	Hoyo et al. 2016	full back squat vs. resistance sprint vs. plyometric training	18-19	8	2x	22
9	Kobal et al. 2016	different combinations of strength and plyometric training	18-19	8	2x	27
10	Kotzamanidis et al. 2005	combinations of strength and speed training vs strength training only	16-18	13	3x	35
11	Chaouachi et al. 2014	plyometric training (DVC) vs plyometric with balance	12-15	8	3x	42
12	Deley et al. 2011	electromyostimulation	11-13	6	3x / 1x je 3 Wochen	16

Tabelle 3 **Überblick der Studien mit wesentlichen Parametern der Studiendesigns**

Nummerierung der Studien nach Tabelle 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Gesamt
<u>Messung / Datenerhebung</u> Nach mehrwöchigem Widerstandstraining muss als übergeordneter Testparameter die Effektgröße der Schnell- oder Maximalkraft durch die „vertical jump performance“ oder einem Maximalkrafttest der unteren Extremitäten („lower body“) ermittelt werden.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	12 / 12
<u>kalendarisches Alter</u> - Das Alter der Proband/innen im Durchschnitt unter 14 Jahren - Das Alter der Proband/innen liegt Durchschnitt zwischen 14 und 19 Jahren	*	*	*	*	*	*					*	*	8 / 12
<u>Kontrollgruppen</u> Die aktiven Gruppen (Performancegruppen) werden mit einer passiven Kontrollgruppe verglichen, die dem-nach rein natürlichen Reifungsprozessen unterliegt.			*	*		*	*			*		*	6 / 12
Der Effekt einer spezifischen Trainingsmethode oder -kombination wird erhoben, indem er mit einer aktiven Kontrollgruppe bzw. einer zweiten performance-Gruppe verglichen wird.	*			*		*				*			4 / 12
<u>Trainingsmethoden oder deren Kombinationen im Vergleich</u>		*	*		*	*		*	*	*	*		8 / 12
<u>Angaben zum biologischen Alter</u> (~ Aufgrund des Alters kann auf die prä- oder postpubertäre Entwicklungsstufe geschlossen werden und eine Angabe dieser ist zu vernachlässigen)	~			*	*		~	~	~	~			2 (7) / 12
<u>Kategorisierung nach Tanner</u> (~ Angabe zur Menstruation bei Proband/innen)				*	~	*					*		3 (4) / 12

Ferrete, Rrequena, Suarez-Arrones, and Villarreal (2014) untersuchten in ihrer Studie („*Effect of strength and high-intensity training in jumping, sprinting and intermittent endurance performance in prepubertal soccer players*“) die Effekte von Kraft- und „high-intensity“ Trainingsübungen auf die „vertical jump performance“, die Sprintgeschwindigkeit sowie die Ausdauer und Hüftflexibilität bei präpubertären Fußballspielern im Alter von acht bis neun Jahren aus Spanien (Real Betis Balompie Academy).

Das spezifische Trainingsprogramm wurde über eine Dauer von 26 Wochen zwei Mal pro Woche vor dem eigentlichen Fussballtraining (drei Mal pro Woche, Montag-Mittwoch-Freitag) durchgeführt. Die Einheiten zeichneten sich durch geringen Trainingsumfang und hohe Intensität aus und enthielten Kraftübungen, Sprünge, Sprints und „cuttings“. Vor dem Start der Interventionsphase wurden Ausgangswerte („baseline“) durch folgende Tests erhoben: 15 Meter Sprintzeit, „counter movement jump“, „Yo-Yo intermitted endurance“ Test und dem „sit and reach flexibility“ Test (bei Verringerung dieser Flexibilität durch das zusätzliche Training, wurde von einer erhöhten Verletzungswahrscheinlichkeit ausgegangen). Alle Tests wurden nach neun, 18 und abschließend mit der Interventionsphase nach 26 Wochen wiederholt. Die Messungen und die dafür vorgesehene Aufwärmphase waren standardisiert und wurden bei jeder Wiederholung exakt gleich durchgeführt. Vor der ersten Testbatterie wurden zusätzlich anthropometrische Daten wie Körpergewicht, Größe und Körperfett durch Hautfaltendickenmessung ermittelt.

Durchführung 15 Meter Sprintzeit:

Der Sprinttest wurde auf Kunstrasen, im Freien bei vergleichbaren Wetterbedingungen (Sonne und gleichen Windverhältnissen) durchgeführt. Aus dem Hockstart wurden zwei langsamere Probeläufe absolviert, gefolgt von zwei maximal schnellen Läufen. Das Startsignal war ein standardisiertes akustisches Signal und die Pause zwischen den Läufen betrug drei Minuten. Die schnellere der beiden Zeiten wurde für die statistische Analyse herangezogen. Die Messung erfolgte über eine Zeitmessung mit Lichtschranke.

Durchführung „counter movement jump“:

Der CMJ dient zur Messung der Explosivkraft der unteren Extremitäten. Der Test wurde auf einer Kontaktplattform („Ergo Jump Plus Bosco System, Muscle LabV718, Langesund, Norway“) durchgeführt. Die Hände waren dabei an der Hüfte positioniert, gefolgt von einer Abwärtsbewegung wurde dann ein maximal hoher Sprung realisiert. Dieser wurde aufrecht und durch Abfederung der Knie abgefangen. Die Sprünge wurden im Abstand von fünf Sekunden gemessen. Der obere und untere Extremwert wurden eliminiert, die mittleren drei Werte fanden in der statistischen Analyse Verwendung.

Durchführung „Yo-Yo intermitted endurance“ Test:

Dieser Test stellt mit seinem kurzen intensiven Linienlauf über zwei standardisierte 20 Meter Geraden und den zehn Sekunden dauernden aktiven Regenerationsphasen einen sportart-spezifischen Ausdauer-Test dar, der die anaerobe Energiebereitstellung berücksichtigt und somit der Belastung während eines Fußballspiels sehr nahe kommt. Der Test startete in der Stufe acht mit 11.08 km/h. Die Gesamtlänge bis zum individuellen Abbruch durch Nichteinhalten der vorgegebenen Zeiten (akustisches Signal) wurde für die statistische Analyse herangezogen.

Die 24 Spieler wurden nach der ersten Testung per Zufall in eine Kontrollgruppe (n=13) und eine Performance („experimental“) Gruppe (n=11) unterteilt. Die Kontrollgruppe nahm nur am eigentlichen Fußballtraining teil, während die Performance Gruppe vor diesem Training zusätzlich das spezifische Kraft- und „high-intensity“ Training absolvierte. Keines der Kinder betrieb vor dieser Studie regelmäßig Kraft- und „high-intensity“ Training oder hatte mit einer Sportart zu tun, in der diese Trainingsform häufig anzutreffen ist. Weitere Ausschlusskriterien waren medizinische Probleme und Verletzungen in den letzten drei Monaten vor dem Beginn der Studie so wie Operationen am unteren Körper (wie z.B. Knie und / oder Knöchel) vor weniger als zwei Jahren.

Kraft- und „high-intensity“ Trainingsprogramm:

Es wurde folgendes Trainingsprogramm mit dem Körpergewicht oder leichten Zusatz-gewichten in maximaler Intensität vor zwei der drei eigentlichen Fußballtrainings pro Woche ausgeführt.

Die Durchführung dauerte 30 Minuten und lief wie folgt ab:

- zehn Minuten Aufwärmen durch fünf Minuten Laufen mit sechs km/h, fünf Minuten Stretch-Übungen und zwei submaximale Sprungübungen
- 15 Minuten Kraft- und „high-intensity“ Übungen (eine Minute Pause)
- fünf Minuten „stretchen“

Die Kraft- und „high-intensity“ Übungen bestanden aus:

- $\frac{1}{4}$ „squats“
- „deep jumps“
- CMJ mit Gewicht
- Sprintübungen

Das Training und die Übungsausführung wurden von einem zertifizierten Krafttrainer begleitet und überwacht.

Tabelle 4 Kraft- und „high-intensity“ Trainingsprogram (Ferrete et al., 2014)

Weeks	1		2		3		4		5		6		7		8		
Exercises/ sessions	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	9
1/4 Squat	2 × 8	3 × 8	3 × 8	3 × 6	3 × 8	3 8	2 × 6	3 6	3 × 6	3 × 4	3 × 4	3 × 4	2 × 6	3 × 6	3 × 6	3 × 6	Tests
Vertical jump (3-kg weight)	3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		
Deep squat	3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		
Weight displacement	3 × 10"		3 × 10"		4 × 10"		4 × 10"		5 × 10"		3 × 10"		4 × 10"		4 × 10"		
Obstacle jump		3 × 5		3 × 5	3 × 5		3 × 5			3 × 5		3 × 5		3 × 5		3 × 5	
Sprint		3 × 20		4 × 20	3 × 20		4 × 20			4 × 20		3 × 20		4 × 20		4 × 20	

Weeks	10		11		12		13		14		15		16		17		
Exercises/ sessions	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	18
1/4 Squat	3 × 6	3 × 6	3 × 8	3 × 6	3 × 8	3 × 8	3 × 6	3 × 6	3 × 6	3 × 4	3 × 4	3 × 4	3 × 4	3 × 4	3 × 6	3 × 6	Tests
Vertical jump (3-kg weight)	3 × 4		3 × 4		3 × 4		3 × 4		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 5		
Deep squat	3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		3 × 6		
Weight displacement	4 × 10"		4 × 10"		4 × 10"		4 × 10"		5 × 10"		3 × 10"		3 × 10"		3 × 10"		
Obstacle jump		3 × 5		3 × 5	3 × 5												
Sprint		4 × 20		4 × 20	3 × 20		4 × 20		4 × 20		3 × 20		3 × 20		4 × 20		

Weeks	19		20		21		22		23		24		25		26		
Exercises/ sessions	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40	S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	27
1/4 Squat	4 × 6	4 × 6	4 × 8	4 × 6	4 × 8	4 × 8	5 × 6	5 × 6	5 × 6	6 × 4	4 × 4	3 × 4	4 × 4	3 × 4	4 × 6	4 × 4	Tests
Vertical jump (3- kg weight)	4 × 4		4 × 4		4 × 4		5 × 4		3 × 4		2 × 6		2 × 6		4 × 4		
Deep squat	4 × 6		4 × 6		4 × 6		5 × 6		5 × 6		3 × 6		3 × 6		4 × 6		
Weight displacement (in.)	5 × 10		5 × 10		5 × 10		6 × 10		5 × 10		3 × 10		3 × 10		4 × 10		
Obstacle jump		4 × 5		4 × 5	4 × 5		5 × 5		5 × 5		3 × 5		3 × 5		4 × 5		
Sprint		4 × 20		4 × 20	4 × 20		4 × 20		5 × 20		3 × 20		3 × 20		4 × 20		

*S = sessions; 1/4 squat = the degree of knee flexion was over 120°; vertical jump (3-kg weight) = rebounds jumps using a weight ball of 3 kg; deep squat = the degree of knee flexion was >30°; weight displacement = maximal speed with partner resistance (a set always was of 10 seconds); obstacle jump = rebounds jumps over platform of 5, 10, and 15 cm and lateral jumps over hurdles of 10 cm; sprint = maximal speed on 20 m.

Ramirez-Campillo, Gallardo, et al. (2015) beschäftigten sich im Rahmen ihrer Studie („Effect of vertical, horizontal and combined plyometric training on explosive, balance and endurance performance of young soccer players“) mit den Auswirkungen von vertikalem-, horizontalem- und kombiniertem plyometrischen Training auf die Muskelexplosivität, die Balance und die Ausdauerleistung bei 40 männlichen Fußballspielern im Alter von zehn bis 14 Jahren über eine Interventionsdauer von zwei Einheiten über sechs Wochen.

Die Autoren sind aufgrund vorangegangener Studien der Meinung, dass vertikales- und horizontales plyometrisches Training unterschiedliche neuromuskuläre Anpassungen unterstützen. Soll sowohl die horizontale- (Sprints) als auch die vertikale (Sprung) „Power“ verbessert werden, sind ihrer Meinung nach auch beide Sprungmethoden im Training anzuwenden. Um diese Annahme zu überprüfen und die unterschiedlichen plyometrischen Sprungvarianten in ihrer Effektivität vergleichen zu können, teilten sie die 40 Spieler in vier Trainingsgruppen ein: Kontrollgruppe (CG; n=10), vertikale plyometrische Gruppe (VG; n=10), horizontale plyometrische Gruppe (HG; n=10), kombiniertes vertikales- und horizontales plyometrisches Training (VHG; n=10). Vor der Testung wurden anthropometrische Daten erhoben.

Wie schon in der vorangegangenen Studie von Ferrete et al. (2014) betrieb keines der Kinder zuvor regelmäßig Kraft- oder plyometrisches Training oder hatte Verletzungen oder Operationen an den unteren Extremitäten welche die Leistung beeinflussen könnten. Zwei Wochen vor dem Start der Studie wurden mit einführenden Übungen und dem Kennenlernen der Abläufe begonnen um den Lerneffekt zu verringern. Es wurde immer darauf geachtet, dass die Kinder bei den Tests erholt sind und diese standardisiert ablaufen (Aufwärmprogramm, Gegebenheiten der Halle, Reihenfolge der Tests, Kleidung und Schuhe, Testpersonal). Die Testungen nahmen drei Tage in Anspruch.

Durchführungen der Tests (Tag 1):

Der **vertikale- (VCMJ) und horizontale (HCMJ) „counter movement jump“** wurde mit Armbewegung durchgeführt um eine maximale Höhe bzw. Weite in Zentimetern zu erreichen.

Beim **20 Zentimeter „drop-jump“ mit reaktivem Kraftindex (RSI20)** wurden die Sprunghöhe und die Kontaktzeit durch eine elektronische Kontaktmatte („Ergojump System“) gemessen, der Reaktivwert ergab sich aus Höhe/Kontaktzeit. Die Arme blieben dabei in die Hüfte gestemmt. Die Sportler sollten nach dem Herabspringen von einer 20 Zentimeter hohen Box eine maximale Sprunghöhe mit möglichst minimaler Kontaktzeit realisieren.

Bei dem **„multiple 5 –Bounds“ Test (MB5)** durften die Arme aktiv eingesetzt werden und die Distanz wurde mit einem Messband in Zentimetern ermittelt.

Durchführungen der Tests (Tag 2):

Mit **Sprintests** aus ruhendem, gehocktem Start ausgelöst durch ein standardisiertes akustisches Signal wurde mit der 15 Meter Marke die Beschleunigung, mit der 30 Meter Marke die maximale Geschwindigkeit ermittelt. Die Zeitnehmung in Form einer Licht-schranke war in 0.7 Meter Höhe angebracht, damit diese mit der Hüfte ausgelöst und nicht von der Beinbewegung verfälscht wurde.

Die Durchführung der Zeitnehmung beim fußballspezifischen **“change of direction speed“ Test (CODS)** war dieselbe wie beim Sprinttest.

Die **Schusskraft** („maximal kick velocity“ - MKV) wurde mit einem Ball der Größe fünf durchgeführt und mit einer Radarpistole („Sports Radar Speed Gun SR3600“) gemessen. Geschossen wurde auf ein vier Meter entferntes Ziel das sich im Tor befand, nach zwei Schritten direktem Anlauf und mit dem „starken“ Bein. Durchgeführt wurden zwei Probeschüsse von drei maximalen Schüssen mit jeweils einer Minute Pause.

Durchführungen der Tests (Tag 3):

Der **Balance-Test** wurde auf einer Gleichgewichtsplattform („Bertec BP5050“) mit (a) offenen Augen bzw. (b) geschlossenen Augen mit einer Aufzeichnungsrate von 1000 Hz durchgeführt.

Der „Yo-Yo intermittent recovery level 1“ Test (Yo-Yo IR1) wurde bis zur Ausbelastung oder aber bis zu einem maximalen Puls von 206 Schlägen pro Minute durchgeführt.

Beschreibung des plyometrischen Trainingsprogramms für die drei Performancegruppen:

Der folgende Trainingsplan wurde unter professioneller Anleitung während der Wettkampfsaison zwei Mal wöchentlich vor dem eigentlichen 90 Minuten dauernden Fußballtraining sechs Wochen lang durchgeführt. Alle Performancegruppen führten dieselbe Anzahl an Sprüngen, zur selben Uhrzeit, mit gleichen Pausenzeiten und mit gleicher vorangegangener Ruhephase aus.

Tabelle 5 Sechswöchiges plyometrisches Trainingsprogramm der drei Performancegruppen (Ramirez-Campillo et al., 2015)

Group	Exercises‡§	Set × repetitions (mode of execution)					
		Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
VG (n = 10)	Vertical right leg	3 × 5 (C)	3 × 6 (C)	3 × 7 (C)	3 × 8 (C)	3 × 9 (C)	3 × 10 (C)
		3 × 5 (A)	3 × 6 (A)	3 × 7 (A)	3 × 8 (A)	3 × 9 (A)	3 × 10 (A)
	Vertical left leg	3 × 5 (C)	3 × 6 (C)	3 × 7 (C)	3 × 8 (C)	3 × 9 (C)	3 × 10 (C)
		3 × 5 (A)	3 × 6 (A)	3 × 7 (A)	3 × 8 (A)	3 × 9 (A)	3 × 10 (A)
	Vertical bilateral	6 × 5 (C)	6 × 6 (C)	6 × 7 (C)	6 × 8 (C)	6 × 9 (C)	6 × 10 (C)
	6 × 5 (A)	6 × 6 (A)	6 × 7 (A)	6 × 8 (A)	6 × 9 (A)	6 × 10 (A)	
	Total per leg	90	104	125	144	162	180
HG (n = 10)	Horizontal right leg	3 × 5 (C)	3 × 6 (C)	3 × 7 (C)	3 × 8 (C)	3 × 9 (C)	3 × 10 (C)
		3 × 5 (A)	3 × 6 (A)	3 × 7 (A)	3 × 8 (A)	3 × 9 (A)	3 × 10 (A)
	Horizontal left leg	3 × 5 (C)	3 × 6 (C)	3 × 7 (C)	3 × 8 (C)	3 × 9 (C)	3 × 10 (C)
		3 × 5 (A)	3 × 6 (A)	3 × 7 (A)	3 × 8 (A)	3 × 9 (A)	3 × 10 (A)
	Horizontal bilateral	6 × 5 (C)	6 × 6 (C)	6 × 7 (C)	6 × 8 (C)	6 × 9 (C)	6 × 10 (C)
	6 × 5 (A)	6 × 6 (A)	6 × 7 (A)	6 × 8 (A)	6 × 9 (A)	6 × 10 (A)	
	Total per leg	90	104	125	144	162	180
VHG (n = 10)	Horizontal left leg	2 × 5 (C)	2 × 6 (C)	2 × 7 (C)	2 × 8 (C)	2 × 9 (C)	2 × 10 (C)
		2 × 5 (A)	2 × 6 (A)	2 × 7 (A)	2 × 8 (A)	2 × 9 (A)	2 × 10 (A)
	Horizontal right leg	2 × 5 (C)	2 × 6 (C)	2 × 7 (C)	2 × 8 (C)	2 × 9 (C)	2 × 10 (C)
		2 × 5 (A)	2 × 6 (A)	2 × 7 (A)	2 × 8 (A)	2 × 9 (A)	2 × 10 (A)
	Vertical left leg	2 × 5 (C)	2 × 6 (C)	2 × 7 (C)	2 × 8 (C)	2 × 9 (C)	2 × 10 (C)
		2 × 5 (A)	2 × 6 (A)	2 × 7 (A)	2 × 8 (A)	2 × 9 (A)	2 × 10 (A)
	Vertical right leg	2 × 5 (C)	2 × 6 (C)	2 × 7 (C)	2 × 8 (C)	2 × 9 (C)	2 × 10 (C)
		2 × 5 (A)	2 × 6 (A)	2 × 7 (A)	2 × 8 (A)	2 × 9 (A)	2 × 10 (A)
	Bilateral vertical	2 × 5 (C)	2 × 6 (C)	2 × 7 (C)	2 × 8 (C)	2 × 9 (C)	2 × 10 (C)
		2 × 5 (A)	2 × 6 (A)	2 × 7 (A)	2 × 8 (A)	2 × 9 (A)	2 × 10 (A)
	Bilateral horizontal	2 × 5 (C)	2 × 6 (C)	2 × 7 (C)	2 × 8 (C)	2 × 9 (C)	2 × 10 (C)
		2 × 5 (A)	2 × 6 (A)	2 × 7 (A)	2 × 8 (A)	2 × 9 (A)	2 × 10 (A)
		Total per leg	80	96	112	128	144

*VG = vertical plyometric training group; HG = horizontal plyometric training group; VHG = combined vertical + horizontal plyometric training group; C = cyclic; A = acyclic.

‡The volume of contacts described is per session and remains the same for the 2 plyometric training sessions completed each week.

‡The order of exercises execution was randomized for each training session.

§All exercises were executed with the technique described as countermovement with arms.

Lloyd et al. (2016) verglichen in ihrer Studie („*Changes in sprint and jump performance after traditional, plyometric, and combined resistance training in male youth pre- and post peak height velocity*“) die Auswirkungen von traditionellem Krafttraining, plyometrischem Training und einer Kombination der beiden Trainingsmethoden auf die Sprint- und Sprungkraftleistungen von insgesamt 40 präpubertären und 40 postpubertären männlichen Schülern. Diese zwei Altersklassen wurden jeweils in drei Trainingsgruppen (plyometrische Gruppe PT, Krafttrainings-gruppe TST, eine Kombination aus Kraft- und plyometrischem Training CT) sowie eine Kontroll-gruppe (CON, welche ausschließlich am normalen Sportunterricht teilnahm) unterteilt. Jede Gruppe bestand somit aus zehn Schülern. Auch in dieser Studie hatten die Probanden keinerlei Vorerfahrungen mit den beiden Krafttrainingsmethoden.

Die Trainingsdauer betrug für die Performancegruppen sechs Wochen mit zwei Trainingseinheiten pro Woche statt des regulären Sportunterrichts. Erhoben wurden anthropometrische Daten, die Sprunghöhe und Sprungweite („maximal 5 rebound“ Test), die maximale Laufgeschwindigkeit sowie die Beschleunigung und der Reaktivkraftindex durch einen „baseline-test“ und einen „post-test“ nach Abschluss der sechswöchigen Interventionsphase. Vor dem ersten Test fand bereits eine Gewöhnungsphase an das Testprotokoll statt, um einen Lerneffekt zu relativieren. Die Aufwärmphase und Testreihenfolge waren standardisiert, der beste aus drei Versuchen wurde für die weitere Analyse herangezogen. Die Pausen zwischen den Versuchen betragen je zwei Minuten, zwischen den verschiedenen Tests fünf Minuten.

Durchführung „jump“ Protokoll:

Ermittelt wurde die „squat jump“ Sprunghöhe in Zentimetern aus einem zwei Sekunden lang gehaltenen Kniewinkel von 90°, die Arme dabei in die Hüfte gestemmt. Die Reaktivkraftwerte in Millimetern pro Millisekunde wurden während des „5 maximal rebound“ Test ermittelt. Bei diesem Test starteten die Schüler mit einem CMJ, gefolgt von vier weiteren Sprüngen, in denen möglichst hohe Werte erzielt werden und zugleich die Bodenkontaktzeit möglichst gering ausfallen sollte. Beide Sprungtests wurden auf einer mobilen Kontaktmatte („Smart Jump“) absolviert.

Durchführung „sprint“ Protokoll:

Die Sprintzeiten wurden in einer Sporthalle durch eine Zeitnehmung der Marke „Smart Speed“ ermittelt. Dabei wurde die Beschleunigung über einen zehn Meter Sprint aus dem Stand, 30 Zentimeter vor der ersten Zeitnehmung ermittelt und die maximale Geschwindigkeit durch einen fliegenden Sprint über 20 Meter.

Trainingsprotokoll:

Das Training wurde durch Fachpersonal angeleitet und fand nach einer 48-stündigen Erholungsphase statt. Die Messwerte der Schüler wurden nur in die Studie miteinbezogen, wenn mindestens 80 % der Trainingsprogramme absolviert wurden. Diese Einheiten dauerten nicht länger als 60 Minuten mit ein bis zwei minütigen Pausen, angepasst an die Intensität der Übungen.

Die „**traditional strength trainings**“ **Gruppe** führte folgende Übungen zu je drei Sätzen mit zehn Wiederholungen (10RM) durch:

- Langhantel „back squats“
- Langhantel Ausfallschritte
- Kurzhantel „step up“
- Beinpresse

Das Gewicht wurde jede Woche um fünf Prozent gesteigert, sofern eine saubere Technik und die Anzahl der Wiederholungen gewährleistet waren. Dabei fand eine individuelle Betreuung statt.

Die „**plyometric trainings**“ **Gruppe** steigerte die Fußkontakte pro Trainingseinheit von der ersten Woche (74) bis zur sechsten Woche (88) kontinuierlich.

Tabelle 6 **plyometrisches Trainingsprogramm** (Lloyd et al., 2016)

Week	Exercise	Sets	Repetitions	Total foot contacts
1	Drop landings	3	6	74
	Vertical jumps in place	3	6	
	Horizontal jumps	3	6	
2	Single leg forward hop and stick	2	10	76
	Drop landings	3	6	
	Single leg forward hop and stick	2	10	
	Split squat drop lands	3	6	
3	Single leg lateral hop and stick	2	10	78
	Box jumps	3	6	
	Pogo hopping	3	8	
	Multiple horizontal bilateral rebounds	4	3	
4	"Ankling" drill	3	8	80
	Power skipping	3	10	
	Unilateral pogo hops	2	10	
	Multiple horizontal rebounds	5	3	
5	Multiple horizontal rebounds over hurdles	5	3	83
	Unilateral pogo hops	2	10	
	Alternate leg bounding	3	8	
	Multiple bounding	3	8	
6	Multiple horizontal rebounds over hurdles	5	3	88
	Drop jumps	4	4	
	Alternate unilateral horizontal jumps	3	8	
	Power skipping	3	8	
	Alternate leg bounding	3	8	

Die „**combined trainings**“ **Gruppe** führte jeweils zwei Kraftübungen (10 RM, 3 Sätze und + 5 % Steigerung / Woche) und zwei plyometrische Übungen der PG durch.

Tabelle 7 **kombiniertes Trainingsprogramm (Krafttraining und plyometrisches Training)** (Lloyd et al., 2016)

Week	Exercise	Sets	Repetitions	
1	Drop lands	3	6	
	Back squat	3	10	
	Broad jump	3	6	
	Barbell lunge	3	10	
2	Back squat	3	10	
	Single leg forward hop and stick	2	10	
	Split squat drop lands	3	6	
3	Barbell lunge	3	10	
	Back squat	3	10	
	Pogo hopping	3	8	
	Barbell lunge	3	10	
4	Multiple bilateral bounds	4	4	
	Back squat	3	10	
	Alternate leg bounds	3	10	
	Barbell lunge	3	10	
5	Multiple bilateral bounds + hurdles	5	3	
	Back squat	3	10	
	Alternate leg bounds	3	8	
6	Barbell lunge	3	10	
	Unilateral pogo hopping	2	10	
	Drop jumps	4	4	
	Back squat	3	10	
	Power skipping + hurdles	3	8	
	Barbell lunge	3	10	

Hetzler et al. 1997 beschäftigten sich in ihren Untersuchungen („*Effects from 12 weeks of strength training on anaerobic power in prepubescent male athletes*“) mit den Auswirkungen von Krafttraining auf die anaerobe Power bei 30 präpubertären männlichen Basketballspielern (im Alter von 13.6 ± 0.9 Jahren). Dabei gab es eine „experienced trainings“ Gruppe (ETG – hatte bereits ein acht monatiges Krafttraining absolviert mit vier Monaten Pause vor dem Beginn dieser Studie), eine „novice“ Gruppe (NTG – unerfahren im Krafttraining) und eine Kontrollgruppe (CON) mit jeweils zehn Probanden. Die ETG (13.8 ± 0.6 Jahre) und NTG (13.2 ± 0.9 Jahre) absolvieren drei Mal pro Woche ein Krafttraining mit freien Gewichten und Maschinen über eine Interventionsdauer von 12 Wochen während der Saisonvorbereitung. Die CON Gruppe (19.9 ± 1.1 Jahre) bestand aus jenen Spielern die nicht an einem Krafttraining um sechs Uhr in der Früh interessiert waren. Die biologische Reife wurde vor und nach der Interventionsphase durch die „Tanner Stages“ beurteilt (ETG = 3.9 ± 0.6 , NTG = 3.7 ± 0.5 , CON = 3.2 ± 1.0). Zur Datenerhebung im Rahmen der beschriebenen Studie wurden folgende anaerobe Tests herangezogen:

Durchführung „vertical jump“:

Die Datenerhebung erfolgte über das „Lewis Nomogram“, der Test bei einer einzelnen maximalen schnellen Bewegung.

Durchführung „40 yard sprint“ (36.6 Meter):

Bei diesem Lauf erfolgte eine Belastung über zehn Sekunden und daher eine Energie-bereitstellung über Adenosintriphosphat (ATP) / Kreatinphosphat (KrP). Die Zeit wurde von zwei Beauftragten per Stoppuhr gemessen.

Durchführung „Wingate Test“:

Hierbei erfolgte eine Belastungsdauer von über 15 Sekunden und daher eine Energie-bereitstellung über ATP/KrP und Anaerober Glykolyse. Die Zeit wurde von zwei Beauftragten per Stoppuhr genommen. Über eine 30 Sekunden dauernde Sprint Fahrrad-Ergometrie wurde der höchste Wert in den ersten fünf Sekunden gemessen und der durchschnittliche Wert über 30 Sekunden. Der Widerstand betrug 0.075 Kilogramm pro kg Körpergewicht und die Messwerte wurden jede Sekunde gemessen. Die Probanden wurden während den 30 Sekunden mit Zurufen motiviert.

Beschreibung Krafttrainingsprotokoll:

Es wurden folgende Übungen mit jeweils drei Sätzen durchgeführt:

Bankdrückmaschine, Lat Seilzug, Beinstrecker, Beinbeuger, Beinpresse, Bizeps Curls, Trizeps, Kurzhantel Schulter Übungen, (ein Satz pro Übung: Frontheben, Seitheben, „Rotator Cuff Elevation“, Nackenheben, „reverse Butterfly“, Außenrotatoren, Innenrotator), „Handgelenk Curls“, „reverse Handgelenk Curls“

Die ETG absolvierte die Beinübungen immer zu Beginn, gefolgt von Brust- und Rücken-, Schulter- und zuletzt den Armübungen. Die NTG Gruppe begann mit Brust- und Rücken-, gefolgt von Bein-, Schulter- und Armtraining.

Eine Woche vor dem Beginn der Interventionsphase wurden die Übungen mit Hauptaugenmerk auf die Technik erarbeitet und alle Gruppen ermittelten die „1 RM“ beim Bankdrücken und der Beinpresse. Sie hatten fünf Versuche bei standardisierter Ausführung (Kniewinkel Beinpresse 90°).

Der erste Satz des Krafttrainingsprogrammes wurde mit zehn Wiederholungen bei 50 % des „10 RM“ Gewichts absolviert. Der zweite Satz mit zehn Wiederholungen bei 75 % des „10 RM“ Gewichts, der Dritte mit zehn Wiederholungen bei 100% des „10 RM“ Gewichtes. Konnten mehr als 12 WH durchgeführt werden, wurde das Gewicht in der Folgewoche um 2,3 Kilogramm angehoben.

Piazza et al. (2014) beschäftigten sich in ihrer Studie (*„Effects of resistance training on jumping performance in pre-adolescent rhythmic gymnasts: a randomized controlled study“*) mit den Auswirkungen von einem sechswöchigen unspezifischen oder spezifischen Krafttraining auf unterschiedliche Sprungkraftwerte, die Flexibilität und anthropometrische Daten von 57 weiblichen Gymnastikturnerinnen im Alter von zehn bis 13 Jahren. Im Zuge dessen betrieb die unspezifische Krafttrainingsgruppe (UST) Widerstandstraining mit Kurzhanteln („12 RM squats“) und bestand aus 19 Athletinnen mit einem durchschnittlichen Alter von 12.0 ± 1.8 Jahren. Die spezifische Krafttrainingsgruppe (SST) arbeitete mit Gewichtsgürteln (6 % des Körpergewichts) und

bestand aus 18 Athletinnen mit einem Alter von 11.9 ± 1.0 Jahren. Alle Athletinnen befanden sich auf vergleichbarem „technischem“ Niveau in ihrer Sportart mit einer mindestens zweijährigen Erfahrung. Beide Gruppen betrieben während der Interventionsdauer weiter ihre üblichen Gymnastik-Einheiten. Keines der Mädchen hatte Vorerfahrung mit Krafttraining und bei lediglich drei von ihnen hatte bereits die Menstruation eingesetzt.

Zu Beginn, nach drei Wochen und am Ende der Studie wurde von allen Athletinnen der Widerstand des „12 RM (squat)“ evaluiert um einen Ausgangswert für die Trainingsplanung vorliegen zu haben und den Verlauf dieses Wertes zu verfolgen.

Durchführung des „jump test“:

Folgende Sprungkrafttests wurden hintereinander durchgeführt, drei Versuche pro Test mit 30 Sekunden Pause zwischen jedem Versuch:

- Der „**squat jump**“ erfolgte aus einem gehaltenen Kniewinkel von 90° mit den Händen in der Hüfte.
- Der „**counter movement jump**“ erfolgte aus aufrechter Position mit einer dynamische Kniebeuge bis 90° und anschließendem Sprung, die Hände waren dabei ebenfalls in die Hüfte gestemmt.
- Der „**hopping test**“ (HT) bestand aus sieben aufeinanderfolgenden Sprüngen mit freien Armen. Die Abwärtsbewegung war nur gering und ein möglichst hoher Sprung mit kurzer Bodenkontaktzeit sollte realisiert werden.

Jeweils wurde der beste aus den drei Versuchen gewertet. Die Bodenkontaktzeit und Flugzeit wurden durch das „Optojump-System“ aufgenommen.

Beschreibung des unspezifischen Krafttrainings:

Es wurden drei Sätze unterschiedlicher „squat“-Übungen zu je 12 Wiederholungen mit Kurz-hanteln durchgeführt. Zwischen den Übungen waren 45 Sekunden Pause, zwischen den Sätzen waren es zwei Minuten.

Beschreibung des spezifischen Krafttrainings:

Die Durchführung des Krafttrainingsprotokoll dauerte 15 Minuten und wurde zwei Mal pro Woche an nicht aufeinanderfolgenden Tagen mit einem Gewichtsgürtel (6% des Körpergewichts) ausgeführt. In Summe wurden zehn in der Intensität ansteigende Übungen mit jeweils drei Wiederholungen durchgeführt. Die Athletinnen wurden instruiert diese Übungen so schnell und explosiv wie möglich durchzuführen. Die Pause zwischen den zehn Übungen betrug eine Minute.

Tabelle 8 **Abbildung 10: Gymnastik spezifisches Krafttrainingsprotokoll der SST Gruppe** (Piazza et al., 2014)

-
1. Running.
 2. Lateral shuffle. Move laterally quickly without crossing feet.
 3. Running with explosive repetition velocities.
 4. Walking with limbs flexed / flexed legs alternate with walking with limbs extended / stretched legs up on toes.
 5. Backward lunge. Move backwards by reaching each leg as far back possible.
 6. Power skip. Rapidly skip forward, elevating body as high as possible.
 7. Heel ups. Rapidly kick heels towards buttocks while moving forward
 8. Lunge walks. Lunge forward with alternating legs while keeping torso vertical.
 9. High - knee skip. Emphasize knee lift and arm swing while moving forward in different directions.
 10. Stretched leg jumps alternated with leg tuck jumps with legs to the chest.
-

Christou et al. (2006) untersuchten im Rahmen ihrer Studie („*Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players*“) den Effekt eines Krafttrainingsprogramms auf die Flexibilität und Agilität bei 18 männlichen Fußballspielern im Alter von 12 bis 15 Jahren. Diese wurden in zwei Gruppen unterteilt. Dabei bildeten neun Spieler die „soccer“ Gruppe (SOC), neun Spieler die „strengt soccer“ Gruppe (STR) und weitere acht unabhängige Jugendliche mit vergleichbarem Alter und Statur bildeten eine Kontrollgruppe (CON), die bei keinem Training teilnahm.

Die 18 Spieler brachten eine Trainingserfahrung von 4.3 ± 1.9 Jahren mit. Das durchschnittliche Alter der Gruppen lag bei 13.8 ± 0.4 (SOC), 13.5 ± 0.9 (STR) und 13.3 ± 0.7 (CON) Jahren. Das biologische Alter der Spieler wurde über eine Haarprobe mit der „Tanner 5-fach Skalar“ ebenfalls zu Beginn, nach acht Wochen und mit

abschließender Testung nach 16 Wochen ermittelt. Zwischen den Probanden bestanden keine signifikanten Differenzen im „Tanner Ranking“. Alle waren nach ihrer physischen Entwicklung in die Klassifikation 2 eingestuft. Vor Studienbeginn wurden Spieler mit Krankheiten, Verletzungen oder einer Tanner Einstufung 3-5 von der Teilnahme ausgeschlossen.

Alle 18 Fußballspieler absolvierten weiter ihr Fußballtraining, welches fünf Mal die Woche stattfand und dessen Inhalt vorrangig auf technische und taktische Aspekte aufgebaut war. Zusätzlich zu diesem Training hatte die STR Gruppe zwei Krafttrainingseinheiten mit freien Gewichten und Maschinen pro Woche bestehend aus zehn Übungen mit jeweils zwei bis drei Sätzen zu acht bis Wiederholungen (55-80 % des „1 RM“). Erneut bestanden in dieser Studie keinerlei regelmäßige Vorerfahrungen der Teilnehmer im Krafttrainingsbereich. Die Interventionsdauer der Studie war 16 Wochen. Die Testwerte wurden zu Beginn, nach acht Wochen und abschließend nach 16 Wochen erhoben. Folgende Tests wurden angewandt:

Durchführung Maximalkrafttest Beinpresse und Bankdrücken:

Die Sportler hatten sechs Versuche unter Beaufsichtigung und Einhaltung der „full range of motion“. Es wurde immer das gleiche Equipment verwendet.

Durchführung „squat jump“, „counter movement jump“ und „repeated jump“ für 30 Sekunden:

Bei allen Sprüngen waren die Hände der Teilnehmer in der Hüfte platziert und sie wurden auf der Sprungblattform von „Ergojump“ durchgeführt. Diese maß die Flugzeit und ermittelte daraus die Sprunghöhe. Nach zwei bis drei Trainingssprüngen wurde der beste aus weiteren drei Sprüngen für die Analyse herangezogen.

Der „**squat jump**“ wurde aus einem gehaltenen Kniewinkel von 90 ° gesprungen, der „**counter movement jump**“ dynamisch. Die „**repeated jumps**“ über 30 Sekunden sollten mit einem Kniewinkel von 90° gesprungen werden.

Durchführung Laufgeschwindigkeit:

Ermittelt wurden die 10 und 30 Meter „indoor“-Sprintzeiten, über eine Zeitnehmung ausgelöst, durch das Durchlaufen der drei Lichtschranken in einer montierten Höhe von 50 Zentimetern (Start) und in Höhe des Kopfes (zehn und 30 Meter Lichtschranke). Als Startsignal diente ein visueller Reiz. Es wurde ein Probelauf von zwei Testläufen durchgeführt, von welchen der schnellere für die Auswertung herangezogen wurde.

Durchführung Agility Test:

Durchführung eines 10 x 5 Meter „shuttle run“ Test nach dem Protokoll von „Eurofit“.

Durchführung Fußballtechnik Test:

Absolviert wurde ein „slalom tribble“ Test mit dem bevorzugten Bein über 14 Meter um neun Hütchen im Abstand von 1,5 Metern. Der schnellere von zwei Versuchen wurde für die Analyse herangezogen.

Beschreibung Krafttrainingsprogramm:

Die Trainingsphase startete zu Beginn der Wettkampfsaison. Eine vorausgehende vierwöchige Einführungsphase diente der Technikschiung und wurde mit lediglich 15 Wiederholungen bei 30-50 % des „1 RM“ durchgeführt. Anschließend startete das 16-wöchige Krafttrainings-programm mit zwei Einheiten pro Woche und einer 48-stündigen Ruhephase zwischen den Krafttrainingseinheiten. Durchgeführt wurden folgende Übungen in dieser standardisierten Reihenfolge:

Beinpresse → Bankdrücken → Beinstrecker → Butterfly → Beinbeuger →
Nackendrücken → Latzug → Wadenheben → „Situps“ → oberer-unterer
Rücken

Pro Übung wurden zwei bis drei Sätze zu acht bis fünfzehn Wiederholungen mit zwei bis drei Minuten Satzpause und drei bis fünf Minuten Pause bei Übungswechsel

durchgeführt. Beim Erreichen einer höheren Wiederholungszahl als vorgegeben, wurde das Gewicht individuell um fünf Prozent gesteigert. Die Krafttrainingseinheiten fanden vor dem Fußballtraining statt, die Aufwärmphase war standardisiert und die Übungen professionell angeleitet.

Tabelle 9 **Überblick über das 16-wöchige Krafttrainingsprogramm** (Christou et al., 2006)

Week	Session	Set × repetitions	Intensity (%1RM)
1	1	2 × 15	55–60
	2	2 × 15	55–60
2	3	3 × 15	55–60
	4	2 × 15	55–60
3	5	3 × 15	55–60
	6	3 × 15	55–60
4	7	2 × 15	55–60
	8	2 × 15	55–60
5	9	2 × 12	65–70
	10	2 × 12	65–70
6	11	3 × 12	65–70
	12	2 × 12	65–70
7	13	3 × 12	65–70
	14	3 × 12	65–70
8	15	2 × 12	65–70
	16	2 × 12	65–70
9	17	2 × 10	70–75
	18	2 × 10	70–75
10	19	3 × 10	70–75
	20	2 × 10	70–75
11	21	3 × 10	70–75
	22	3 × 10	70–75
12	23	2 × 10	70–75
	24	2 × 10	70–75
13	25	2 × 8	75–80
	26	2 × 8	75–80
14	27	3 × 8	75–80
	28	2 × 8	75–80
15	29	3 × 8	75–80
	30	3 × 8	75–80
16	31	2 × 8	75–80
	32	2 × 8	75–80

* 1 RM = 1 repetition maximum.

Beschreibung Fußballtraining:

Beide Gruppen (STR und SOC) absolvierten fünf Einheiten mit je 90 Minuten und ein 70 Minuten Spiel pro Woche. Technische und taktische Aspekte standen im Fokus und wurden durch „high-intensity“ Übungen zwei Mal die Woche ergänzt.

Sander, Keiner, Wirth, and Schmidtbleicher (2013) von der Johann Goethe Universität in Frankfurt untersuchten in ihrer von der „International Sport Science Ethics Comitte“ unterstützten Studie („*Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players*“) die Auswirkungen von einem Langzeit Krafttraining über zwei Jahre mit zwei zusätzlichen Einheiten pro Woche auf junge deutsche Fußballspieler aus der zweiten und dritten Liga. Die 134 Athleten aus zwei Jugendtrainingszentren wurden ihrem Alter nach in drei Kohorten eingeteilt (Kohorten A = U19, Kohorten B = U17, Kohorten C = U15). Diese wurden jeweils in eine Kontrollgruppe (CG) und eine „strenght trainings“ Gruppe (STG) unterteilt. Es ergaben sich daher sechs Gruppen: A STG, A CG, A STG, A CG, C STG und C CG. Eine zusätzliche Kontrollgruppe von Jugendlichen, die keinen Wettkampfsport betreiben konnte nicht organisiert werden.

Die Autoren bezogen sich zu Beginn der Studie auf vorangegangene Publikationen, die sich nach durchgeführtem „free weights training“ für, aber in manchen Fällen auch gegen eine Verbesserungen der Sprintperformance aussprachen. Sie vertraten die Hypothese, dass leistungssteigernde Resultate erst nach einer einjährigen Trainingsphase gewährleistet werden können, da die Sprintperformance durch sehr viele Faktoren limitiert wird. Da die meisten Studien in diesem Bereich wesentlich kürzere Trainingsphasen untersuchten, absolvierten die unterschiedlichen Altersgruppen in dieser Langzeitstudie ein intensives, periodisiertes Krafttraining über einen Zeitraum von zwei Jahren.

Erhoben wurden die **anthropometrische Daten**, Körpergewicht und Körpergröße zu den beiden Messzeitpunkten im Abstand von zwei Jahren. Ebenso wie die 30 Meter Sprint-Zeit und sieben Tage später der „1 RM front- und backsquat“ Wert. Dem Maximalkrafttest ging ein zweiwöchiges Techniktraining voran. Der „1 RM“ Test wurde auch nach einem Jahr wiederholt.

Durchführung 30 Meter Sprint-Test:

Durch sieben Lichtschranken wurde die Zeit nach 5, 10, 15, 20, 25 und 30 Metern ermittelt. Start war 75 Zentimeter vor der ersten Schranke, mit welcher die Zeitmessung begann, um das Auslösen durch eine Handbewegung oder einen nach

vorne gelehnten Oberkörpers zu vermeiden. Die beste Zeit aus drei Versuchen mit fünf Minuten Pause wurde für die weitere Datenauswertung herangezogen.

Durchführung „1 RM front und backsquat test“:

Aufgewärmt wurde durch zwei Sätze mit 58 Wiederholungen mit submaximalem Gewicht ohne die Muskeln dabei vor zu ermüden. Den Athleten standen fünf Maximalkraftversuche pro Übungen zu Verfügung um einen möglichst hohen Wert zu realisieren. Zuerst wurde der „frontsquat“, im Anschluss daran der „backsquat“ getestet. Die Tiefe war standardisiert und wurde sowohl im Training als auch bei den Tests von einem Trainer beobachtet. Dabei musste der Femur mindestens parallel zum Boden ausgerichtet sein, damit die Übung gültig war. Die Kontrollgruppe absolvierte ebenfalls ein vorausgehendes zweiwöchiges Techniktraining mit einer zweitägigen Ruhephase vor der Datenerhebung.

Beschreibung Trainingsprotokoll:

Die Interventionsdauer dieser Studie betrug zwei Jahre. Die STG Gruppen absolvierten zum normalen Fußballtraining, welches vier Mal pro Woche stattfand, zwei zusätzliche Krafttrainingseinheiten. Die beiden Krafttrainingseinheiten fanden nicht an zwei aufeinanderfolgenden Tagen statt. Bei den Kniebeugen wurden innerhalb einer Trainingswoche „front- und backsquats“ durchgeführt. Zusätzlich zum Beintraining wurden Bankdrücken, Kreuzheben, Schulterdrücken sowie Übungen für den Rumpf und stehend-Rudern ausgeübt.

Das Beintraining wurde periodisiert und wie folgt durchgeführt:

- Block 1: 4 Wochen Technikerwerb
- Block 2: 8 Wochen Hypertrophie:
5 Sätze / 10 Wiederholungen / 3 Minuten Pause
- Block 3: 4 Wochen: 5 Sätze / 6 Wiederholungen / 3 Minuten Pause
- Block 4: 4 Wochen: 5 Sätze / 4 Wiederholungen / 5 Minuten Pause

Das Gewicht wurde individuell so gewählt, dass die Vorgaben des Trainingsprotokolls bei sauberer Technik realisiert werden konnten. Bei Verbesserungen wurde das Gewicht

stetig individuell angepasst. Beim Rumpf- und Oberkörpertraining wurden die oben genannten vier Übungen zu je drei bis fünf Sätzen mit zehn Wiederholungen und drei Minuten Pause im Anschluss an die Beinübungen jedes Krafttrainings durchgeführt.

Die oben angeführte Periodisierung wurde zwei Mal pro Saison durchgeführt, während der gesamten Interventionsdauer von zwei Jahren - daher vier Mal. Kein Proband, weder aus der CT noch aus der STG absolvierte während der Studiendauer ein zusätzliches, nicht im Trainingsprotokoll beinhaltetes Krafttraining.

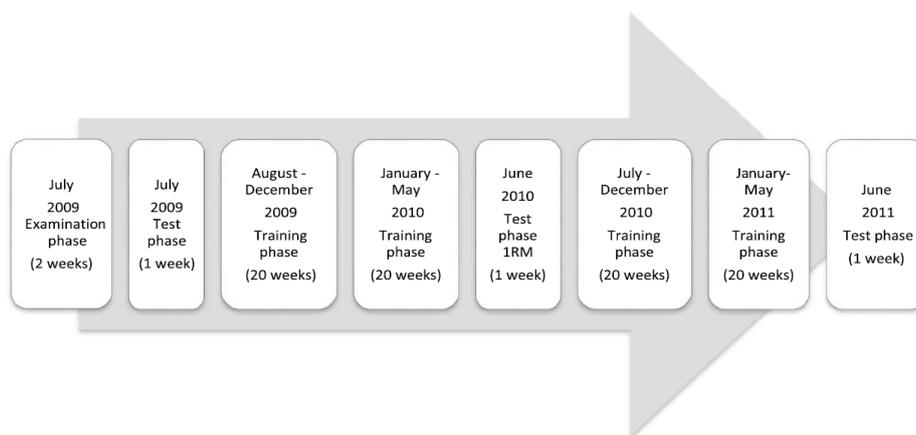


Abbildung 5 **Studiendesign des Krafttrainings über zwei Jahre**
(Sander et al., 2013)

Hoyo et al. (2016) untersuchten in ihrer Studie („*Comparative effects of in-season full-back squat, resisted sprint training, and plyometric training on explosive ePerformance in U-19 elite soccer players*“) die Effekte von drei unterschiedlichen, niedrigen bis moderaten Krafttrainingsmethoden über eine Trainingsphase von zwei Einheiten über acht Wochen auf die Sprintfähigkeit, die Sprunghöhe und die „change of direction (COD)“ Leistungsfähigkeit von 22 Fußballspielern. Dafür wurden die gut trainierten Spieler aus drei Teams der spanischen U19 Nationalliga gleichmäßig in drei Gruppen („full-back squat“, „resistance sprints“ und plyometrisches Training) aufgeteilt und absolvierten zu ihrem normalen Fußballtraining zwei zusätzliche Krafttrainingseinheiten pro Woche.

Jeder Athlet besuchte das Testlabor vor Interventionsbeginn im Zuge eines Eingewöhnungstages und zwei Testtagen, welche im Abstand von 48 Stunden stattfanden. Zudem hatten die Athleten die Gelegenheit alle durchgeführten Tests vorab zu erproben. Der CMJ, der Sprinttest und COD wurden eine Woche vor Interventionsbeginn und eine Woche nach Interventionsende durchgeführt.

Testtag 1:

Durchführung „counter movement jump“ Protokoll

Der Wert beim „counter movement jump“ wurde mithilfe des „Opto Jump Systems“ durch das Berechnen der Sprunghöhe aus der Flugzeit der Sportler ermittelt. Dabei wurde der Sprung ohne der Zuhilfenahme der Arme (diese waren in die Hüfte gestemmt) durchgeführt, und die Sprunghöhe durch den Durchschnittswert von den mittleren drei aus fünf Versuchen berechnet (der höchste und niedrigste Wert wurden verworfen). Der Kniewinkel betrug 90° und die Pause zwischen den einzelnen Versuchen 60 Sekunden.

Durchführung Sprint Protokoll (10-, 20-, 30- und 50 Meter)

Ermittelt wurde dabei die 20 Meter Sprintzeit mit einem gemessenen 10 Meter Split. Daraus wurde die fliegende Sprintzeit zwischen zehn und 20 Metern ermittelt. Der zweite 50 Meter Sprinttest wurde mit einem 30 Meter Split durchgeführt, woraus sich die fliegende Sprintzeit zwischen 30 und 50 Metern ermittelt lies.

Beide Sprintweiten wurden jeweils zwei Mal durchgeführt, mit einer passiven Pause zur Regeneration von zwei bis drei Minuten. Die besten Zeiten des 20- und 50 Meter Tests wurden für die Studienanalyse herangezogen.

Das vordere Standbein war beim Start einen Meter vor der ersten Lichtschranke, welche auf einer Höhe von 0,8 Meter platziert war, positioniert. Die zweite und dritte Lichtschranke waren auf einer Höhe von 1,16 Meter montiert. Absolviert wurden die Sprints in Fußballschuhen auf dem Untergrund „Gras“.

Durchführung "change of direction" (COD) Protokoll (Zickzack-Test)

Es wurde ein 20 Meter Zickzack-Kurs absolviert, welcher drei 100° Kurven im Abstand von fünf Metern hatte. Jeder Athlet hatte drei Versuche mit drei Minuten passiver Regeneration. Der Start befand sich ebenfalls einen Meter vor den Lichtschranken und der beste Wert wurde für die weitere Analyse herangezogen.

Testtag 2 (nur für die SQ Gruppe):

Durchführung "incremental full squat load test":

Die SQ Gruppe ermittelte vor dem Trainingsstart den individuellen Widerstandes für das SQ Trainingsprogramm mit Hilfe des "incremental full squat load" Test. Im Rahmen dessen wurde die mittlere konzentrische Schubkraft („mean propulsive velocity“ = MVP) der konzentrisch maximal schnell ausgeführten Squatstreckung mit dem „T-Force Dynamic Measurement System“ ermittelt, ohne diese Bewegung mit einem Sprung zu beenden.

Nach einem standardisierten Aufwärmprogramm wurden Tiefkniebeugen zu Beginn mit 17 kg Last so schnell wie möglich ausgeführt. Die Last wurde in zehn kg Schritten gesteigert, bis sich die Athleten einer MVP von $>1.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ annäherten. Danach arbeiteten sie mit fünf kg Schritten, bis sie eine MVP von $\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ aus drei gemessenen Wiederholungen realisierten. Sobald dieser MVP Wert unter $\leq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ war, wurden nur noch zwei Wiederholungen mit vier Minuten passiver Regeneration ausgeführt. Der Test endete bei einer MPV von $\leq 0.85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro Last wurde nur der beste MVP Wert für die weitere Analyse herangezogen.

Beschreibung Trainingsprotokoll:

Das Vereinstraining der Probanden bestand aus ca. zehn Stunden fußballspezifischem Training geblockt in vier bis fünf Trainingseinheiten, einer Ausdauerinheit und einem Spiel pro Woche. Zusätzlich absolvierten die Teilnehmer nun die zwei studienspezifischen Krafttrainingseinheiten. Keiner der Spieler hatte in der Vergangenheit ein periodisiertes Krafttraining absolviert.

Die drei Trainingsprogramme sahen je nach Gruppe wie folgt aus:

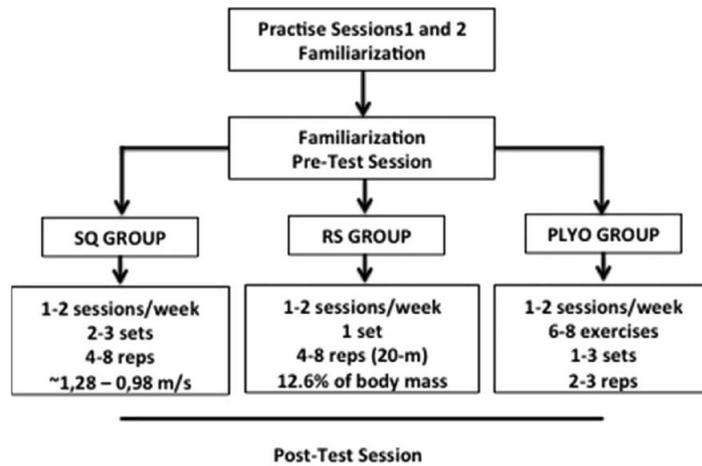


Abbildung 6 **Überblick des Studiendesigns** (Hoyo et al., 2016)

Trainingsgruppe SQ (“full-back squat”) - Tiefkniebeugen (n=11)

Dieses Trainingsprogramm bestand aus zwei bis drei Sätzen Tiefkniebeugen mit vier bis acht Wiederholungen bei einem Widerstand von 40-60 % des individuellen „1 RM“. Die exzentrische Phase wurde kontrolliert ausgeführt, die konzentrische Phase so explosiv wie möglich ($\sim 1.28-0.98 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Zwischen den Sätzen wurde drei Minuten pausiert.

Tabelle 10 **Überblick über das Squat – Trainingsprogramm** (Hoyo et al., 2016)

Week	Session	Intensity		Volume		Recovery time (min)
		% 1RM	MPV ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Sets	Repetitions	
1	1	40	~ 1.28	3	6	3
	2			3	6	3
2	3	40	~ 1.28	3	8	3
	4			3	8	3
3	5	50	~ 1.15	3	6	3
	6			3	6	3
4	7	50	~ 1.15	3	8	3
	8			3	8	3
5	9	55	~ 1.07	2	5	3
	10			3	5	3
6	11	55	~ 1.07	3	6	3
	12			3	8	3
7	13	60	~ 0.98	2	4	3
	14			3	4	3
8	15	60	~ 0.98	3	6	3
	16			3	6	3

*% 1RM = percentage of 1 repetition maximum; MPV = mean propulsive velocity.

Trainingsgruppe RS („resistance sprints“) - Widerstandssprints mit Schlittenzug (n=12)

Durchgeführt wurden sechs bis zehn Widerstandssprints mit beladenem Schlitten über 20 Meter mit drei Minuten Pause. Die individuelle Last betrug dabei 12.6 % des Körpergewichts.

Tabelle 11 **Überblick über das Widerstandssprint – Trainingsprogramm** (Hoyo et al., 2016)

Week	Session	Intensity (%BW)	Volume			Recovery time (min)
			Distance (m)	Repetitions	Total distance (m)	
1	1	12.6	20	6	120	3
	2			6		
2	3	12.6	20	7	140	3
	4			7		
3	5	12.6	20	8	160	3
	6			8		
4	7	12.6	20	8	160	3
	8			8		
5	9	12.6	20	9	180	3
	10			9		
6	11	12.6	20	9	180	3
	12			9		
7	13	12.6	20	10	200	3
	14			10		
8	15	12.6	20	10	200	3
	16			10		

*%BW = percentage of body mass.

Trainingsgruppe PLYO - plyometrisches Training mit sportspezifischen Drills (n=9)

Die plyometrischen Sprünge und sportspezifischen Drills wurden in Kombination und mit 100 % der maximalen persönlichen Leistungskapazität durchgeführt. Mit ansteigender Trainingsbelastung über die achtwöchige Studiendauer:

Woche 1	ein Set mit zwei Wiederholungen
Woche 2 und 3	zwei Sets mit zwei Wiederholungen
Woche 4 und 5	zwei Sets mit drei Wiederholungen
Woche 6, 7 und 8	drei Sets mit drei Wiederholungen

Das kombinierte plyometrische Training und das „speed/agility“ Training beinhalteten folgende Übungen entnommen aus dem englischen Originaltext von Hoyo et al. (2016):

- a) 8 unilateral crossing jumps + 15 m sprint
- b) 10 lunges + 4*3 m zigzag + 10 m sprint
- c) 8 unilateral alternative jumps + 15 m sprint
- d) 10 unilateral lateral jumps (40 cm hurdle) + 4*5 m zigzag + 10 m sprint
- e) speed ladder go: gastrocnemius exercise back: foot exercise
- f) 6 headers + 5 m sprint + deceleration + 2 m back running + 10 m sprint
- g) 8 double lateral jumps (20 cm hurdle) + zigzag + 10 m sprint
- h) unilateral lateral jumps + shooting without controlling the ball

Kobal et al. (2016) beschäftigen sich in ihrer Studie („*Effects of different combinations of strength, power and plyometric training on the physical performance of elite young soccer players*“) mit den Auswirkungen unterschiedlicher Kombination von Krafttraining (ST - Halbkniebeugen mit 60-80 % des „1 RM“) und plyometrisches Training (PL – „drop jumps“ aus 30-45 cm Höhe) auf die maximale dynamische Kraft, die vertikale Sprungkraftwerte, die Sprintgeschwindigkeit und Agilität bei 27 gut trainierten Fußballspielern im Alter von 18.9 ± 0.6 Jahre. Die Athleten wurden in folgende drei Trainingsgruppen gleichmäßig aufgeteilt: Komplextraining CP (ST vor PL), traditionelles Training TD (PT vor ST) und Kontrasttraining CT (abwechselnde Sets ST und PL). Durchgeführt wurde diese Studie über acht Wochen während der Spielsaison.

Testprotokoll:

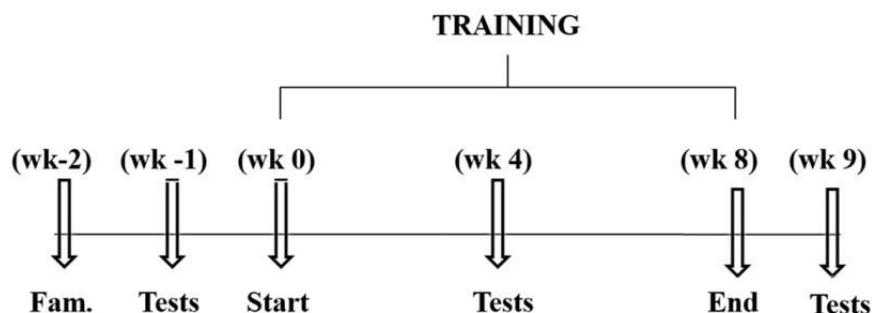


Abbildung 7 **Ablauf der Studie im Überblick** (Kobal et al., 2016)

Vor dem achtwöchigen Trainingsblock und der ersten Testung wurden über zwei Wochen hinweg vier Trainingseinheiten zur Gewöhnung absolviert. Alle in dieser Studie durchgeführten Tests wurden vom selben Testleiter angeleitet und kontrolliert. Die drei Gruppen wurden vor Trainingsbeginn (Woche -1), nach vier Wochen und nach acht Wochen (Woche 9) Interventionsdauer folgenden Leistungstesten, nach standardisiertem Aufwärmprogramm, an zwei Testtage im Abstand von (mindestens) 48-72 Stunden unterzogen.

Testtag 1

Durchführung „counter movement jump“ Protokoll:

Nach einem standardisierten Aufwärmprogramm absolvierten die Athleten fünf Sprünge auf einer Kontaktplattform der Marke „Smart Jump System“ mit einer Regenerationszeit von 15 Sekunden zwischen den Versuchen. Die Arme wurden in der Hüfte fixiert und der Bewegungsumfang in der Abwärtsbewegung konnte frei gewählt werden. Die Sprunghöhe wurde aus der Flugzeit berechnet und der beste Wert aus diesen fünf Versuchen wurde für die weitere Analyse herangezogen.

Durchführung „505 agility“ Test:

Die Athleten starteten zehn Meter vor der Start/Stopp Lichtschranke um mit maximaler Geschwindigkeit in den Test zu starten, fünf Meter nach dieser Lichtschranke musste eine Linie mit einem Fuß überschritten werden (180° „stop and go“), um dann wieder dann erneut die Lichtschranke zu durchqueren und die Zeit zu stoppen. Die bessere Zeit aus zwei Versuchen wurde für die Analyse herangezogen.

Testtag 2

Durchführung zehn- und 20 Meter Sprint Test:

Nach einem standardisierten Aufwärmprogramm wurden aus dem Stand 20 Meter gesprintet. Die zehn- und 20 Meter Sprintzeit wurde mit dem „Smartspeed System“ ermittelt. Die besseren Zeiten über 20 Meter aus zwei Versuchen mit 60 Sekunden Pause wurden für die weitere Analyse herangezogen.

Durchführung „half-squat maximum dynamic strength test (1 RM)“:

Nach einem standardisierten Aufwärmprogramm wurden in einer Multipresse der Marke „Technogym“ die „1 RM half-squat“ Werte unter besonderer Beachtung der richtigen Technik und Tiefe ermittelt. Die Athleten hatten dafür Versuche mit einer drei minütigen Pause zur Regeneration.

Beschreibung Trainingsprotokoll:

Nach einem absolvierten „counter movement jump“ Test (CMJ) wurden die 27 Sportler nach ihren Sprungleistungen und Spielpositionen gleichmäßig auf die drei Gruppen zu je neun Athleten aufgeteilt.

- CP (n=9): 2 Torwarte, 3 Verteidiger, 3 Mittelfeldspieler, 1 Stürmer
(davon 3 Stammspieler)
- TD (n=9): 2 Torwarte, 2 Verteidiger, 2 Mittelfeldspieler, 3 Stürmer
(davon 4 Stammspieler)
- CT (n=9): 0 Torwarte, 3 Verteidiger, 3 Mittelfeldspieler, 3 Stürmer
(davon 4 Stammspieler)

Alle drei Trainingsgruppen absolvierten das ST und PL Training mit gleicher Intensität, gleichem Umfang und gleicher Regenerationsphase, daher ausschließlich in unterschiedlicher Reihenfolge. Um bei den Athleten eine Maximierung der persönlichen „strength-power performance“ zu gewährleisten wurden das Trainingsvolumen und die Intensität in Woche 7 und Woche 8 etwas reduziert. Keiner der Athleten hatte Vorerfahrungen mit regelmäßigem neuromuskulären Krafttraining.

Tabelle 12 Die unterschiedlichen achtwöchigen Trainingsprogramme der drei Gruppen (Komplextraining CP, traditionelles Training TD und Kontrasttraining CT) im Überblick (Kobal et al., 2016)

GROUPS	Week 1-2	Week 3- 4	Week 5-6	Week 7-8
	ST-PT sequence	ST-PT sequence	ST-PT sequence	ST-PT sequence
CP	ST: *(3 x 10/60%) PT: (3 x 12/30 cm)	ST: (4 x 8/70%) PT: (4 x 12/35 cm)	ST: (5 x 6/80%) PT: (5 x 10/45 cm)	ST: (3 x 6/70%) PT: (3 x 10/35 cm)
TD	PT: (3 x 12/30 cm) ST: (3 x 10/60%)	PT: (4 x 12/35 cm) ST: (4 x 8/70%)	PT: (5 x 10/45 cm) ST: (5 x 6/80%)	PT: (3 x 10/35 cm) ST: (3 x 6/70%)
CT	ST: (1 x 10/60%) PT: (1 x 12/30 cm) ST: (1 x 10/60%) PT: (1 x 12/30 cm) ST: (1 x 10/60%) PT: (1 x 12/30 cm)	ST: (1 x 8/70%) PT: (1 x 12/35 cm) ST: (1 x 8/70%) PT: (1 x 12/35 cm) ST: (1 x 8/70%) PT: (1 x 12/35 cm) ST: (1 x 8/70%) PT: (1 x 12/35 cm)	ST: (1 x 6/80%) PT: (1 x 10/45 cm) ST: (1 x 6/80%) PT: (1 x 10/45 cm) ST: (1 x 6/80%) PT: (1 x 10/45 cm) ST: (1 x 6/80%) PT: (1 x 10/45 cm)	ST: (1 x 6/70%) PT: (1 x 10/35 cm) ST: (1 x 6/70%) PT: (1 x 10/35 cm) ST: (1 x 6/70%) PT: (1 x 10/35 cm)

Note: ST = Strength Training; PT = Plyometric Training; CP = Complex Training; TD = Traditional Training; CT = Contrast Training; *(sets x repetitions/% 1RM or drop height). The interval between all sets and exercises was fixed in 3-min, for all training groups.

Trainiert wurden zwei Einheiten pro Woche über eine Interventionsdauer von acht Wochen, wobei zwischen den beiden Kräfteinheiten 48-72 Stunden lagen. Die „strenght“ Einheiten bestanden aus „half-squats“ Sätzen mit einer Intensität von aus 60-80 % des „1 RM“. Die plyometrischen „drop-jumps“ wurden aus 30-40 Zentimetern Höhe absolviert. Zwischen allen Übungen war eine Satzpause von Minuten vorgegeben.

Tabelle 13 Wochenübersicht aller Trainingseinheiten der Athleten (Kobal et al., 2016)

Session	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Morning	Rest	S-PT	Rest	S-PT	TEC/TAC	Rest	Rest
Afternoon	TEC/TAC	TEC/TAC	TEC/TAC	TEC/TAC	Rest	Official Match	Rest

Note: TEC = Technical Training; TAC = Tactical Training; S-PT (Strength and plyometric training: CP, TD and CT).

Kotzamanidis , Chatzopoulos , Michailidis , Papajakovou , and Patikas (2005) widmeten sich in ihrer Studie („The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players“) den Effekten von reinem Krafttraining und kombiniertem Kraft- und „speed“ Training auf die

„vertikal jump performance“, die Sprintgeschwindigkeit und die Maximalkraft. Die Fragestellungen, ob kombiniertes Training sich positiv auf die Springgeschwindigkeit auswirken und ob verhältnismäßig gleiche Resultate wie durch reines Krafttraining auf die „vertikal jump performance“ erreicht werden können, waren die seitens der Autoren hervorgehobenen.

35 männliche Fußballspieler im Alter von 16-18 Jahren wurden gleichmäßig in drei Gruppen eingeteilt und absolvierten eine Trainingsphase von 13 Wochen. Eine COM Gruppe (n=12) absolvierte eine Kombination aus Widerstandstraining und „speed“ Training in einer Trainingseinheit, die STR Gruppe (n=11) absolvierte das gleiche Krafttraining ohne „speed“ Training und zusätzlich gab es eine Kontrollgruppe, CON Gruppe (n=12), bestehend aus Sportstudenten, die Hobbysport betrieben, aber kein regelmäßiges Training verfolgten.

Beschreibung des Testprotokolls:

Alle Athleten konnten die durchzuführenden Tests zwei Tage lang kennen lernen und erproben um Lerneffekte auszuschließen, dann wurden alle an einem gesonderten Testtag durchgeführt. Die Testungen erfolgten nach einem standardisierten Aufwärmprogramm und fanden unter professioneller Kontrolle statt.

Durchführung Maximalkrafttest

Drei unterschiedliche „1 RM“ Tests wurden durchgeführt. Nach dem Herantasten an die „1 RM“ Widerstände wurde das Gewicht, nach erfolgreicher technischer Durchführung, um zwei Prozent gesteigert. Die Teilnehmer hatten dabei drei bis sechs Versuche mit einer Erholungszeit von drei Minuten.

- „back-half squat“ 90°
- einbeiniger „step“ auf eine Bank: Ein Standbein ist am Boden, das andere in einem 90° Kniewinkel auf der Bank. Der Test wurde für jedes Bein separat durchgeführt.
- Beinbeuger (Maschine)

Durchführung 30 Meter Sprint-Tests:

Die Probanden starteten im Stehen und hatten zwei Versuche, der schnellere wurde für die Analyse herangezogen. Die Lichtschranken der Zeitnehmung der Marke „Tag Heuer“ waren in Schulterhöhe positioniert.

Durchführung „vertical jump performance“:

Alle Tests wurden barfuß, ohne Arme als Schwungelemente auf einer „AMTI Kraftplatte“ durchgeführt. Der beste aus drei Sprüngen wurde für die weitere Analyse herangezogen.

- „squat jump“: Der Sprung wurde aus einer gehaltenen 90° Kniewinkelposition ausgeführt.
- „counter movement jump“: Der Sprung wurde aus stehender Position durch eine Abwärtsbewegung dynamisch eingeleitet.
- „drop jump“: Es wurde von einer 40 cm hohen Bank gestartet und nach der Landung unmittelbar ein maximaler hoher Sprung ausgeführt.

Beschreibung des Trainingsprotokolls:

Die gesamte Interventionsdauer betrug 13 Wochen. In den ersten vier Wochen der Eingangsphase absolvierten die beiden Gruppen COM und STR drei identische Trainingseinheiten pro Woche. Diese Phase beinhaltete Ausdauerseinheiten und Kraftausdauerseinheiten sowie Flexibilitäts-übungen und Koordinationsübungen um die Athleten auf die folgende hohe Belastung durch das Krafttraining vorzubereiten.

Die zweite (experimentelle) Phase erstreckte sich über eine Dauer von neun Wochen und war in drei Subperioden unterteilt (siehe Tabelle 15). Die ersten beiden Subphasen dauerten jeweils vier Wochen, die dritte Subphase dauerte eine Woche. Während dieser zweiten Phase wurden von beiden Gruppen (COM und STR) zwei gruppenspezifische Trainingseinheiten pro Woche realisiert. Lediglich der Krafttrainingsteil war identisch, das COM Trainingsprogramm beinhaltete zusätzliche Sprintübungen.

Krafttraining:

In den drei Subperioden wurde der Widerstand von anfangs „8 RM“ über „6 RM“ auf „3 RM“ gesteigert. Es wurden jeweils vier Sätze mit drei Minuten Pause durchgeführt. Das Gewicht wurde individuell gesteigert wenn ein Sportler die vorgegebene Wiederholungszahl überschritten hatte.

Sprintübungen:

Ausschließlich die COM Gruppe absolvierte zehn Minuten nach dem Krafttraining, ansteigend nach der Subperiode je vier, fünf oder sechs maximal schnelle Sprints über 30 Meter. Die Regenerationsphasen betragen dabei drei Minuten.

Tabelle 14 Überblick des Trainingsprogrammes der kombinierten COM und reinen Krafttrainingsgruppe STR (Kotzamanidis et al., 2005)

Periods	COM group	STR group
First period (general)	Endurance, strength endurance, coordination, flexibility	Endurance, strength endurance, coordination, flexibility
Second period (experimental) first subperiod	<ol style="list-style-type: none"> 1. Warm-up (15 min) 2. Resistance training (8RM, 60 min) 3. Active recovery using soccer skills (10 min) 4. Speed program (15 min) 5. Active recovery (10 min) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Warm-up (15 min) 2. Resistance training (8RM, 60 min) 3. Technique training with very low intensity (25 min) 4. Active recovery (10 min)
Second period (experimental) second subperiod	<ol style="list-style-type: none"> 1. Warm-up (15 min) 2. Resistance training (6RM, 60 min) 3. Active recovery using soccer skills (10 min) 4. Speed program (15–20 min) 5. Active recovery (10 min) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Warm-up (15 min) 2. Resistance training (6RM, 60 min) 3. Technique training with very low intensity (25–30 min) 4. Active recovery (10 min)
Second period (experimental) third subperiod	<ol style="list-style-type: none"> 1. Warm-up (15 min) 2. Resistance training (3RM, 60 min) 3. Active recovery using soccer skills (10 min) 4. Speed program (20 min) 5. Active recovery (10 min) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Warm-up (15 min) 2. Resistance training (3RM, 60 min) 3. Technique training (30 min) with very low intensity 4. Active recovery (10 min)

* COM = combined resistance and speed training group; STR = resistance training only group; RM = repetition maximum.

Chaouachi, Othman, Hammami, Drinkwater, and Behm (2014) beschäftigten sich in ihrer Studie („*The combination of plyometric and balance training improves sprint and shuttle run performances more often than plyometric-only training with children*“) mit den Auswirkungen von zusätzlichem Balancetraining zu plyometrischen Training, bei 42 Kindern und Jugendlichen im Alter von 12-15 Jahren. Die Autoren weisen auf bereits bestehende Studien hin, in welchen der Beitrag von gut ausgebildeter Balance für kraftvolle, explosive und agile Bewegungsformen hervorgehoben wird. Da im Kindes-

und Jugendalter diese Fähigkeit zur Balance noch nicht voll ausgebildet ist, sahen sie in einem zusätzlichen Balancetraining weitere leistungssteigernde Interventionsmöglichkeiten.

Die Schüler wurden für die Studie dazu in drei Gruppen aufgeteilt: Eine Gruppe (PLYO, n=14) absolvierte nur plyometrisches Training mit dem Fokus auf den Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ), die Gruppe COMBINED (n=14) führte zusätzlich zum plyometrischen Training Balance-training durch, wobei der Fokus auf einer stabilen Landung lag. Eine Kontrollgruppe CON (n=12) diente als nicht spezifisch trainierende Referenz. Die Interventionsdauer der Untersuchung betrug acht Wochen, in denen drei Trainingseinheiten pro Woche absolviert wurden. Vor und nach diesen acht Wochen wurde die Maximalkraft der unteren Extremitäten („1 RM“ Beinpresse), die „vertical jump performance“ (horizontale und vertikale Sprünge, „triple-hop“ Weitsprung, Reaktivkraft, „leg stiffness“), die Sprintgeschwindigkeit (10 m/30 m), die statische und dynamische Balance und die Agilität („shuttle run“) gemessen.

Beschreibung des Testprotokolls:

Um den Lerneffekt zu minimalisieren, absolvierten eine Woche vor Testbeginn alle Schüler zwei Trainingseinheiten, um sich an den Ablauf zu gewöhnen und die Testmodalitäten und Übungen kennen zu lernen. Eine zweite Testung fand nach einer achtwöchigen Trainingsphase statt, nach einem standardisierten Aufwärmprogramm aufgeteilt auf drei Tage, immer zur gleichen Zeit in derselben Halle. Die Schüler wurden angewiesen dieselbe Sportkleidung zu tragen und sich 24 Stunden zuvor zu schonen sowie keine Substanzen zu sich zu nehmen, die anregend oder ermüdend wirken könnten. Folgende Leistungstests wurden absolviert:

Durchführung der vertikalen Sprungkrafttests:

Durchgeführt wurden der „counter movement jump“, der „maximal hopping test“, der „submaximal hopping test“ und der horizontale Sprungkrafttest. Bei allen Sprüngen wurden die Hände in der Hüfte fixiert, Knie und Sprunggelenke mussten beim Verlassen und Landen „gestreckt“ sein und zwischen den drei Testen hatten die Schüler fünf Minuten Regenerationszeit. Sprunghöhe, Kontaktzeit und Flugzeit wurden mit dem „Ergojump System“ ermittelt.

- „counter movement jump“ Test (CMJ):
Aus einer aufrechten Position wurde eine Abwärtsbewegung bis zu 90° durchgeführt, von der aus eine maximal schnelle vertikale Beschleunigung zur Maximierung der Sprunghöhe stattfand. Aus drei Versuchen mit jeweils zwei Minuten Pause wurde der beste Wert für die Analyse herangezogen.
- „maximal hopping“ Test:
Es wurden aufeinanderfolgend fünf Sprünge auf der Kontaktplatte ausgeführt, während die Sprunghöhe maximal und die Bodenkontaktzeit minimal sein sollte. Der erste Sprung wurde nicht miteinbezogen und diente dazu in den Rhythmus zu kommen. Die weiteren vier Sprünge wurden für die Analyse der Reaktivkraft herangezogen.
- „submaximal hopping (leg stiffness)“ Test
Dieser Test diente der Erhebung der „leg stiffness“ (Kilonewton per Meter) durch die vertikale Bodenreaktionskraft aus 20 submaximalen beidbeinigen Sprüngen bei 2.0 Hz und berechnet aus der Flugzeit, Kontaktzeit, Körpergewicht und Beinlänge.

Durchführung der Horizontale Sprungkrafttests:

Beide Tests wurden drei Mal absolviert, in Zentimetern gemessen und die maximale Sprungweite zur Analyse herangezogen.

- Beidbeiniger Standweitsprung („standing long jump“ - SLJ)
Die Zehen waren dabei an der Startlinie positioniert und die Arme durften als Schwungelemente verwendet werden, gemessen wurde der Abstand von den Zehen zur Ferse.
- THT mit dem dominanten Bein („triple hop“ Test)

Das dominante Bein wurde durch einen Fußballkick bestimmt. Die Schüler absolvierten drei aneinandergereihte einbeinige Sprünge mit dem dominanten Bein.

Die zurückgelegte Distanz zum Fersenkontakt der dritten Landung wurde bestimmt und zur Messung herangezogen.

Durchführung des 30 Meter Sprinttests:

Gestartet wurde aus dem Stand unmittelbar vor der ersten Lichtschranke. Gemessen wurde die zehn Meter Sprintzeit und die 30 Meter Zeit durch ein „Brower Timing System“ angebracht in einer Höhe von 0.4 Meter. Die Schüler hatten zwei Versuche mit zwei minütiger Pausenzeit dazwischen. Die langsamere Zeit wurde für die Analyse herangezogen.

Durchführung des Agility-Tests („shuttle run“ Test)

Absolviert wurde ein vier Mal neun Meter „shuttle run“ Test. Die Schüler starteten im Stehen und lösten die Zeitnehmung mittels Durchlaufen der ersten Lichtschranke aus. Die neun Meter Markierungen und die Startmarkierung mussten jeweils mit einem Fuß überschritten werden. Nach dem vierten neun Meter Lauf wurde die zweite Lichtschranke durchlaufen und die schnellere Zeit aus zwei Versuchen zur weiteren Analyse herangezogen.

Durchführung der Balancetests:

➤ „stork stand balance“ Protokoll

Die Schüler standen dabei auf ihrem dominanten Bein und legten die Fußsohle des zweiten Beines seitlich an das Knie des Standbeines, die Hände waren in der Hüfte fixiert. Mit dem Abheben der Ferse des Standbeines wird die Zeit per Stoppuhr gestartet. Der Test endete, wenn der Fußballen vom ursprünglichen Platz verrutschte, eine Hand die Hüfte verlies oder die Ferse den Boden berührte. Der beste aus drei Versuchen wurde gewertet.

➤ SEBT („star excursion balance test“)

Die Schüler mussten hierbei einbeinig, auf ihrem dominanten Bein, im Zentrum eines mit Tape Markierten achtstrahligen Sterns (gleichmäßiger 45° Winkel) stehen. Mit den Zehen des anderen Beines musste diese markierten Linien an einem möglichst weit entfernten Punkt mit den Zehen berührt werden ohne die Hände aus

der Hüfte zu nehmen oder die Ferse anzuheben. Die einzelnen Distanzen zum Mittelpunkt wurden gemessen. Die Distanzen wurden durch „Dividieren durch die Beinlänge“ (gemessen von der „anterior-superior Iliac Spine“ zum distalen Ende des „medialen Maleolus“) der Probanden normalisiert und mit 100 multipliziert. Drei Versuche in jede Richtung wurden absolviert.

Durchführung Maximalkrafttest („1 RM“ Beinpresse):

Es wurde submaximal mit drei Mal eins bis sechs Wiederholungen aufgewärmt, dann jeweils nur noch eine WH ausgeführt und das Gewicht in zwei Kilogramm Schritten gesteigert. Diese Steigerung des Zusatzgewichtes wurde mit zunehmender Annäherung an das „1 RM“ geringer gewählt. Als Fehlversuch wurde ein Antritt dann gewertet, wenn der Bewegungsumfang zu gering wurde oder zwei misslungene Versuche im Abstand von zwei Minuten stattfanden.

Beschreibung des Trainingsprotokolls:

Zunächst wurden anthropometrische Daten wie Körpergröße und Gewicht der Schüler aufgenommen. Nach dem Eingangstest vor der achtwöchigen Trainingsphase wurden die Schüler nach ihrem Alter, biologischer Reife („Tanner Beurteilung“) und physischen Charakteristika in zwei trainierende Gruppen (PLYO, COMBINED) und eine Kontrollgruppe (CON) eingeteilt. Alle Schüler absolvierten in ihrer Schule wöchentlich zwei Sporteinheiten und keiner dieser Schüler war an außerschulischen Sportaktivitäten beteiligt. Sie bewerteten ihren, durch die Pubertät hervorgerufenen, Haarwuchs selbstständig nach bestimmten Kriterien, wodurch die Schüler den „Tanner Stufen“ 3-5 zugeordnet werden konnten (Klasse 3: n=6, Klasse 4: n=7, Klasse 5: n=1).

Kein Schüler hatte eine vorangegangene muskuläre, neuronale oder orthopädische Krankheits-geschichte und alle konnten somit das Trainingsprogramm und die Leistungstest problemlos absolvieren. Da die Kinder noch keine Vorerfahrung mit plyometrischem Training hatten, wurden folgende Punkte einer korrekten Ausführung verfasst:

- korrekte Haltung (Köperspannung in Oberkörper und Rumpf)
- korrekte Sprungausführung: nicht aus der angestrebten Achse bewegen (z.B. seitlich Ausweichen)

- sanfte Landung (Zehen zur Ferse, gebeugte Knie)
- unmittelbarer Spannungsaufbau und neuerlicher Absprung

Beide Trainingsgruppen absolvierten drei Trainingseinheiten über acht Wochen auf nicht aufeinander folgenden Tagen. Es wurden fünf unterschiedliche Übungen für die unteren Extremitäten durchgeführt mit ein bis zwei Sätzen von acht bis fünfzehn Sprüngen. Eine Steigerung des Trainingsreizes fand über eine höhere Satz Zahl oder Bodenkontakt und komplexere Übungen statt. Die Schüler wurden angeleitet alle Übungen mit maximaler Anstrengung durchzuführen und eine minimale Bodenkontaktzeit zu realisieren.

Tabelle 15 Übersicht PLYO Trainingsprotokoll über acht Wochen
(Chaouachi et al., 2014)

Exercises	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8
Countermovement jump	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10			
Line jump (standing distance jump)	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10			
Drop jump + 1 step	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10			
Front to back cone hops	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10			
Lateral box jump push off	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10
One leg distance jump + 1 step						2 × 12 per leg	2 × 15 per leg	1 × 10 per leg
Single-leg cone jumps front to back						2 × 12 per leg	2 × 15 per leg	1 × 10 per leg
Single-leg cone jumps side to side						2 × 12 per leg	2 × 15 per leg	1 × 10 per leg
Single-leg box push off						2 × 12 per leg	2 × 15 per leg	1 × 10 per leg

*In plyometric training, exercises end with unanticipated reaction cut or step.

Die PLYO Gruppe führte 100 % der Sprünge mit dem Fokus auf einen DVZ Trainingsreiz aus.

Tabelle 16 Übersicht COMBINED Trainingsprotokoll über acht Wochen
(Chaouachi et al., 2014)

Exercises	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8
Line jump, forward-deep hold	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10			
Line jump, lateral-deep hold	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10			
Cone jump-deep hold (front to back)	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10			
One leg squat-heel touches on PLYO box	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10			
Box drop-deep hold	1 × 8	2 × 10	2 × 12	2 × 15	1 × 10	2 × 12 per leg	2 × 15 per leg	1 × 10 per leg
Cone jump-deep hold (side to side)						2 × 12	2 × 15	1 × 10g
Single-legged line hop, front/back-deep hold						2 × 12 per leg	2 × 15 per leg	1 × 10 per leg
Single-legged line hop, side/side-deep hold						2 × 12 per leg	2 × 15 per leg	1 × 10 per leg
Single-legged squats on hemispherical dome						2 × 12 per leg	2 × 15 per leg	1 × 10 per leg

Die COMBINED Trainingsgruppe absolvierte eine Blance Übung (einbeinige Kniebeuge) und vier plyometrische Übungen. Diese Gruppe ersetzte 50 % der plyometrischen Ausführungen, mit Fokus auf den Dehnungsverkürzungszyklus, durch ausgewählte Sprungvarianten bei denen eine richtige und ausbalancierte Landung hervorgehoben wurde, welche drei Sekunden gehalten werden musste. Die Sprünge wurden daher laut Trainingsprotokoll wie folgt ausgeführt:

Es wurden immer abwechselnd ein Sprung mit minimaler Bodenkontaktzeit (DVZ hervorgehoben) ausgeführt, mit einer darauffolgenden Landung mit Ausbalancierung über drei Sekunden. Dadurch lag gesamtgesehen der Fokus der Übungen zu 60 % auf einer ausbalancierten Landung (vier Übungen, jede zweite Landung) oder Ausführung (eine Übung) und zu 40 % mit DVZ (vier Übungen, jede zweite Sprung).

Deley, Cometti, Fatnassi, Paizis, and Babault (2011) beschäftigen sich in ihrer Studie (*„Effects of combined electromyostimulation and gymnastics training in prepubertal girls“*) mit 16 präpubertären weiblichen Turnerinnen (12.4 ± 1.2 Jahre) mit den Auswirkungen von kombiniertem Gymnastiktraining mit Elektromyostimulations-training (EMS), über eine Interventionsdauer von sechs Wochen, auf die Muskelkraft und „vertical jump performance“ („squat jump“, CMJ, Reaktivkraft sowie drei spezifische Gymnastiksprünge). Die Athletinnen, welche an internationalen und regionalen Wettkämpfen teilnahmen und seit sechs Jahren trainierten, wurden gleichmäßig in eine EMS-Gruppe (n=8) und eine CONTROL Gruppe (n=8) eingeteilt, wodurch der Einfluss des natürlichen Reifungsprozesses zur genaueren Analyse der Resultate zu Verfügung stand. Keine der an der Studie teilnehmenden Sportlerinnen hatte körperliche Einschränkungen wie beispielsweise Knieprobleme. Erfahrungen mit Krafttraining bestanden bei allen Mädchen vor dieser Studie, aber keines hatte bereits mit EMS gearbeitet. Beide Gruppen absolvierten fünf bis sechs identische Gymnastik Trainingseinheiten zu je 150 ± 15 Minuten pro Woche. Zusätzlich unterzog sich die EMS-Gruppe (n=8) in den ersten drei Wochen drei EMS-Trainingseinheiten mit einer Dauer von 20 Minuten für die das Kniegelenke streckende Muskulatur. In den letzten drei Wochen nur noch eine solche wöchentliche Einheit statt.

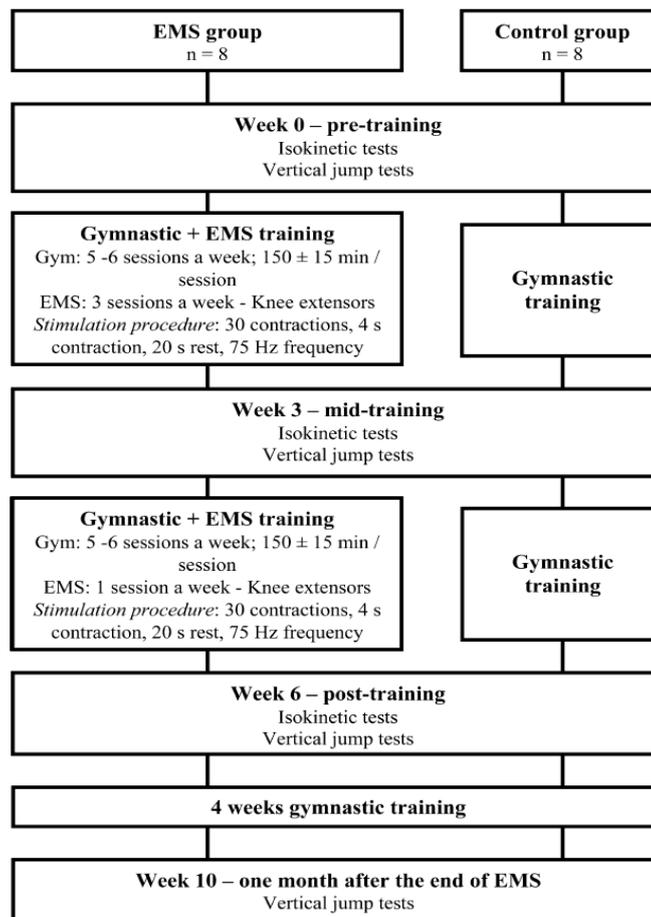


Abbildung 8 **Übersicht des Studiendesigns mit Testablauf und Trainingsprotokoll der beiden Gruppen** (Deley et al., 2011)

Beschreibung des Testprotokolls:

Die Tests wurden vor Interventionsbeginn, nach drei Wochen und am Ende des sechswöchigen EMS-Trainings durchgeführt. Tests zur „vertical jump performance“ wurden zusätzlich vier Wochen nach Interventionsende absolviert.

Durchführung isokinetischer Test (Beinstreck-Maschine):

Der maximale willkürlich realisierbare Drehmoment („maximal voluntary torque“ MVT) des Kniestreckers bei Extension und Flexion des Kniegelenks wird mit dem „Biodex isokinetic Dynamometer“ in Woche 0,3 und sechs ermittelt. Die Sportlerinnen saßen dazu aufrecht mit einem Hüftwinkel von 95°, mit einem Polster hinter ihrem Rücken

um die Maschine an ihre Größe anzupassen. Um Ausweichbewegungen zu reduzieren wurden Gurte zur Fixierung an Brust, Hüfte und Oberschenkel angebracht. Die Arme waren so verschränkt, dass die Hände die gegenüberliegende Schulter berührten. Nach einem zehnminütigem standardisierten Aufwärmprogramm absolvierten die Mädchen Quatrizeps MVCs bei drei unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten:

- 1) exzentrisch: $-60^{\circ} \cdot \text{s}^{-1}$
- 2) konzentrisch: $+60^{\circ} \cdot \text{s}^{-1} / +240^{\circ} \cdot \text{s}^{-1}$

Die Athletinnen absolvierten fünf aufeinanderfolgende MVCs für jede Winkelgeschwindigkeit und die Änderungen wurden nacheinander mit zwei minütiger Pause ausgeführt. Der Bewegungsumfang betrug 90° (10° bis 100° Kniewinkel) und der gravitationsbedingte Effekt auf die Winkelgeschwindigkeit wurde korrigiert. Bei jedem Versuch wurde automatisch der 60° Drehmoment über den Computer mittels „Biotext“ berechnet und für die Analyse herangezogen. Bei jeder Winkelgeschwindigkeit wurde der beste MTV Wert für die Analyse benutzt. Die Athletinnen wurden immer von den gleichen Versuchsleiter/innen betreut und waren angewiesen ihr Bestes zu geben.

Durchführung „vertical jump“ Test:

Die „verticale jump performance“ wurde in Woche null, drei, sechs und zehn unter Verwendung des „Optojumpsystems“ aus den Flugzeiten ermittelt. Nach einem standardisierten, zehn minütigen Aufwärmprogramm wurden folgende Tests immer in der gleichen Reihenfolge absolviert. Jeder Test wurde drei Mal durchgeführt und der beste Wert je Übung für die weitere Analyse herangezogen.

➤ „squat jump“ (SJ)

Dieser wurde aus einer gehaltenen 90° Kniewinkel Position mit fixierten Armen in der Hüfte ausgeführt.

➤ „counter movement jump“ (CMJ)

Aus aufrechter Position wurde der Körper in einer fließenden Bewegung auf einen Kniewinkel von 90° abgesenkt ($\pm 5^{\circ}$) und unmittelbar eine

Absprungphase eingeleitet. Die Arme waren dabei frei um diese als Schwungelemente nutzen zu können.

➤ **Reaktivkrafttest**

Es wurden sechs aufeinanderfolgende Sprünge mit Unterstützung der Arme, leichtem Kniewinkel und dominanter Arbeit des Sprunggelenks durchgeführt. Die durchschnittliche Sprunghöhe wurde aus den einzelnen Flugzeiten berechnet.

➤ **Gymnastik spezifische Sprungtest**

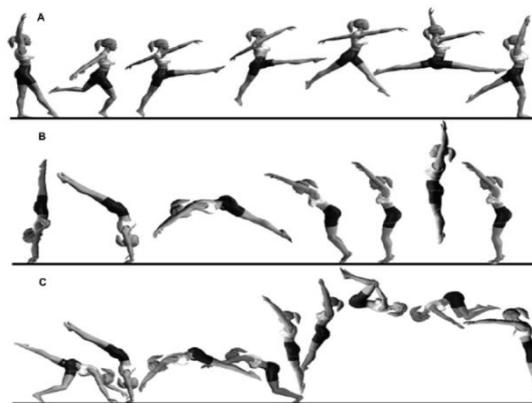


Abbildung 9 **Schematische Darstellung der gymnastik spezifischen Sprungtests** (Deley et al., 2011)

A: „split leap forward“ (SL – Spagatsprung vorwärts) mit Beinwechsel:

Absprung und Landung werden vom „Optojump System“ erfasst. Der Sprung soll so hoch wie möglich durchgeführt werden um den Beinwechsel mit einem vollen Spagat zu realisieren.

B: Handstandposition gefolgt von Bogenabgang mit vertikalem Sprung (VJ):

Die Handstandposition wurde von Helfern gesichert und die Sprunghöhe des „vertical jumps“ wurde ermittelt.

C: Rondat mit gehocktem Salto rückwärts (SALTO)

Zwei Anlaufschritte waren erlaubt und die Sprunghöhe des Saltos rückwärts wurde ermittelt.

Beschreibung des Trainingsprotokolls:

Die gemeinsamen Gymnastik-Trainingseinheiten setzten sich wie folgt zusammen:

- 30 Minuten „warm-up“
- 100 Minuten Übungen an Geräten,
- 20 Minuten Dehnübungen und Muskelkräftigung

Durchführung des EMS-Trainings:

Zwei Wochen vor dem eigentlichen Interventionsbeginn absolvierte die EMS-Gruppe eine Einheit zur Eingewöhnung. Zwischen den Einheiten während der Trainingsphase lag mindestens ein EMS freier Tag zur Regeneration. Die Einheiten selbst wurden immer zur selben Tageszeit zwischen 16:00 und 16:30 an der die Knie streckenden Muskulatur absolviert.

Das Gerät „Medicomplex SA“ des Herstellers „Complex“ verfügte über eine transportable Batterie. Das Gerät wurde auf eine Frequenz von 75 Hz und eine Impulsdauer von 400 Mikrosekunden (μs) eingestellt. Zwei selbstklebende positive Elektroden (25 cm², 5x5 cm) zur Depolarisation der Membran wurden über der proximalen Ansatzstelle des „Vastus medialis und -lateralis“ angebracht. Die negativen Elektroden (50 cm², 10x5 cm) waren über dem „femoral triangle“ eines jeden Beines positioniert. Die Knie waren während des Trainings in einer 90° Position fixiert und auch die Hüftwinkel war gegen Bewegungen fixiert.

Während jeder Trainingseinheit wurden 30 Kontraktionen durchgeführt die vier Sekunden dauerten und auf die 20 Sekunden Regenerationsphase folgte. Die Intensität (Stromstärke in Milliampere-Bereich mA) wurde zu Beginn jeder Einheit von den Sportlerinnen selbst gewählt, sollte möglichst nahe am tolerierbaren Maximum liegen und mindestens 60 % des im Pretest realisierten maximalen freiwilligen Kontraktions-Werts („maximal voluntary contraction“ MVC) liegen, der mit einem myostatischen Typ Dynamometer ermittelt wurde. Diese lagen zwischen 65-120 mA. Vor jeder Einheit fand ein standardisiertes EMS-Aufwärmprogramm statt.

5. Studienergebnisse

Nachdem im vorigen Kapitel die einzelnen Studien unter Betrachtung deren Methodik, Aufbau, Rahmenbedingungen und Durchführung dargestellt wurden, sollen folglich deren Ergebnisse präsentiert werden.

Ferrete et al. (2014) ermittelten, nach Durchführung eines 26-wöchigen Kraft- und „high-intensity“ Trainingsprogramms bei Acht- bis Neunjährigen, im Rahmen ihrer Studie positive Effekte auf die Leistungsfähigkeit bei hochintensiven Anforderungen von jungen Fußballspielern. Ein Blick auf die anthropometrischen Messdaten ließ keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontroll-(CG) und Performancegruppe (PG) erkennen. Bei beiden Gruppen gab es eine Zunahme der Körpergröße und des Körpergewichtes aber der Körperfettanteil blieb konstant.

Die 15 Meter Sprintzeiten verbesserten sich bei der PG um 3,7 % und in der Kontrollgruppe um 1,37 %. Die Differenz der Leistungsverbesserung zwischen den beiden Gruppen war als nicht signifikant anzusehen.

Die Sprungleistung beim „counter movement jump“ verbesserte sich in der PG signifikant ($p \leq 0.05$) um 6,72 %, während sich die CG signifikant um -10,82 % verschlechterte. Dieser deutlich abfallende Wert war aber nur bei der letzten Messung zu beobachten, davor blieben die Sprunghöhen konstant! Somit bestanden zwischen den beiden Gruppen signifikante Unterschiede.

Beim „Yo-Yo intermitted endurance“ Test konnten sich beide Gruppen signifikant verbessern. Die Differenzen in der Leistungszunahme von 49,57 % in der PG und 19,67 % in der CG waren signifikant.

Es bestand in der P-Gruppe eine signifikant negative Korrelation (höhere Sprungwerte gehen mit niedrigeren Sprintzeiten einher) der erhobenen Variablen zwischen dem 15 Meter Sprint und den CMJ / YOYO IE Tests. In der Kontrollgruppe ergaben die Daten lediglich eine negative Korrelation zwischen dem 15 Meter Sprint und der Sprunghöhe beim CMJ.

Tabelle 17 **Abbildung 10: Übersicht über alle erhobenen Tests und Ergebnisse der Performance-(S) und Kontrollgruppe (Ferrete et al., 2014)**

S (N = 11)						
	Baseline	T2	T3	Post	% Of change	ES
Sprint 15 m (s)	2.7 ± 0.1	2.8 ± 0.1	2.9 ± 0.1	2.8 ± 0.1	3.70	1
CMJ (cm)	22.3 ± 2.7‡§¶	23.7 ± 3.5	23.7 ± 3.4	23.8 ± 4.3	6.72	0.37
Yo-Yo IE (m)	476 ± 169.1‡¶#	580 ± 193.4	704 ± 156.8	712 ± 228.4	49.57	1.39
Sit and reach (cm)	23.4 ± 4.5§¶##**	22.5 ± 4.5	25.3 ± 3.7	25.1 ± 5.5	7.26	0.37
C (N = 13)						
	Baseline	T2	T3	Post	% Of change	ES
Sprint 15 m (s)	2.9 ± 0.1	2.9 ± 0.1	3.0 ± 0.1	2.9 ± 0.1	1.37	0.40
CMJ (cm)	20.2 ± 3.4¶	20.3 ± 3.2	20.2 ± 2.7	18.0 ± 3.6	-10.82	0.61
Yo-Yo IE (m)	540.3 ± 192.5‡§¶	584 ± 236.4	640 ± 226.9	646.6 ± 229.9	19.67	0.55
Sit and reach (cm)	25.2 ± 3.5¶††	23.8 ± 2.9	24.2 ± 4.2	21.9 ± 4.7	-13.09	0.94

*Baseline = baseline values; T2 = after 9 weeks; T3 = after 18 weeks; POST = after 26 weeks; % of change = percentage of change between baseline-post; ES = effect size; CMJ = countermovement jump; Yo-Yo IE = Yo-Yo intermittent endurance test; S = experimental; C = control.
 †Values are reported as mean ± SD.
 ‡Significant difference between baseline and T2 values ($p < 0.05$).
 §Significant difference between baseline and T3 values.
 ¶Significant difference between baseline and postvalues.
 ||Significant differences between experimental and control groups ($p < 0.05$).
 #Significant difference between T2 and T3 values.
 **Significant difference between T2 and postvalues.
 ††Significant difference between T3 and posttest values.

Ferrete et al. (2014) konnten somit nachweisen, dass Leistungssteigerungen durch mehrwöchige Kraft- und „high-intensity“ Trainingsprogramme und somit ein intensives nicht fußball-spezifisches Training auch bei sehr jungen Athleten deutliche Leistungssteigerungen in den Bereichen der Sprungkraft und der spezifischen Ausdauer bewirken. Zudem zeigte die Studie, dass Kraft- und „high-intensity“ Trainingsprogramme die individuelle Vo_2max der „intermittent endurance“ steigern kann, bedingt durch schnellere und effektivere Regeneration anzusehen als Trainingsanpassung der „high-intensity“ Übungen.

Die Autoren begründeten das Ausbleiben einer Verbesserung der Sprintzeit damit, dass einerseits genetische Faktoren eine übergeordnete Rolle spielen und anthropometrische Einflüsse, wie beispielsweise die Beinlänge, starken Einfluss auf die Schrittfrequenz haben. Daher sollten den anthropometrischen Veränderungen während des Studienverlaufs zukünftig mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden um Daten besser interpretieren zu können. Den Angaben zufolge zeigten auch andere Studien bei plyometrischen Trainingsformen keine positiven Einflüsse auf die Sprintzeiten, ein

weiterer Beleg für die Wichtigkeit von unspezifischem Krafttraining dieser Form für die Leistungsverbesserung in hochintensiven sportartspezifischer Spielaktionen im Fußball.

Ramirez-Campillo, Gallardo, et al. (2015): In ihrer Studie bestanden zwischen den drei Performance-gruppen (VG, HG, VHG) und der Kontrollgruppe (CG) in den Baseline-Testwerten keine signifikanten Differenzen.

In der CG konnten neben einer geringen Verbesserung bei den „Yo-Yo“ Testwerten keine Änderungen der weiteren Leistungsparameter dokumentiert werden. Alle Performance Trainingsgruppen verbesserten sich bedeutend in der Explosivität, der Ausdauer und Balance, jedoch hatte nur die VHG eine statistisch signifikante Steigerung in allen plyometrischen Performancetests und folglich die besten Leistungssteigerung der Sprungkraft. Im Verhältnis zur CG zeigte die HG signifikant höhere Leistungssteigerungen im HCMJ und dem „multible bounce test“, die VG im RSI-Test und die VHG in der Schusskraft, dem VCMJ, den Sprintzeiten, CODS, Yo-Yo IR1 und Balance Test. Es bestanden keine Zwischentests und daher nur ein Basistest und eine weitere Testung am Ende der sechswöchigen Trainingsphase.

Die Studie bestätigte die vorausgehende Annahme, dass alle drei plyometrischen Trainingsformen bedeutsame Verbesserungen in der Explosivität, Balance und der intermittierenden Ausdauer-leistungsfähigkeit hervorrufen. Eine Kombination aus vertikalem und horizontalem plyometrischen Training verzeichnet bessere Leistungsanstiege als die Fokussierung auf nur vertikale oder nur horizontale plyometrische Sprünge.

Tabelle 18 **Übersicht über die Anthropometrischen Merkmale der vier Gruppen vor Testbeginn** (Ramirez-Campillo, Gallardo, et al., 2015)

	CG (n = 10)	VG (n = 10)	HG (n = 10)	VHG (n = 10)
Age (y)	11.4 ± 2.4	11.6 ± 1.4	11.4 ± 1.9	11.2 ± 2.3
Height (cm)	146 ± 16.2	144 ± 9.6	150 ± 12.3	141 ± 14.4
Body mass (kg)	42.2 ± 13.2	40.0 ± 5.9	44.6 ± 11.0	40.1 ± 12.8
Body mass index (kg·m ⁻²)	19.4 ± 2.2	19.3 ± 2.0	19.6 ± 2.0	19.3 ± 2.8
Predicted years from age of peak height velocity (y)	-2.0 ± 2.0	-2.3 ± 1.9	-2.0 ± 1.6	-2.2 ± 1.8
Session rating of perceived exertion	450 ± 173	492 ± 296	432 ± 189	420 ± 248
Soccer experience (y)	3.9 ± 2.3	3.6 ± 2.3	4.1 ± 2.6	3.5 ± 2.3

*CG = control group; VG = vertical plyometric training group; HG = horizontal plyometric training group; VHG = combined vertical + horizontal plyometric training group.

Tabelle 19 Trainingseffekte der “jump performance” Variablen
(Ramirez-Campillo et al., 2015)

	Baseline mean \pm SD	Performance change (%)	Magnitude of training effect
Vertical countermovement jump with arms (cm)			
CG	29.6 \pm 6.4	3.0 (-2.1 to 8.4)	0.13 (-0.09 to 0.36)
VG	30.2 \pm 3.5	9.7 (4.4 to 15.4) [†]	0.75 (0.34 to 1.16)
HG	31.6 \pm 6.8	5.9 (3.1 to 8.9)	0.24 (0.13 to 0.35) [‡]
VHG	30.2 \pm 7.4	12.3 (5.6 to 19.5) [§]	0.51 (0.24 to 0.79) [‡]
Horizontal countermovement jump with arms (cm)			
CG	162 \pm 29	2.1 (-3.4 to 7.9)	0.11 (-0.18 to 0.39)
VG	160 \pm 15	9.8 (5.5 to 14.3) [†]	0.94 (0.54 to 1.35)
HG	156 \pm 33	24.2 (11.0 to 39.1) ^{§¶}	0.96 (0.46 to 1.45)
VHG	151 \pm 36	19.0 (14.0 to 24.3) ^{§#}	0.68 (0.51 to 0.85)
20-cm drop jump reactive strength index (mm·ms ⁻¹)			
CG	1.42 \pm 0.41	3.4 (-1.9 to 9.0)	0.12 (-0.07 to 0.30)
VG	1.26 \pm 0.20	15.7 (12.1 to 19.5) ^{§#}	0.90 (0.71 to 1.10)
HG	1.32 \pm 0.36	12.1 (4.8 to 19.9) [†]	0.41 (0.17 to 0.65) [‡]
VHG	1.17 \pm 0.41	17.1 (13.8 to 20.6) ^{§#}	0.62 (0.34 to 0.50)
Multiple 5 bounds test (cm)			
CG	833 \pm 166	2.2 (-3.6 to 8.4)	0.11 (-0.18 to 0.39)
VG	840 \pm 86.4	7.0 (3.0 to 11.1)	0.53 (0.24 to 0.83) [‡]
HG	862 \pm 167	13.7 (10.2 to 17.4) ^{§#}	0.62 (0.47 to 0.77)
VHG	810 \pm 163	13.0 (6.1 to 20.3) ^{§#}	0.63 (0.30 to 0.95)

*VG = vertical plyometric training group; HG = horizontal plyometric training group; VHG = combined vertical + horizontal plyometric training group.
[†]Significant difference pre- to posttraining ($p \leq 0.05$).
[‡]Small standardized effect.
[§]Significant difference pre- to posttraining ($p < 0.01$).
[¶]Moderate standardized effect.
[#]Significant difference with the CG posttraining ($p < 0.01$).
^{||}Significant difference with the CG posttraining ($p \leq 0.05$).

Tabelle 20 Trainingseffekte von Fußballspezifischen-, Sprint- und Ausdauer tests (Ramirez-Campillo, Gallardo, et al., 2015)

	Baseline mean \pm SD	Performance change (%)	Magnitude of training effect
Maximal kicking velocity (km·h ⁻¹)			
CG	63.0 \pm 15.5	4.1 (-2.4 to 11.0)	0.18 (-0.11 to 0.46)
VG	60.6 \pm 6.0	7.1 (-1.6 to 16.5)	0.47 (-0.11 to 1.06) [†]
HG	59.8 \pm 16.1	11.1 (5.8 to 16.7)	0.36 (0.19 to 0.53) [†]
VHG	58.3 \pm 15.9	15.5 (6.8 to 24.1) ^{‡§}	0.67 (0.31 to 1.02)
15-m sprint time (s)			
CG	3.37 \pm 0.26	1.7 (-1.8 to 5.4)	0.18 (-0.19 to 0.56)
VG	3.46 \pm 0.15	-3.5 (-7.7 to 0.8)	-0.49 (-1.09 to 0.11) [†]
HG	3.42 \pm 0.33	-5.1 (-8.5 to -1.6) [‡]	-0.55 (-0.94 to -0.17) [†]
VHG	3.51 \pm 0.20	-6.0 (-8.4 to -3.4) ^{§¶}	-0.99 (-1.41 to -0.56)
30-m sprint time (s)			
CG	5.93 \pm 0.63	-1.0 (-5.0 to 3.2)	-0.07 (-0.39 to 0.24)
VG	6.04 \pm 0.41	-2.8 (-9.0 to 3.9)	-0.30 (-0.99 to 0.40) [†]
HG	5.98 \pm 0.63	-4.0 (-5.2 to -2.8) [‡]	-0.37 (-0.48 to -0.26) [†]
VHG	6.13 \pm 0.52	-5.8 (-7.9 to -3.7) [§]	-0.63 (-0.87 to -0.40)
Change of direction speed test time (s)			
CG	5.30 \pm 0.48	1.1 (-3.0 to 5.3)	0.09 (-0.27 to 0.46)
VG	5.31 \pm 0.27	-2.5 (-5.4 to 0.4)	-0.43 (-0.93 to 0.07) [†]
HG	5.36 \pm 0.45	-1.9 (-6.2 to 2.6)	-0.21 (-0.71 to 0.29) [†]
VHG	5.36 \pm 0.52	-5.1 (-8.5 to -1.6) ^{‡§}	-0.70 (-1.02 to -0.18)
Yo-Yo intermittent recovery level 1 test (m)			
CG	742 \pm 228	6.6 (1.5 to 12.0)	0.23 (0.05 to 0.41) [†]
VG	686 \pm 176	11.0 (5.9 to 16.4) [‡]	0.41 (0.22 to 0.59) [†]
HG	786 \pm 329	15.1 (-1.4 to 34.4) [‡]	0.35 (-0.04 to 0.74) [†]
VHG	684 \pm 331	15.5 (7.0 to 24.8) [‡]	0.31 (14.0 to 0.47) [†]

*VG = vertical plyometric training group; HG = horizontal plyometric training group; VHG = combined vertical + horizontal plyometric training group.
[†]Small standardized effect.
[‡]Significant difference pre- to posttraining ($p \leq 0.05$).
[§]Significant difference with the CG posttraining ($p \leq 0.05$).
[¶]Moderate standardized effect.
^{||}Significant difference pre- to posttraining ($p < 0.01$).

Tabelle 21 **Differenzen der Testvariablen zwischen den einzelnen Gruppen**
(Ramirez-Campillo, Gallardo, et al., 2015)

	VG-CG	HG-CG	VHG-CG
Vertical countermovement jump with arms	6.9 (-0.5 to 14.9) Small	2.5 (-3.1 to 8.5) Trivial	6.5 (0.4 to 14.0) Small
Horizontal countermovement jump with arms	5.4 (-0.5 to 11.6) Small	15.7 (6.1 to 26.1) Moderate	18.1 (10.6 to 26.1) Moderate
20-cm drop jump reactive strength index	11.5 (4.9 to 18.4) Small	7.9 (-1.2 to 17.9) Small	14.1 (7.7 to 20.9) Small
Multiple 5 bounds test	4.1 (-2.8 to 11.4) Small	9.9 (3.3 to 17.0) Small	11.1 (1.8 to 21.2) Small
Maximal kicking velocity	2.5 (-8.1 to 14.4) Trivial	6.8 (-1.5 to 15.8) Small	8.4 (-1.2 to 19.0) Small
15-m sprint time	-4.7 (-10.1 to 0.9) Moderate	-6.8 (-11.5 to -1.9) Moderate	-8.0 (-11.9 to -3.9) Moderate
30-m sprint time	-0.8 (-8.3 to 7.4) Trivial	-2.5 (-6.5 to 1.6) Small	-5.3 (-9.5 to -0.9) Small
Change of direction speed test time	-2.8 (-10.2 to 5.3) Small	-2.7 (-8.5 to 3.5) Small	-5.1 (-9.9 to -0.1) Small
Yo-Yo intermittent recovery level 1 test	6.3 (0.6 to 12.4) Small	5.3 (-11.4 to 25.1) Trivial	7.9 (-1.9 to 18.7) Small
Anterior-posterior normal stance eyes open	-6.5 (-13.4 to 1.0) Small	-6.2 (13.3 to 1.4) Trivial	-8.8 (-16.5 to -0.4) Small
Medial-lateral normal stance eyes open	-11.8 (-19.2 to -3.8) Small	-4.8 (-10.5 to 1.3) Trivial	-12.2 (-16.2 to -7.9) Small
Anterior-posterior normal stance eyes closed	-4.7 (-17.7 to 10.2) Trivial	-8.9 (-20.6 to 4.4) Small	-14.4 (-25.8 to -1.3) Small
Medial-lateral normal stance eyes closed	-6.7 (-10.8 to -2.3) Trivial	-5.3 (-16.3 to 7.1) Trivial	-13.6 (-19.5 to -7.2) Small
	HG-VG	VHG-VG	VHG-HG
Vertical countermovement jump with arms	-3.8 (-9.0 to 1.8) Small	0.0 (-6.5 to 7.0) Trivial	3.6 (-2.0 to 9.4) Trivial
Horizontal countermovement jump with arms	7.6 (-0.7 to 16.5) Small	9.8 (4.0 to 16.0) Small	-2.9 (-13.7 to 9.2) Trivial
20-cm drop jump reactive strength index	-3.6 (-11.0 to 4.5) Trivial	2.0 (-2.1 to 6.2) Trivial	5.3 (-2.0 to 13.0) Trivial
Multiple 5 bounds test	5.0 (0.5 to 9.7) Small	6.1 (-1.8 to 14.6) Small	-0.2 (-7.4 to 7.6) Trivial
Maximal kicking velocity	3.9 (-5.7 to 14.4) Trivial	5.4 (-5.2 to 17.3) Small	1.6 (-6.7 to 10.6) Trivial
15-m sprint time	-1.7 (-7.2 to 4.0) Small	-3.0 (-7.8 to 2.0) Small	-1.4 (-5.6 to 3.0) Trivial
30-m sprint time	-0.7 (-7.1 to 6.1) Trivial	-3.5 (-9.9 to 3.3) Small	-2.3 (-4.8 to 0.3) Small
Change of direction speed test time	0.9 (-4.6 to 6.7) Trivial	-1.6 (-5.8 to 2.8) Small	-2.2 (-7.4 to 3.2) Small
Yo-Yo intermittent recovery level 1 test	1.1 (-14.9 to 20.1) Trivial	3.6 (-5.7 to 13.9) Trivial	-0.1 (-15.8 to 18.6) Trivial
Anterior-posterior normal stance eyes open	-0.4 (-2.7 to 1.9) Trivial	-3.2 (-8.3 to 2.2) Trivial	-1.8 (-7.1 to 3.8) Trivial
Medial-lateral normal stance eyes open	3.7 (-7.1 to 15.8) Trivial	-4.3 (-13.8 to 6.2) Trivial	-7.6 (-11.9 to -3.1) Small
Anterior-posterior normal stance eyes closed	-4.2 (-9.9 to 1.8) Trivial	-10.0 (-16.5 to -2.9) Small	-6.1 (-11.0 to -0.8) Small
Medial-lateral normal stance eyes closed	2.0 (-9.6 to 15.1) Trivial	-6.9 (-12.7 to -0.7) Small	-8.9 (-18.9 to 2.4) Small

*VG = vertical plyometric training group; HG = horizontal plyometric training group; VHG = combined vertical + horizontal plyometric training group.

†Effects are shown in percentage units and probabilistic inferences about the true standardized magnitude.

Lloyd et al. (2016) verglichen in ihrer Studie Krafttraining, plyometrisches Training und eine Kombination der beiden Trainingsmethoden zwischen prä- und postpubertären männlichen Schülern. Laut den Autoren erzielten fast alle Performancegruppen eine signifikante Verbesserung der Sprint und Sprungwerte. Während in den präpubertären Performancegruppen die plyometrische Gruppe die besten Ergebnisse in allen Tests vorweisen konnte (ausgenommen SJ, hier war die CT Gruppe besser), zeichnete sich mit höherem Alter (postpubertär) eine bessere Leistungssteigerung, wenn die Sportler eine Kombination aus beiden Trainingsmethoden absolvierten, ab. Hervorzuheben ist, dass die präpubertären Schüler eine größere Steigerung der SJ und SRI Werte erzielten als die postpubertären vergleichbaren Trainingsgruppen. Eine deutliche Verbesserung der Sprintgeschwindigkeit erreichte die postpubertäre CT- Gruppe.

Tabelle 22 **Anthropometrische Messdaten der Gruppen** (Lloyd et al., 2016)

Maturation stage	Group	Sample size	Age	Height	Body mass	PHV
Pre-PHV	PT	10	12.7 ± 0.3	159.6 ± 8.9	56.0 ± 11.0	-1.5 ± 0.4
	TST	10	12.6 ± 0.3	156.9 ± 6.3	50.3 ± 14.4	-1.4 ± 0.6
	CT	10	12.7 ± 0.3	158.3 ± 7.6	53.5 ± 10.7	-1.5 ± 0.7
	CON	10	12.8 ± 0.2	157.0 ± 9.2	54.9 ± 10.6	-1.5 ± 0.6
Post-PHV	PT	10	16.4 ± 0.2	179.5 ± 5.7	67.8 ± 6.1	1.3 ± 0.3
	TST	10	16.3 ± 0.3	177.5 ± 5.3	64.9 ± 5.3	1.3 ± 0.3
	CT	10	16.2 ± 0.3	178.3 ± 5.4	65.3 ± 7.2	1.3 ± 0.6
	CON	10	16.2 ± 0.3	179.0 ± 5.2	67.2 ± 8.4	1.2 ± 0.4

*PHV = peak height velocity; PT = plyometric training; TST = traditional strength training; CT = combined training; CON = control group.

Tabelle 23 **Anthropometrische Messdaten der Gruppen** (Lloyd et al., 2016)

Variable/maturity group	Condition	PT	TST	CT	CON
10 m acceleration (s) pre-PHV	Pre	2.3 ± 0.2	2.3 ± 0.2	2.2 ± 0.2	2.2 ± 0.2
	Post	2.2 ± 0.2†	2.2 ± 0.2†	2.1 ± 0.2†	2.2 ± 0.2
	Effect size (Cohen's <i>d</i>)	0.38	0.11	0.32	0.00
10 m acceleration (s) post-PHV	Pre	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.1
	Post	1.9 ± 0.1	1.8 ± 0.1†	1.8 ± 0.1†	1.9 ± 0.1
	Effect size (Cohen's <i>d</i>)	0.06	0.36	0.62	0.04
20 m speed (s) pre-PHV	Pre	3.4 ± 0.2	3.4 ± 0.3	3.4 ± 0.3	3.3 ± 0.3
	Post	3.3 ± 0.2†	3.4 ± 0.3	3.3 ± 0.3†	3.3 ± 0.3
	Effect size (Cohen's <i>d</i>)	0.45	0.04	0.31	0.02
20 m speed (s) post-PHV	Pre	2.7 ± 0.3	2.8 ± 0.2	2.8 ± 0.2	2.7 ± 0.3
	Post	2.6 ± 0.3†	2.7 ± 0.2	2.6 ± 0.2†	2.7 ± 0.3
	Effect size (Cohen's <i>d</i>)	0.34	0.08	0.50	0.02
SJ (cm) pre-PHV	Pre	24.6 ± 4.9	22.3 ± 4.9	24.1 ± 4.3	23.4 ± 4.6
	Post	28.3 ± 4.6†	24.8 ± 4.6†	28.2 ± 4.6†	23.5 ± 4.2
	Effect size (Cohen's <i>d</i>)	0.77	0.52	0.96	0.03
SJ (cm) post-PHV	Pre	32.3 ± 6.4	32.4 ± 5.0	33.2 ± 5.4	34.2 ± 4.6
	Post	32.7 ± 6.3	34.6 ± 5.1†	37.4 ± 5.5†	34.2 ± 4.6
	Effect size (Cohen's <i>d</i>)	0.07	0.45	0.79	0.00
RSI (mm·ms ⁻¹) pre-PHV	Pre	1.0 ± 0.2	0.9 ± 0.2	1.0 ± 0.3	1.0 ± 0.2
	Post	1.1 ± 0.2†	1.0 ± 0.2†	1.0 ± 0.3†	1.0 ± 0.2
	Effect size (Cohen's <i>d</i>)	0.53	0.16	0.19	0.04
RSI (mm·ms ⁻¹) Post-PHV	Pre	1.4 ± 0.2	1.4 ± 0.2	1.4 ± 0.2	1.4 ± 0.3
	Post	1.5 ± 0.2†	1.4 ± 0.2	1.4 ± 0.2†	1.4 ± 0.3
	Effect size (Cohen's <i>d</i>)	0.27	0.05	0.28	0.01

*PT = plyometric training group; TST = traditional strength training group; CT = combined training group; CON = control group; PHV = peak height velocity; SJ = squat jump; RSI = reactive strength index.
 †Significantly different from pretest ($p < 0.01$).
 ‡Significantly different from pretest ($p \leq 0.05$).

Hetzler et al. (1997) zeigten in ihrer Studie einen signifikanten Anstieg der „leg press 1 RM“ in den beiden Performancegruppen ETG (41 %) als auch in der NTG (40 %), die Kontrollgruppe steigerte sich um 14 % während der Interventionsdauer von 12 Wochen. Somit unterschieden sich die beiden Performancegruppen signifikant von der Kontrollgruppe (CON).

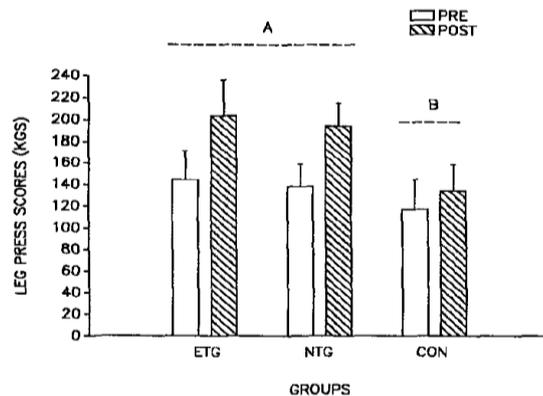


Abbildung 10 **Mittlere Testwerte des 1 RM Beinpresse** (Hetzler et al., 1997)

Beim Bankdrücken waren die Unterschiede zwischen allen Gruppen signifikant. Die ETG („experienced“ TG) verbesserte sich um 23 %, die NTG („novice“ TG) um 18 % und die CON um 0 %. Die VJ Leistung verbesserte sich ebenfalls bei den Performancegruppen signifikant gegenüber der CON Gruppe.

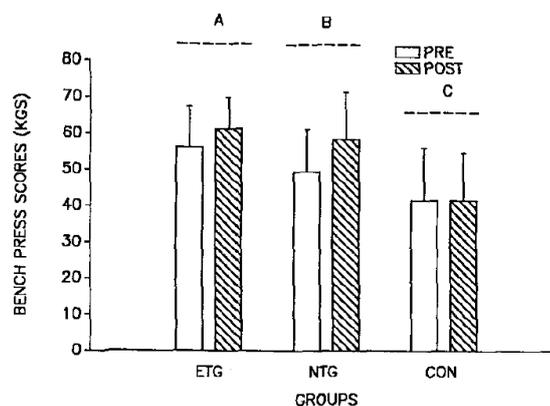


Abbildung 11 **Mittlere Testwerte des „1 RM“ Bankdrücken** (Hetzler et al., 1997)

Eine Leistungsverbesserung bei der anaeroben Power getestet durch den „Wingate Test“ erzielte ausschließlich die CON Gruppe, sowohl beim „maximal peak“ als auch bei der durchschnittlichen Leistung zeigten sich signifikante Erfolge.

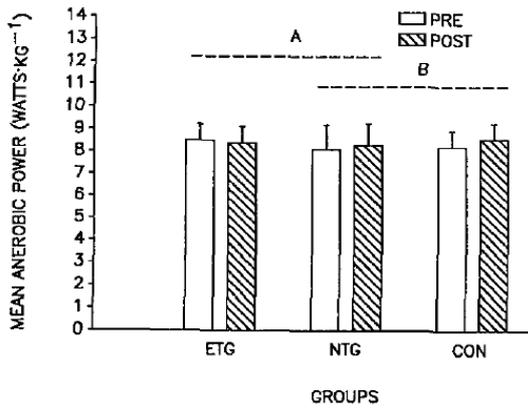


Abbildung 12 **Mittelwert der höchsten Wattwerte aus den ersten fünf Sekunden beim „Wingate Test“** (Hetzler et al., 1997)

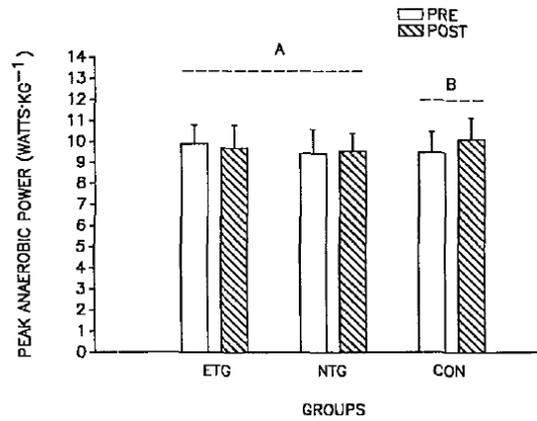


Abbildung 13 **Mittlere Testwerte beim „Wingate Test“** (Hetzler et al., 1997)

Bei keiner Gruppe konnte eine Leistungssteigerung beim „40 yard run“ dokumentiert werden.

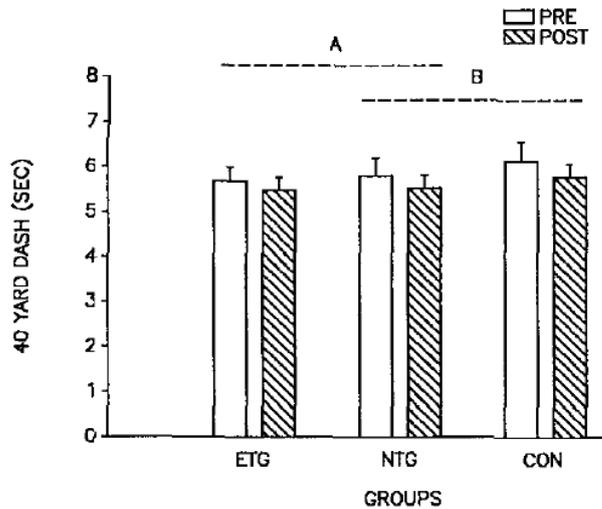


Abbildung 14 **Mittelwert Laufzeiten beim „40 yard test“** (Hetzler et al., 1997)

Die VJ Werte verbesserten sich bei beiden Performancegruppen signifikant nach einem 12-wöchigen Krafttraining.

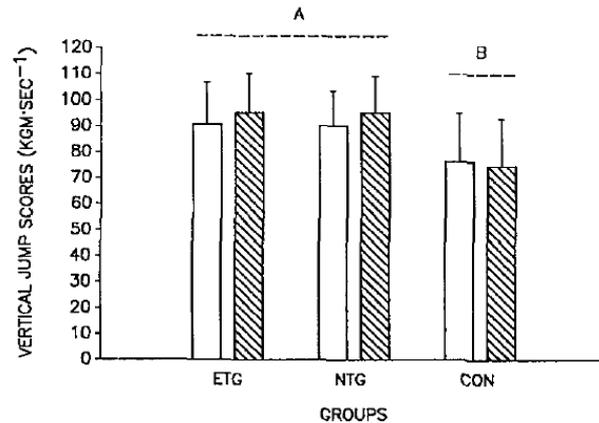


Abbildung 15 Mittelwerte der Maximalen Sprunghöhen (Hetzler et al., 1997)

Krafttraining verbesserte somit sowohl die Maximalkraftleistung als auch die VJ Performance, wirkte sich aber nicht positiv auf die anaerobe Power der weiteren Tests („40 yard“ Test und „Wingate Test“) aus.

Tabelle 24 Überblick über weitere Prä- und Postdaten (Hetzler et al., 1997)

Variable	Pretest		Posttest		Δ Score	
Group	M	±SD	M	±SD	M	±SD
Height (cm)						
exper.	166.9	6.1	168.4	6.1	1.4	1.0
novice	168.1	3.9	169.5	4.5	1.3	1.1
control	162.0	7.0	165.1	7.8	3.1	6.4
Weight (kg)						
exper.	58.2	7.8	59.6	7.9	1.4	1.0
novice	58.5	9.2	59.6	8.8	1.1	1.4
control	52.2	10.3	51.3	10.2	-0.9	5.6
Girths (cm)						
Chest						
exper.	83.4	4.4	85.1	4.4	1.7	2.3
novice	82.3	7.2	83.0	6.6	0.7	3.4
control	79.0	8.5	78.2	7.9	-0.9	3.4
Upper arm (flexed)						
exper.	29.0	1.7	29.3	1.8	0.3	0.5 ^{1a}
novice	28.3	2.4	28.9	2.2	0.6	0.5 ^a
control	27.2	2.8	25.9	3.2	-1.3	2.5 ^b
Waist						
exper.	72.9	4.6	73.9	5.4	0.9	2.0
novice	73.4	6.4	72.9	6.1	-0.5	1.2
control	69.9	7.0	68.6	6.0	-1.2	3.7
Mid-thigh						
exper.	49.4	3.3	49.9	3.4	0.5	1.0
novice	49.0	3.4	48.8	3.4	-0.2	1.2
control	46.8	5.4	46.4	5.1	-0.3	3.1
Calf						
exper.	34.0	2.0	34.5	2.1	0.5	1.0 ^{1a}
novice	34.0	2.1	34.3	2.1	0.3	0.4 ^{ab}
control	33.0	2.6	32.2	2.8	-0.8	2.2 ^b
Sum-of-7 skinfolds (mm)						
exper.	86.4	34.6	81.3	31.0	-5.1	11.3
novice	82.6	30.5	69.4	19.5	-13.2	13.4
control	72.7	22.4	59.7	16.7	-13.0	16.1
% Body fat						
exper.	14.3	6.0	13.1	5.5	-1.2	2.3
novice	14.5	5.3	11.9	3.9	-2.7	2.3
control	12.1	5.0	9.7	3.1	-2.4	3.6
Tanner (5-pt scale)						
exper.	3.9	0.6	4.1	0.6	0.2	0.4
novice	3.7	0.5	3.9	0.6	0.2	0.4
control	3.2	1.0	3.5	1.3	0.3	0.5
Peak power (W)						
exper.	579.8	113.9	581.6	116.3	1.8	34.3
novice	544.4	61.2	565.6	76.8	21.2	39.7
control	497.5	116.8	515.9	122.4	18.4	60.3
Mean power (W)						
exper.	498.1	96.1	501.6	99.1	3.5	20.8
novice	466.3	52.6	489.9	64.6	23.6	33.4
control	430.8	95.9	441.8	103.9	11.0	55.1
Vert. jump height (cm)						
exper.	47.0	7.4	48.5	6.4	1.5	4.8 ^{1ab}
novice	47.0	7.6	51.1	7.4	4.1	3.6 ^a
control	41.7	7.1	41.7	6.9	0.0	3.6 ^b

¹ANCOVA with LSD post hoc test revealed signif. diff., $p < 0.05$, between groups for delta scores.
Groups with different letters as postscript are signif. different.

Piazza et al. (2014) beschäftigten sich in ihrer Studie mit zwei unterschiedlichen Krafttrainingsmethoden (unspezifisches/spezifisches) bei weiblichen Turnerinnen. Beide Performancegruppen verbesserten ihre Sprungkraftwerte um sechs bis sieben Prozent. Die CMJ Flugzeit als auch die Bodenkontaktzeit beim „hopping“ Test verbesserten sich somit signifikant ohne, dass eine Beeinträchtigung ihrer Flexibilität dokumentiert werden konnte.

Tabelle 25 **Prä- und Postparameter der UST und SST Gruppen sowie Änderungen der Werte in % (Piazza et al., 2014)**

	Unspecific weight training			Δ (%)	Specific weight training		
	PRE (mean \pm SD)	POST (mean \pm SD)			PRE (mean \pm SD)	POST (mean \pm SD)	Δ (%)
HT flight time (ms)	412.9 \pm 68.4	441.7 \pm 44.2 [#]	+7.0	420.0 \pm 35.1	395.3 \pm 46.5	- 5.9	
HT ground contact time (ms)	230.4 \pm 32.1	238.7 \pm 29.8 ^{##}	+3.6	256.0 \pm 35.3 ^{**}	199.9 \pm 20.5	-21.9	
SJ flight time (ms)	427.1 \pm 35.3	440.1 \pm 28.0	+2.7	410.4 \pm 41.6	421.5 \pm 28.4	+ 2.7	
CMJ flight time (ms)	449.7 \pm 34.5 ^{**}	481.3 \pm 30.8	+7.0	457.2 \pm 30.6 ^{**}	485.0 \pm 33.8	+ 6.1	
Hip Abduction (°)	86.2 \pm 10.6	87.3 \pm 11.7	+1.2	90.7 \pm 12.1	78.9 \pm 11.1	-13.0	
Hip external rotation (°)	42.4 \pm 8	44.1 \pm 6.6	+4.0	45.6 \pm 6.9	44.5 \pm 6.3	- 2.4	
Hip internal rotation (°)	46.0 \pm 10.3	42.8 \pm 8.2	-6.9	48.1 \pm 6.5 [*]	43.2 \pm 4.8	-10.0	
Body mass (kg)	40.7 \pm 9.4	41.8 \pm 9.4	+2.8	36.5 \pm 6.7	36.7 \pm 7.0	+ 0.5	
Thigh circumference (cm)	42.5 \pm 4.6 ^{**}	44.8 \pm 6.2	+5.4	40.6 \pm 2.3 ^{**}	43.9 \pm 3.7	+ 8.1	
Calf circumference (cm)	30.3 \pm 3.2	30.7 \pm 3	+1.2	29.4 \pm 1.8	29.6 \pm 2.8	+ 0.9	

* p < 0.05 vs. post-training.

** p < 0.01 vs. post-training.

p < 0.05 vs. specific weight training.

p < 0.05 vs. Specific weight training.

Ermittelt wurden signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppe in der Flugzeit des HT.

Während sich die UST Gruppe um 7 % der Sprunghöhe steigern konnte, verschlechterte sich die Bodenkontaktzeit um 3.6 %. In der SST Gruppe kam es zu einer Verschlechterung der Sprunghöhe um -5.9 % und einer Verbesserung der Bodenkontaktzeit um – 21.9 %. Die CMJ (UST um 7 %, SST um 6.1 %) als auch die SJ (UST und SST um 2.7 %) Flugzeit verbesserte sich signifikant bei beiden Gruppen.

Unverständlich ist die Tatsache, dass von 57 Probandinnen die Rede ist und die Performancegruppen zusammen lediglich 37 Turnerinnen abdecken. Die Autoren äußern Selbstkritik daran, dass keine Kontrollgruppe mit einbezogen wurde. Dies rechtfertigt aber nicht die Abwesenheit von 20 Probandinnen unkommentiert zu lassen.

Christou et al. (2006): In dieser Studie waren nach einem 16-wöchigen Krafttraining die Maximalkraftwerte, die Sprungwerte (SJ und CMJ) und Sprintwerte besser als bei der „soccer“ Gruppe (SOC) und der passiven Kontrollgruppe. Es wurde nachgewiesen, dass Fußballtraining die Kraftwerte der Beine und die Agilität über das normale Wachstum der Kontrollgruppe hinaus steigert.

Die Maximalkraftwerte der Beine zeigten bei der STR Gruppe einen signifikanten Anstieg von 58.8 %, bei der SOC Gruppe um 33.8 % und selbst bei der CON Gruppe von 17 % (diese wurden vorrangig dem Wachstum und der natürlichen Entwicklung zugesprochen). Bei allen Gruppen waren die Anstiege in den ersten acht Wochen höher, als in der zweiten Hälfte der Interventionsphase. Die Maximalkraftwerte des Oberkörpers haben sich ausschließlich bei der STR Gruppe (signifikant) um 52.3 % verbessert und sanken bei den beiden anderen Gruppen unter den Ausgangswert ab.

Die erreichte Höhe beim „squat jump“ verbesserte sich bei der STR Gruppe signifikant um 13.5 % (nach acht Wochen) und 31 % (nach 16 Wochen). Die SOC Gruppe verbesserte sich um lediglich im 0.2 % mehr als die CON Gruppe (9.6 % Anstieg). Ähnliche signifikante Ergebnisse zeigte auch der CMJ. Hier verbessert sich die STR Gruppe in der ersten Phase um 14.4 % und im Gesamten um 24,6 %. Im CMJ verbessert sich die CON Gruppe mit 9.5 % in einem höheren Ausmaß als die SOC Gruppe, mit dem geringsten Anstieg von 6.3 %.

Obwohl sich in den „repeated jumps“ über 30 Sekunden sowohl die STR Gruppe (15.8 %) als auch die SOC Gruppe (7.2 %) signifikant steigern konnten, fiel der Anstieg der STR Gruppe deutlich höher aus. Die „shuttle-run“ Zeiten verbesserten sich geringfügig (3.5 %) bei den beiden Performancegruppen.

Beim Sprinttest über zehn Meter zeigte keine Gruppe signifikante Verbesserungen auch wenn die Geschwindigkeit der STR etwas anstieg (3.1 %). Dies wirkte sich erst bei einer Sprintlänge von 30 Metern aus und brachte eine signifikante Steigerung um 2.5 % mit sich. Die Ergebnisse der anderen Gruppen waren unverändert.

Beim „soccer technique“ Test verbesserten sich sowohl die STR Gruppe (6.8 %) als auch die SOC Gruppe (4.0 %) jedoch nicht signifikant.

Durch alleiniges fußballspezifisches Training konnten sich die Sportler in der Agilität und der Stärke der unteren Extremitäten verbessern. Die Gruppe mit zusätzlichem Krafttraining verbesserte sich in diesen Werten und zusätzlich in anderen Bereichen wie der Stärke des Oberkörpers, der Sprungkraft und der Laufgeschwindigkeit.

Tabelle 26 **Anthropometrische Daten der Versuchsgruppen zu den drei Messzeitpunkten** (Christou et al., 2006)

Group	Pretraining	8 weeks	Adjusted means	16 weeks	Adjusted means
Body mass (kg)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	52.0 ± 3.3	54.3 ± 3.4†	56.3 ± 0.4	55.6 ± 3.5†	57.5 ± 0.7
Soccer (<i>n</i> = 9)	54.1 ± 2	54.3 ± 2.0	54.2 ± 0.4	55.3 ± 2.0†‡	55.1 ± 0.7
Control (<i>n</i> = 8)	55.8 ± 4.5	57.4 ± 4.4	55.6 ± 0.4	57.5 ± 4.1	55.8 ± 0.7
Pretraining (covariate)	54.0				
Height (cm)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	162.0 ± 3.8	164 ± 3.9†	164.7 ± 0.3	165.2 ± 3.9†‡	165.9 ± 0.4
Soccer (<i>n</i> = 9)	163.0 ± 2.5	164 ± 2.5†	163.7 ± 0.3	165.3 ± 2.5†‡	165.0 ± 0.4
Control (<i>n</i> = 8)	163.2 ± 4.5	164.9 ± 4.2†	164.5 ± 0.4	165.6 ± 4.0†	165.2 ± 0.5
Pretraining (covariate)	162.8				
Maturational status (Tanner 5-pt scale)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	4.0 ± 0.2	4.2 ± 0.2	4.1 ± 0.1	4.3 ± 0.2	4.3 ± 0.1
Soccer (<i>n</i> = 9)	3.9 ± 0.3	4.0 ± 0.2	4.0 ± 0.1	4.2 ± 0.1	4.2 ± 0.1
Control (<i>n</i> = 8)	3.8 ± 0.3	4.0 ± 0.3	4.1 ± 0.1	4.1 ± 0.2	4.2 ± 0.2
Pretraining (covariate)	3.9				
Sum of 4 skinfolds (mm)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	30.0 ± 1.9	28.3 ± 1.6	38.9 ± 1.4	28.1 ± 1.6	37.6 ± 1.8
Soccer (<i>n</i> = 9)	40.0 ± 3.5	38.4 ± 3.5	40.4 ± 1.2	37.5 ± 3.3†	39.2 ± 1.6
Control (<i>n</i> = 8)	58.7 ± 6.6	55.4 ± 5.7	41.2 ± 1.6	47.2 ± 5.5†‡	34.4 ± 2.1
Pretraining (covariate)	42.3				
Body fat (%)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	12.2 ± 0.9	11.9 ± 0.7	16.9 ± 0.7	12.0 ± 0.7	16.8 ± 0.8
Soccer (<i>n</i> = 9)	16.6 ± 1.5	15.8 ± 1.6	16.9 ± 0.6	15.8 ± 1.5	16.9 ± 0.6
Control (<i>n</i> = 8)	24.8 ± 2.9	23.5 ± 2.6	17.4 ± 0.8	20.3 ± 2.5†‡	14.6 ± 0.8
Pretraining (covariate)	17.8				
Girth, midhigh (cm)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	45.4 ± 1.1	46.4 ± 1.4†	48.0 ± 0.3	48.1 ± 1.4†‡	49.4 ± 0.6
Soccer (<i>n</i> = 9)	47.7 ± 0.9	48.3 ± 0.8	47.6 ± 0.3	48.9 ± 0.8†	48.3 ± 0.6
Control (<i>n</i> = 8)	47.9 ± 1.9	49.3 ± 1.8	48.5 ± 0.4	48.3 ± 1.5	47.5 ± 0.6§
Pretraining (covariate)	47.0				
Girth, calf (cm)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	32.9 ± 0.8	33.1 ± 0.9	34.0 ± 0.2	33.6 ± 0.9†	34.4 ± 0.2
Soccer (<i>n</i> = 9)	33.9 ± 0.4	34.1 ± 0.6	34.0 ± 0.2	34.4 ± 0.6†	34.2 ± 0.2
Control (<i>n</i> = 8)	34.5 ± 1.2	34.7 ± 1.2	34.0 ± 0.2	34.2 ± 1.1	33.5 ± 0.2§
Pretraining (covariate)	33.8				
Girth, upper arm (cm)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	23.8 ± 1.0	23.7 ± 0.9	24.1 ± 0.2	24.0 ± 0.9	24.4 ± 0.2
Soccer (<i>n</i> = 9)	23.4 ± 0.4	23.0 ± 0.4†	23.7 ± 0.2	23.4 ± 0.4‡	24.1 ± 0.2
Control (<i>n</i> = 8)	25.2 ± 1.1	25.4 ± 1.3	24.3 ± 0.2	24.8 ± 1.0	23.8 ± 0.2
Pretraining (covariate)	24.1				
Girth, midbiceps (flexed) (cm)					
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	25.7 ± 1	26 ± 1	26.7 ± 0.3	26.4 ± 1	26.9 ± 0.3
Soccer (<i>n</i> = 9)	26.0 ± 0.5	25.4 ± 0.5	25.7 ± 0.3	25.6 ± 0.5	25.9 ± 0.3
Control (<i>n</i> = 8)	27.0 ± 1.2	26.9 ± 1.3	26.1 ± 0.3	26.2 ± 1	25.5 ± 0.3
Pretraining (covariate)	26.2				

* $p < 0.05$.

† From pretraining.

‡ From 8 weeks.

§ Between strength soccer and control.

Tabelle 27 Messdaten aller Test zu drei Messzeitpunkten (Christou et al., 2006)

Group	Pretraining	8 weeks			16 weeks		
	Means \pm SE	Means \pm SE	Effect size	Adjusted means	Means \pm SE	Effect size	Adjusted means
Flexibility (cm)							
Strength-Soccer (<i>n</i> = 9)	26.7 \pm 1.8	23.7 \pm 2.2†	-0.5	20.1 \pm 1.2	24.6 \pm 1.9	-0.37	21.2 \pm 1.1
Soccer (<i>n</i> = 9)	22.1 \pm 3.8	23.2 \pm 3.3	0.11	23.5 \pm 1.2	24.7 \pm 2.8	0.26	24.9 \pm 1.1
Control (<i>n</i> = 8)	18.3 \pm 2.9	18.7 \pm 1.2	0.05	22.1 \pm 1.2	18.4 \pm 2.8	0.01	21.5 \pm 1.2
Pretraining (covariate)	22.5						
Sprint time 10 m (s)							
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	2.16 \pm 0.06	2.18 \pm 0.07	0.14	2.14 \pm 0.04	2.09 \pm 0.04	-0.41	2.06 \pm 0.03
Soccer (<i>n</i> = 9)	2.00 \pm 0.04	2.04 \pm 0.04	0.4	2.13 \pm 0.04	1.98 \pm 0.04	-0.15	2.05 \pm 0.03
Control (<i>n</i> = 8)	2.18 \pm 0.05	2.20 \pm 0.06	0.12	2.15 \pm 0.04	2.11 \pm 0.04	-0.48	2.07 \pm 0.03
Pretraining (covariate)	2.11						
Sprint time 30 m (s)							
Strength-Soccer (<i>n</i> = 9)	5.07 \pm 0.16	5.16 \pm 0.16	0.19	5.13 \pm 0.05	4.94 \pm 0.12†‡	-0.3	4.91 \pm 0.04
Soccer (<i>n</i> = 9)	4.85 \pm 0.09	4.88 \pm 0.10	0.1	5.04 \pm 0.05	4.85 \pm 0.10	0	5.00 \pm 0.04
Control (<i>n</i> = 8)	5.20 \pm 0.11	5.26 \pm 0.06	0.22	5.12 \pm 0.05	5.22 \pm 0.10	0.06	5.09 \pm 0.04‡
Pretraining (covariate)	5.04						
Agility 10 \times 5 m (s)							
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	19.92 \pm 0.24	19.25 \pm 0.29†	-0.83	19.43 \pm 0.16	18.84 \pm 0.16†	-1.74	18.97 \pm 0.19
Soccer (<i>n</i> = 9)	19.78 \pm 0.21	19.07 \pm 0.22†	-1.08	19.34 \pm 0.16	18.99 \pm 0.24†	-1.13	19.19 \pm 0.20
Control (<i>n</i> = 8)	20.86 \pm 0.63	20.89 \pm 0.41	0.02	20.43 \pm 0.18‡§	21.12 \pm 0.40	0.17	20.78 \pm 0.22‡§
Pretraining (covariate)	20.18						
Mean height of repeated jumps for 30 s (cm)							
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	21.6 \pm 1.4	22.4 \pm 1.3	0.2	21.4 \pm 0.5	24.8 \pm 1.4†‡	0.76	23.7 \pm 0.7
Soccer (<i>n</i> = 9)	22.2 \pm 1.3	23.0 \pm 1.2	0.21	21.4 \pm 0.5	23.7 \pm 1.2†	0.41	22.0 \pm 0.8
Control (<i>n</i> = 8)	16.9 \pm 1.4	16.9 \pm 1.1	0	19.5 \pm 0.6	18.3 \pm 1.4	0.36	21.0 \pm 0.9
Pretraining (covariate)	20.21						
Soccer technique test (s)							
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	7.91 \pm 0.20	7.51 \pm 0.18	-0.69	7.95 \pm 0.18	7.32 \pm 0.10	-1.22	7.72 \pm 0.19
Soccer (<i>n</i> = 9)	7.40 \pm 0.24	7.21 \pm 0.24	-0.25	8.08 \pm 0.20	7.10 \pm 0.26	-0.39	7.90 \pm 0.22
Control (<i>n</i> = 8)	10.27 \pm 0.55	10.32 \pm 0.52	0.03	8.85 \pm 0.26§	10.30 \pm 0.51	0.02	8.95 \pm 0.28‡§
Pre-training (covariate)	8.52						
Squat jump (cm)							
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	24.9 \pm 1.4	28.1 \pm 1.4†	0.76	27.9 \pm 1	32.4 \pm 1.6†	1.65	32.1 \pm 1
Soccer (<i>n</i> = 9)	23.8 \pm 1.2	25.2 \pm 1.2	0.4	25.7 \pm 1	25.9 \pm 1.1	0.62	26.6 \pm 1¶
Control (<i>n</i> = 8)	25 \pm 2	26.5 \pm 1.8	0.28	26.2 \pm 1.1	27 \pm 2.1	0.35	26.6 \pm 1¶
Pretraining (covariate)	24.5						
Countermovement jump (cm)							
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	29 \pm 1.6	32.9 \pm 1.4†	0.86	33.1 \pm 0.6	35.7 \pm 1.4†	1.49	35.9 \pm 0.8
Soccer (<i>n</i> = 9)	29.7 \pm 1.7	30.3 \pm 1.5	0.12	30 \pm 0.6¶	31.1 \pm 1.3	0.3	30.8 \pm 0.8
Control (<i>n</i> = 8)	29 \pm 2	30.6 \pm 1.4	0.33	30.7 \pm 0.7¶	31.2 \pm 1.5	0.44	31.3 \pm 0.9
Pretraining (covariate)	29.2						
Leg press 1RM (kg)							
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	102.8 \pm 2.5	142.8 \pm 8.5†	1.73	148.7 \pm 4.7	163.9 \pm 7.4†	2.77	170.1 \pm 4.4
Soccer (<i>n</i> = 9)	106.1 \pm 7	126.7 \pm 6.7†	1	118.9 \pm 4.8¶	139.4 \pm 6†	1.7	132.5 \pm 4.6¶
Control (<i>n</i> = 8)	93.8 \pm 5.2	102.5 \pm 6.7†	0.52	108.3 \pm 5§	110 \pm 6.8†	0.95	115.2 \pm 4.8§¶
Pretraining (covariate)	100.9						
Bench press 1RM (kg)							
Strength-soccer (<i>n</i> = 9)	36 \pm 1.6	45.9 \pm 2.5†	1.57	50.6 \pm 1.1	55 \pm 3.1†	2.54	60.6 \pm 1.5
Soccer (<i>n</i> = 9)	48.3 \pm 3.2	47.8 \pm 2.6	-0.01	41.4 \pm 1.2¶	45.8 \pm 3.4	-0.25	38.2 \pm 1.5¶
Control (<i>n</i> = 8)	39.4 \pm 2.7	41 \pm 2.4	0.22	42.7 \pm 1.1§	40.5 \pm 2.5	0.15	42.5 \pm 1.5§
Pretraining (covariate)	41.2						

* *p* < 0.05.

† From pretraining.

‡ From 8 weeks.

§ Between strength-soccer and control.

¶ Between soccer and control.

¶ Between strength-soccer and soccer.

Sander et al. (2013) erhoben in ihrer Langzeitstudie Daten, welche deutlich die positiven Effekt von „free weights“ Krafttraining („front- und backsquats“) auf die Sprintgeschwindigkeit von U15, U17 und U19 Fußballspielern in Deutschland aufzeigten.

Die Auswertung der erhobenen anthropometrischen Daten zeigte aufgrund der Studienlänge von zwei Jahren eine deutliche Zunahme des Körpergewichts und der Körpergröße in der Kohorte B (U17) und der Kohorte C (U15). Die körperlichen Veränderungen der Kohorte C (U19 Spieler) fielen aufgrund der schon zu Studienbeginn fortgeschrittenen körperlichen Reife deutlich geringer aus. Signifikante Unterschiede zwischen der STG und der CG einer Kohorte konnten nur bei B (U17) festgestellt werden.

Tabelle 28 Standardabweichung der anthropometrischen Daten und die prozentuelle Abweichung zwischen den beiden Messzeitpunkten (Sander et al., 2013)

Cohort	Group	T1 body-mass (kg)	T2 body-mass (kg)	Changes between T1 and T2 (%)	T1 body-height (cm)	T2 body-height (cm)	Changes between T1 and T2 (%)
A	STG (n=13)	69.9±5.6	73.2±4.8	4.76±5.22	174.7±6.1	176.9±5.9	1.27±0.64
	CG (n=15)	72.7±8.1	76.4±6.7	5.33±5.63	177.9±6.2	179.5±6.4	0.92±0.57
B	STG (n=30)	63.2±7.7	70.1±9.1	11.1±6.9*	172.4±7.4	177.4±6.1	3.0±2.1
	CG (n=25)	60±10.1	69.8±8.7	17.2±8.8*	171.7±8.0	178.4±6.8	4.0±1.8
C	STG (n=18)	46.4±11.6	54.5±10	19±10.2	155.9±9.4	166.5±8.4	6.8±2.2
	CG (n=33)	48.3±10.2	58.1±10.4	21.8±13	160±10.9	169.6±8.9	6.2±4.2

T1 = pre-test; T2 = post-test; kg = kilogramme; cm = centimetre.
Significant difference between the groups: *p ≤ 0.01.

Die Resultate der „1 RM“ Tests ergaben signifikante Verbesserungen der STG Gruppen aller drei Alterskohorten sowohl beim den ermittelten „Front- als auch Backsquatwerten“ im Vergleich zur gleichaltrigen Kontrollgruppe. Alle sechs Gruppen verbesserten ihre Maximalkraftwerte während der zweijährigen Studiendauer.

Die STG der Kohorte A und B verzeichneten sowohl bei den „Front- als auch Backsquats 1 RM“ Werten einen prozentuellen Zuwachs von 100-120 %, die STG der Kohorte C stieg um 300 %. Relativiert man diese Werte durch die Subtraktion der prozentuellen Steigerung der, der Kohorten gleichen CG (% STG - % CG) so ergaben sich für die A und B STG eine trainingsbedingte netto Steigerung von 56-80 % und bei C STG 230 - 250 %.

Durch die zweiwöchige Trainingsphase vor den Tests schloßen Sander et al. (2013) neuronale Adaptionen weitgehend aus und schrieben diese Kraftsteigerungen morphologischen und anthropometrischen Veränderungen, ausgelöst durch das Krafttrainingsadaptionen, zu. Diese teils extrem hohen Werte begründeten die Autoren mit der langen Studiendauer, betonten aber auch, dass berücksichtigt werden muss das Trainingsverfahren und Testverfahren gleich waren. Der deutlich höhere Kraftzuwachs der Kohorte C wurde der größeren Veränderung der anthropometrischen Daten, sichtbar in Körpergewicht und Körpergröße, zugeschrieben wodurch der Muskelzuwachs höher als in den anderen Altersgruppen war.

Zu betonen ist zusätzlich, dass der durch das Fußballtraining bedingte Kraftzuwachs durch das Fehlen einer nicht Sport treibenden Kontrollgruppe nicht herausgerechnet werden konnte.

Tabelle 29 Mittelwerte +- Standardabweichung der ermittelten „1 RM“ Testwerte, sowie die prozentuelle Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten (Sander et al., 2013)

Cohort	Group	T1 front squat (kg)	T2 front squat (kg)	Changes between T1 and T2 (%)	T1 back squat (kg)	T2 back squat (kg)	Changes between T1 and T2 (%)
A	STG (n=13)	53.8±6.8	106.2±10	101.6±43*	61.2±10	120.4±11.4	101.6±37*
	CG (n=15)	54.5±6.9	65±10	20.9±22.9	69.5±12.9	87.7±10.1	29.2±22.7
B	STG (n=30)	46.2±7.4	97.8±13.3	115.1±34.4*	52±10.7 ^{§§}	113±15.2	123±38.5*
	CG (n=25)	35.6±7.5	51.5±10.1	49.8±39.6	41.7±11.6	65±11.2	67±51.4
C	STG (n=18)	21.4±8.5	81.4±14.4	312.5±118.6*	25±9.6	90±13.5	290.9±107.8*
	CG (n=33)	25.7±13.3	36.1±6.6	62.3±53.8	32.9±16.1	46.8±10.9	59.7±43.4

T1 = pre-test; T2 = post-test; kg = kilogramme.

Significant difference relative to CG: * $p \leq 0.001$. Significant difference relative to CG: ^{§§} $p \leq 0.05$

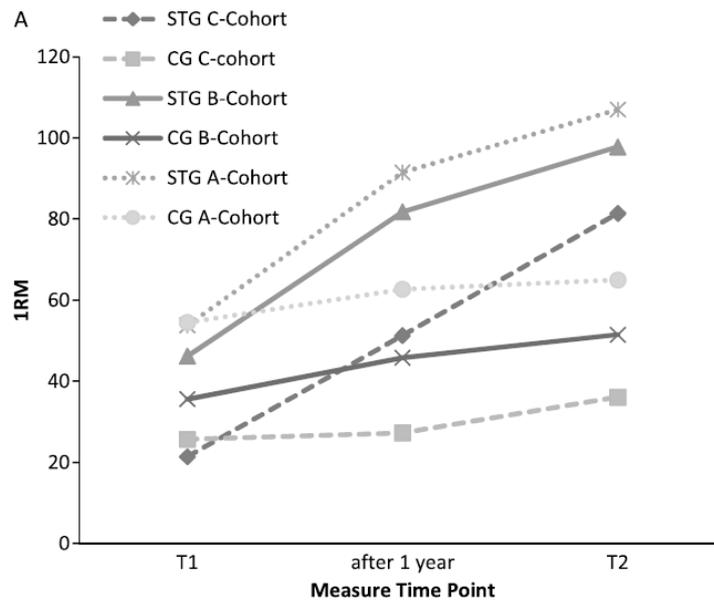


Abbildung 16 Die ermittelten „1 RM“ Kraftwerte des Frontsquats aller sechs Gruppen zu drei Messzeitpunkten (Studienstart, nach einem Jahr, Studienende) im Vergleich (Sander et al., 2013)

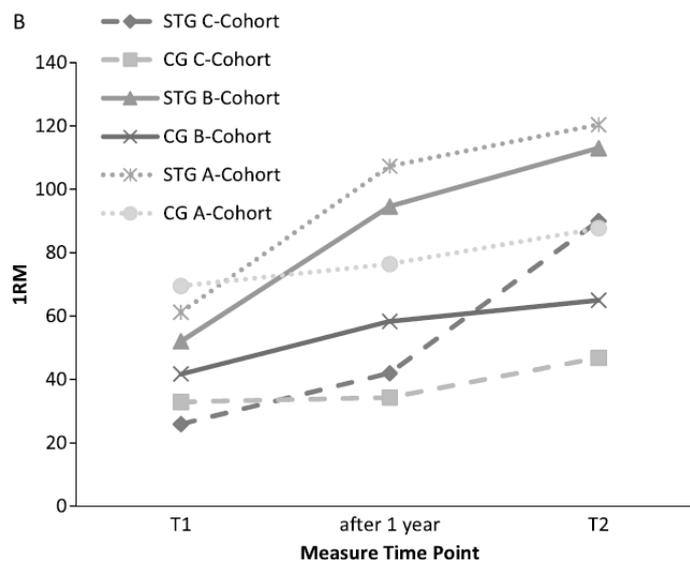


Abbildung 17 Die ermittelten „1 RM“ Kraftwerte des „Backsquats“ aller sechs Gruppen zu drei Messzeitpunkten (Studienstart, nach einem Jahr, Studienende) im Vergleich (Sander et al., 2013)

Die Daten des Sprinttests zeigten, dass die Verbesserungen der Sprintzeiten innerhalb der STG Gruppe im Vergleich zur der Kontrollgruppe in der Kohorte A und C bei allen sechs ermittelten Werten signifikant besser waren. In der Kohorte B war dies bei den Messzeitpunkten nach fünf Metern, zehn Metern, 20 m und 25 m Marke der Fall.

- Die **STG** Gruppe der **Kohorte A** verbesserte sich signifikant zwischen den beiden Datenerhebungen T1 und T2 bei den Distanzbereichen von fünf bis 30 Meter.
- Die **STG** Gruppe der **Kohorte B und C** verbesserte sich signifikant in allen Distanzen.
- Die **CG** Gruppe der **Kohorte A** verbesserte sich in keinem der Distanzbereiche signifikant. Der zweite Testzeitpunkt fand nach einer anstrengenden Saison statt, dadurch könnte die Verschlechterung erklärt werden. Da diese U19 Gruppe kaum noch von natürlichen Wachstumsprozessen profitierte, kam die wachstumsbedingte Leistungssteigerung in dieser Kohorte nicht zu tragen. Das reguläre Fußballtraining reichte daher nicht aus um die Sprintperformance innerhalb von zwei Jahren Training zu verbessern.
- Die **CG** Gruppe der **Kohorte B** verbesserte sich signifikant zwischen den Distanzbereichen von zehn bis 30 Meter. Laut Autoren können diese Verbesserungen der Kohorte B und C auf die, durch den natürlichen Reifungsprozess bedingten, großen Zuwächse der antropometrischen Daten zurückgeführt werden, wodurch einerseits mehr Muskelmasse besteht, andererseits auch die größere Schrittlänge die Sprintperformance positiv beeinflusst.
- Die **CG** Gruppe der **Kohorte C** verbesserte sich signifikant zwischen den Distanzbereichen von 15 bis 30 Meter.

Tabelle 30 **Mittelwerte +- Standartabweichung der ermittelten Sprintzeiten / Distanzpunkte, sowie die prozentuelle Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten (Sander et al., 2013)**

Cohort	Group	Test-time	5 m (s)	10 m (s)	15 m (s)	20 m (s)	25 m (s)	30 m (s)
A	STG (n=13)	T1	1.022±0.032	1.746±0.042	2.398±0.049	3.020±0.067	3.617±0.083	4.211±0.103
		T2	0.987±0.030	1.712±0.045	2.346±0.057	2.961±0.058	3.548±0.075	4.146±0.078
		%	-3.1±3.0**	-1.9±2.9**	-2.1±2.7**	-1.9±1.9**	-1.8±2.2*	-1.5±2.0*
	CG (n=15)	T1	1.019±0.037	1.743±0.052	2.392±0.055	3.004±0.067	3.604±0.081	4.194±0.093
		T2	1.046±0.059	1.775±0.076	2.426±0.092	3.038±0.100	3.631±0.127	4.227±0.132
		%	2.8±6.3	1.9±4.1	1.4±3.1	1.1±2.6	0.8±2.8	0.8±2.5
B	STG (n=30)	T1	1.043±0.053	1.802±0.082	2.477±0.110	3.120±0.140	3.744±0.178	4.371±0.203
		T2	1.004±0.058	1.731±0.078	2.375±0.102	2.984±0.126	3.577±0.155	4.166±0.183
		%	-3.8±2.9**	-3.9±2.4*	-4.1±2.2	-4.3±2.2*	-4.4±2.2*	-4.6±2.0
	CG (n=25)	T1	1.038±0.050	1.798±0.084	2.482±0.111	3.129±0.145	3.763±0.181	4.404±0.222
		T2	1.031±0.053	1.761±0.075	2.386±0.244	3.045±0.124	3.648±0.149	4.246±0.177
		%	-0.6±4.3	-2.0±3.8	-3.8±9.5	-2.6±2.8	-3.0±2.5	-3.5±2.9
C	STG (n=18)	T1	1.085±0.043	1.917±0.056	2.651±0.078	3.375±0.101	4.081±0.128	4.788±0.158
		T2	1.026±0.034	1.813±0.078	2.517±0.105	3.194±0.142	3.854±0.174	4.511±0.213
		%	-5.3±4.6***	-5.4±3.9***	-5.1±3.0***	-5.4±3.0***	-5.6±3.0**	-5.8±3.1**
	CG (n=33)	T1	1.098±0.042	1.896±0.066	2.624±0.087	3.325±0.112	4.013±0.146	4.691±0.179
		T2	1.107±0.061	1.878±0.075	2.583±0.097	3.247±0.120	3.899±0.144	4.548±0.174
		%	0.8±5.0	-0.9±3.2	-1.5±2.8	-2.3±2.7	-2.8±2.7	-3.0±2.9

T1 = pre-test; T2 = post-test; s = seconds.

Significant difference relative to CG: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

Die Korrelationsanalyse zeigte einen signifikant positiv moderaten Zusammenhang zwischen den Kraftwertverbesserungen der „1 RM“ im Verhältnis zum Körpergewicht und der Verbesserung der Sprintzeiten in allen Kohorten. Diese Resultate belegten laut Sander et al. (2013) den positiven Einfluss hoher Maximalkraftwerte auf die ersten 15 Meter der Sprintperformance.

Hoyo et al. (2016) analysierten in ihrer Studie die Effekte von drei unterschiedlichen, niedrigen bis moderaten Krafttrainingsmethoden (SQ, RS, PLYO) auf die Sprintfähigkeit, die Sprunghöhe und die „change of direction (COD)“ Leistungsfähigkeit von 22 Fußballspielern. Zur Auswertung wurden ausschließlich Testergebnisse von jenen Athleten herangezogen, die zumindest 90 % der Trainingseinheiten absolviert hatten.

Alle drei Trainingsgruppen verbesserten sich nach acht Wochen Interventionsdauer im CMJ (PLYO > SQ > RS) und den 30 bis 50 Meter Sprintzeiten (SQ > PLYO > RS). Deutliche Verbesserungen im null bis 50 Meter Sprinttest zeigten die Athleten der SQ- und PLYO Gruppe, im zehn bis 20 Meter Sprint ausschließlich die SQ Trainingsgruppe.

Tabelle 31 **Beschreibende Daten der Sportler Pro Trainingsgruppe (Hoyo et al., 2016)**

	Age (y)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg·m ⁻²)
SQ (n = 11)	18 ± 1	177.86 ± 3.12	70.87 ± 3.87	18.8 ± 2.2
RS (n = 12)	17 ± 1	178.24 ± 1.25	73.12 ± 2.56	19.3 ± 2.5
PLYO (n = 9)	18 ± 1	177.45 ± 2.12	72.34 ± 2.55	18.7 ± 2.2

*BMI = body mass index; SQ = back squat group; RS = resisted sprint group; PLYO = plyometric and speed/agility group.

Dabei erzielen die Athleten des SQ Trainingsprogrammes höhere Leistungssteigerungen im zehn bis 20 Meter und 30 bis 50 Meter Sprint als die RS- und PLYO-Trainingsgruppe.

Die Zeiten aller Gruppen für den COD Test verbesserten sich nicht. Hoyo et al. (2016) gingen davon aus, dass viele Variablen (Technik, Sprintgeschwindigkeit, Beinmuskelqualität, anthropometrische Daten, usw.) für die Agilität und die rasche Richtungsänderungen ausschlaggebend sind und eine Verbesserung bei hochtrainierten Athleten auch in anderen Studien nicht vorzufinden ist.

Tabelle 32 **Leistungsveränderungen nach dem SQ-, RS- und PLYO-Trainingsprogramm (Hoyo et al., 2016)**

	Variables	Pretest	Posttest	Changes (%) (90% CL)	Standardized differences (ES ± 90% CL)	Qualitative assessment	Chances (%)
SQ (n = 11)	CMJ (cm)	37.5 ± 4.2	40.0 ± 5.5	6.3 (3.5; 9.2)	0.51 (0.29; 0.73)	Very likely	99/1/0
	0-10 m (s)	1.67 ± 0.05	1.68 ± 0.08	-1.0 (-3.6; 1.5)	-0.31 (-1.10; 0.48)	Unclear	13/27/60
	10-20 m (s)	1.27 ± 0.04	1.25 ± 0.04	1.9 (0.8; 2.9)	0.61 (0.26; 0.96)	Very likely	97/3/0
	0-20 m (s)	2.95 ± 0.09	2.94 ± 0.10	0.2 (-1.4; 1.7)	0.05 (-0.43; 0.54)	Unclear	30/52/18
	0-30 m (s)	4.11 ± 0.12	4.07 ± 0.11	1.0 (-0.2; 2.2)	0.32 (-0.06; 0.70)	Possibly	71/28/2
	30-50 m (s)	2.37 ± 0.09	2.29 ± 0.09	3.4 (1.9; 4.8)	0.84 (0.48; 1.21)	Almost certainly	100/0/0
	0-50 m (s)	6.50 ± 0.20	6.38 ± 0.19	2.0 (0.8; 3.1)	0.60 (0.23; 0.97)	Very likely	96/4/0
RS (n = 13)	COD (s)	4.99 ± 0.10	4.97 ± 0.14	0.3 (-1.5; 2.2)	0.15 (-0.67; 0.97)	Unclear	46/31/23
	CMJ (cm)	35.3 ± 2.7	37.0 ± 2.8	4.8 (3.4; 6.3)	0.57 (0.40; 0.74)	Almost certainly	100/0/0
	0-10 m (s)	1.72 ± 0.05	1.71 ± 0.06	0.4 (-0.5; 1.3)	0.11 (-0.16; 0.37)	Possibly	26/71/3
	10-20 m (s)	1.28 ± 0.04	1.27 ± 0.04	0.2 (-1.3; 1.7)	0.06 (-0.39; 0.51)	Unclear	29/54/17
	0-20 m (s)	3.00 ± 0.07	2.99 ± 0.08	0.1 (-0.7; 1.0)	0.05 (-0.25; 0.34)	Unclear	19/74/8
	0-30 m (s)	4.22 ± 0.12	4.19 ± 0.13	0.7 (-0.3; 1.7)	0.21 (-0.11; 0.53)	Possibly	53/45/2
	30-50 m (s)	2.37 ± 0.10	2.33 ± 0.08	1.7 (0.4; 3.1)	0.45 (0.09; 0.81)	Likely	88/11/0
PLYO (n = 9)	0-50 m (s)	6.60 ± 0.22	6.53 ± 0.20	1.0 (0.0; 2.0)	0.30 (-0.01; 0.60)	Possibly	70/29/1
	COD (s)	5.26 ± 0.16	5.28 ± 0.17	-0.3 (-1.8; 1.1)	-0.10 (-0.54; 0.35)	Unclear	13/53/34
	CMJ (cm)	35.5 ± 4.3	37.9 ± 3.6	7.2 (2.6; 12.1)	0.50 (0.18; 0.81)	Likely	94/6/0
	0-10 m (s)	1.72 ± 0.07	1.72 ± 0.08	0.1 (-2.4; 2.5)	0.02 (-0.55; 0.60)	Unclear	29/46/25
	10-20 m (s)	1.26 ± 0.04	1.25 ± 0.05	0.4 (-1.2; 1.9)	0.12 (-0.36; 0.60)	Unclear	38/49/13
	0-20 m (s)	2.99 ± 0.08	2.98 ± 0.12	0.3 (-1.5; 2.1)	0.12 (-0.51; 0.74)	Unclear	40/41/19
	0-30 m (s)	4.17 ± 0.11	4.13 ± 0.17	1.0 (-0.6; 2.6)	0.35 (-0.21; 0.90)	Possibly	68/26/5
	30-50 m (s)	2.36 ± 0.09	2.32 ± 0.10	2.0 (0.8; 3.2)	0.50 (0.19; 0.81)	Likely	95/5/0
	0-50 m (s)	6.55 ± 0.20	6.46 ± 0.25	1.5 (0.2; 2.8)	0.46 (0.05; 0.88)	Likely	86/13/1
	COD (s)	4.94 ± 0.18	4.94 ± 0.19	0.1 (-1.1; 1.3)	0.02 (-0.27; 0.32)	Unclear	15/76/10

*Data are mean ± SD.
 †CL = confidence limits; ES = effect size; CMJ = countermovement jump height; COD = change of direction time; %Difference = percentage difference; Chances = percentage chance of having better/similar/poorer values.
 ‡For clarity, all differences are presented as improvements (positive), so that negative and positive differences are in the same direction.

Wesentliche Erkenntnisse dieser Studie waren die hervorzuhebenden Leistungssteigerungen der SQ Trainingsgruppe welche mit nur 40-60 % des „1 RM“ und verhältnismäßig wenig Trainings-volumen von zwei Einheiten pro Woche mit zwei bis drei Sätzen und jeweils vier bis acht Wiederholungen herausstachen. Da die Bewegung sehr jener des CMJ ähnelte, wurde vermutet, dass sie auch wesentlich zur Steigerung dieser Testwerte beitrug.

Eine Auswertung der Sprintzeiten verdeutlichte, dass sich in allen Gruppen vorrangig die Frequenzphase (30 bis 50 Meter) eines Sprints verbesserte und die Steigerung der Beschleunigungsphase auf den ersten Meter eher gering ausfiel.

Kobal et al. (2016) untersuchten im Rahmen ihrer Studie Auswirkungen unterschiedlicher Kombinationen von Krafttraining und plyometrischen Übungen während einer Trainingseinheit auf die maximale dynamische Kraft, die vertikalen Sprungkraftwerte, die Sprintgeschwindigkeit und die Agilität bei 27 gut trainierten Fußballspielern im Alter von 18.9 ± 0.6 Jahren. Folgende Trainingsgruppen nach achtwöchiger Interventionsdauer wurden untersucht: „complextraining“ CP (ST vor PL), traditionelles Training TD (PT vor ST) und Kontrasttraining CT (abwechselnde Sets ST und PL).

Weder zu Studienbeginn noch zu Studienende bestanden zwischen den Gruppen beim Prä- oder Posttest Unterschiede. Alle Gruppen verbesserten sich beim „half-squat“ und CMJ vom Prä- zum Posttest signifikant. Beim zehn bis 20 Meter Sprint konnte lediglich die TD Gruppe signifikante Verbesserungen zwischen „Mid- und Posttest“ erzielen, diese blieben bei der CP Gruppe und CT aus. Keine der drei Gruppen verbesserte sich beim „505 agility“ Test.

Tabelle 33 Veränderung vom Prä- zum Posttest innerhalb der Gruppen in Prozent (%). Signifikanzlevel $p \leq 0.05$. Effektgröße ES (< 0.25 = trivial, $0.25-0.5$ = small, $0.5-1$ = moderate, > 1 = groß) (Kobal et al., 2016)

	„Complextraining“ - CP	traditionelles Training - TD	Kontrasttraining - CT
„half-squat 1 RM“	-48.6% [ES = 3.64], $p \leq 0.05$	- 46.3% [ES = 9.71], $p \leq 0.05$	- 53% [ES = 4.46], $p \leq 0.05$
CMJ	- 13% [ES = 1.1], $p \leq 0.05$	-14.2% [ES = 1.13], $p \leq 0.05$	- 14.7% [ES = 1.31], $p \leq 0.05$
10m Sprint Test	[ES = -1.86]	-7% [ES = -1.44], $p \leq 0.05$	[ES = -0.08]
20m Sprint Test	[ES = -1.43]	-6% [ES = -0.5], $p \leq 0.05$	[ES = -0.13]
„505 agility Test“	[ES = -0.59]	[ES = -0.11]	[ES = -0.67]

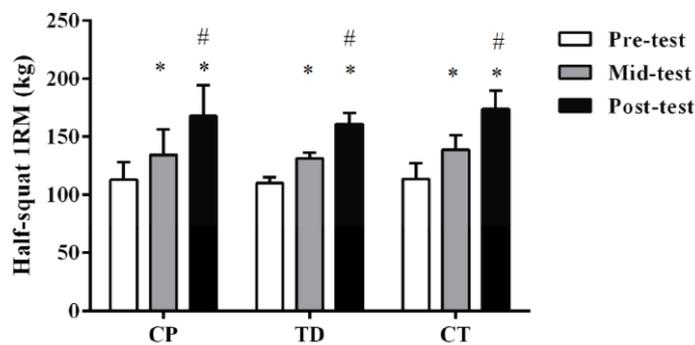


Abbildung 18 Balkendiagramm der „half-squat“ Testergebnisse im Überblick (Kobal et al., 2016)

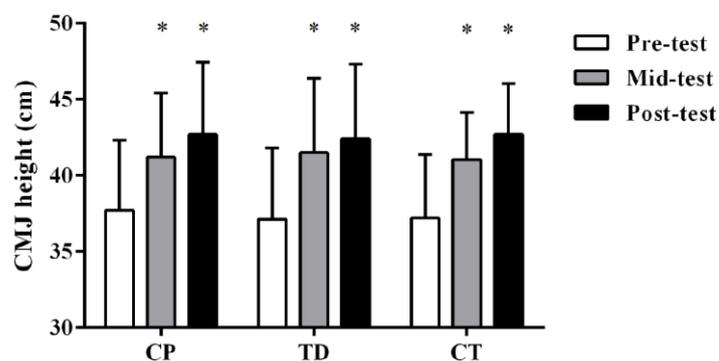


Abbildung 19 Balkendiagramm der CMJ Testergebnisse im Überblick (Kobal et al., 2016)

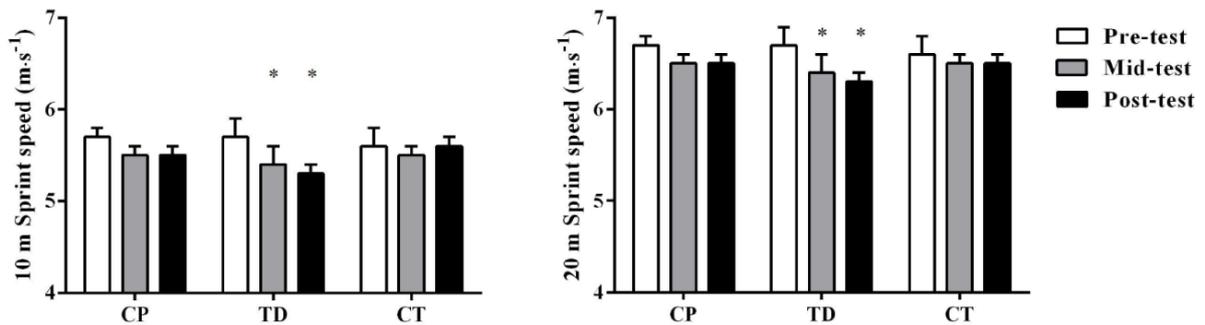


Abbildung 20 **Balkendiagramm der zehn und 20 Meter Sprint Testergebnisse im Überblick** (Kobal et al., 2016)

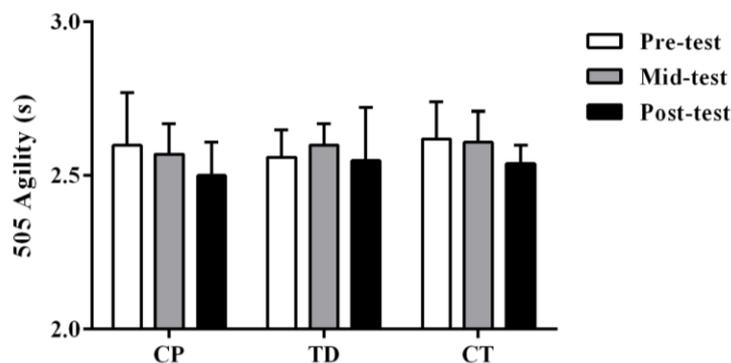


Abbildung 21 **Balkendiagramm der „505 agility“ Testergebnisse im Überblick** (Kobal et al., 2016)

Laut den Autoren wurde einerseits herausgefunden, dass sich alle Gruppen gleichermaßen beim „dynamik strength“ Test („half-squat“ Test) und der vertikalen Sprungfähigkeit (CMJ-Test) verbesserten und andererseits die Wahl der Trainingsmethode Einfluss auf die Sprintfähigkeit hatte. So verbesserte sich lediglich die TD Trainingsgruppe zwischen „Mid- und Posttest“ signifikant, während die CP und CT keinerlei Veränderungen in ihrer Sprintfähigkeit erzielten. Zu betonen war dabei zudem, dass sich Die CMJ Werte bei allen Gruppen nur zwischen den „Prä- und Midtest“, bzw. zwischen dem „Prä- und Posttest“ signifikant verbesserten, diese Leistungssteigerung der Sprungkraft aber nicht zwischen „Mid- und Posttest“ anhielt.

Die Autoren stellten fest, dass die Kombination von Kraft- und plyometrischen Training zu höheren Anstiegen der „1 RM“ innerhalb von acht Wochen führte, als es in Literatur

mit Interventionen durch reines Krafttraining vorzufinden war. Kobal et al. (2016) gingen davon aus, dass die neuromuskuläre Anpassung durch die Kombination effektiver stattfindet als durch die Absolvierung eines reinen Krafttrainingsprogrammes.

Kotzamanidis et al. (2005) Studie untersuchte die unterschiedlichen Effekte von reinem Krafttraining (STR) und der Kombination aus Kraft- und Speed-Training (COM) auf die „vertical jump performance“, die Sprintgeschwindigkeit und Maximalkraft. Zu Beginn der Studie bestanden zwischen den drei Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 34 **Übersicht der anthropometrischen Daten der drei Gruppen**
(Kotzamanidis et al., 2005)

Groups*	n	Age (y)	Mass (kg)	Height (m)	Training age (yr)
COM	12	17.0 ± 1.1	73.5 ± 1.2	1.78 ± 0.35	4.0 ± 1.5
STR	11	17.1 ± 1.1	72.5 ± 2.2	1.75 ± 0.25	4.0 ± 1.5
CON	12	17.8 ± 0.3	75.0 ± 1.8	1.76 ± 0.13	—

* COM = combined resistance and speed training program group; STR = resistance training only group; CON = control group.

Tabelle 35: **Übersicht der ermittelten Maximalkraftwerte pro Gruppe und Übung bei Pre- und Posttest** (Kotzamanidis et al., 2005)

Variable	Test	COM group	STR group	CON group
Half squat	Pre	139.58 ± 18.14	140.45 ± 15.56	138.33 ± 13.87
	Post	151.66 ± 20.59*	154.54 ± 15.72*	140.41 ± 13.39
Step up	Pre	64.16 ± 6.33	65.45 ± 7.56	69.16 ± 5.14
	Post	75.41 ± 8.38*	76.36 ± 7.10*	71.25 ± 4.33
Leg curls	Pre	50.41 ± 5.41	53.63 ± 6.74	51.25 ± 4.33
	Post	59.58 ± 5.82*	62.27 ± 5.64*	52.50 ± 5.43

* Significant difference from pretest within the group ($p < 0.01$).

† COM = combined resistance and speed training program group; STR = resistance training only group; CON = control group.

Bei allen Maximalkrafttests konnten sowohl bei der COM- als auch der STR Gruppe zwischen „Prä- und Posttest“ signifikante Leistungssteigerungen festgestellt werden. Zwischen den beiden „performance“ Gruppen bestanden keine signifikanten Änderungen

und es gab keine signifikanten Veränderungen innerhalb der CON Gruppe zwischen „Prä- und Posttest“.

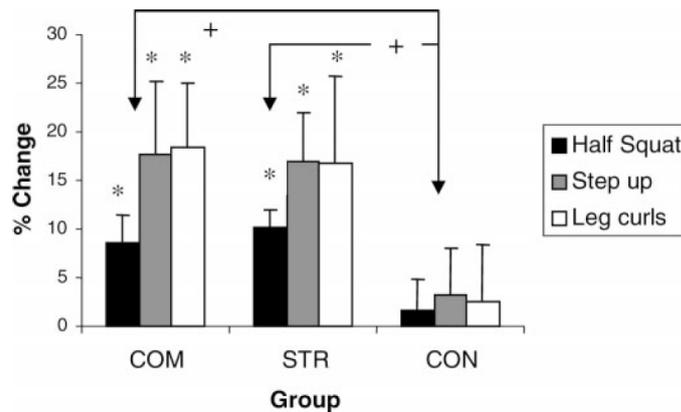


Abbildung 22 **Prozentuellen Veränderungen der drei Maximalkraftübungen innerhalb der drei Gruppen beim „Prä- und Posttest“** (Kotzamanidis et al., 2005)

Tabelle 36 **Modifizierte Übersicht der ermittelten Werte zu „vertical jump performance“ pro Gruppe und Übung bei „Prä- und Posttest“** (Kotzamanidis et al., 2005)

Test		COM	STR	CON
Squat jump	Pre	25.51 ± 2.51	25.71 ± 3.14	25.80 ± 2.46
	Post	27.50 ± 3.36*	26.19 ± 3.45	26.06 ± 2.56
Drop jump	Pre	20.07 ± 3.96	18.40 ± 5.45	20.65 ± 2.94
	Post	21.18 ± 3.65† falsche Signifikanz	18.88 ± 5.47	21.34 ± 4.11
Countermovement	Pre	27.83 ± 2.80	27.24 ± 3.41	28.32 ± 2.79
	Post	29.69 ± 3.55* richtiggestellte Signifikanz	27.48 ± 3.33	28.26 ± 2.83

* Significant difference from pretest within the group ($p < 0.01$).

† COM = combined resistance and speed training program group; STR = resistance training only group; CON = control group.

Eine signifikante Veränderungen konnte nur innerhalb der COM Gruppe beim „squat jump“ und beim CMJ festgestellt werden. Sowohl die STR als auch die CON Gruppe konnten sich in keinem Test signifikant verbessern. Vergleicht man die Entwicklung der Gruppen miteinander, so verbesserte sich die COM Gruppe im Vergleich zur STR und CON Gruppe beim „squat jump“ und beim CMJ signifikant.

Anzumerken ist hierbei, dass die eingefügte Tabelle 5 aus der Originalstudie seitens der Autoren fehlerhaft ist, da hier im Gegensatz zu den anderen Grafiken und zum englischen Originaltext der Studie eines signifikante

Veränderung beim „drop jump“ stattgefunden hätte. Dies war jedoch NICHT der Fall! Das Signifikanzzeichen wurde meinerseits daher nachträglich verändert.

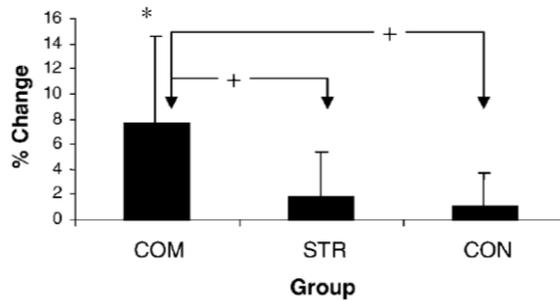


Abbildung 23 **Prozentuellen Veränderungen der ermittelten „squat jump“ Werte innerhalb und zwischen den drei Gruppen beim „Prä- und Posttest“** (Kotzamanidis et al., 2005)

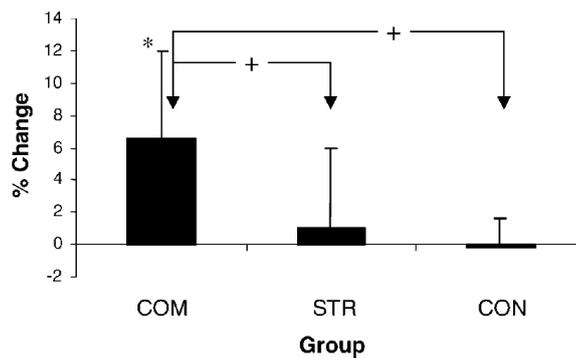


Abbildung 24 **Prozentuellen Veränderungen der ermittelten CMJ Werte innerhalb und zwischen den drei Gruppen beim „Prä- und Posttest“** (Kotzamanidis et al., 2005)

Tabelle 37 **Übersicht der ermittelten 30 Meter Sprintwerte pro Gruppe und Übung beim „Prä- und Posttest“** (Kotzamanidis et al., 2005)

	COM-group	STR-group	CON-group
Pre	4.34 ± 0.17	4.33 ± 0.17	4.50 ± 0.21
Post	4.19 ± 0.14*	4.31 ± 0.16	4.48 ± 0.20

* Significant difference from pretest within the group ($p < 0.01$).

† COM = combined resistance and speed training program group; STR = resistance training only group; CON = control group.

Auch bei der Sprintperformance über 30 Meter konnten ausschließlich bei der COM Gruppe signifikante Veränderungen festgestellt werden. Zudem war die Performanz der COM Gruppe signifikant besser als jene der STR- und CON Gruppen.

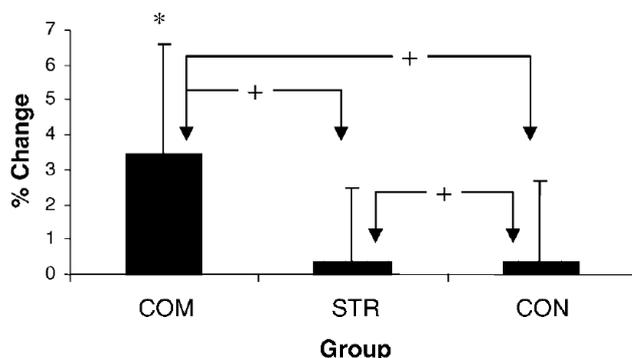


Abbildung 25 **Prozentuelle Veränderungen der ermittelten 30 Meter Sprintzeiten innerhalb der drei Gruppen beim „Prä und Posttest“**
(Kotzamanidis et al., 2005)

Chaouachi et al. (2014) beschäftigten sich in ihrer Studie mit den Auswirkungen von zusätzlichem Balancetraining zu plyometrischem Training bei 42 Kindern und Jugendlichen im Alter von 12 bis 15 Jahren. Die PLYO Gruppe absolvierte über die Interventionsdauer von acht Wochen nur plyometrisches Training mit dem Fokus auf den Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ), die Gruppe COMBINED führte zusätzlich zum plyometrischen Training auch ein Balancetraining durch wobei der Fokus auf einer stabilen Landung lag und eine Kontrollgruppe CON diente als nicht spezifisch trainierende Referenz.

Tabelle 38 **Anthropometrische Daten der drei Versuchsgruppen im Überblick**
(Chaouachi et al., 2014)

	PLYO (n = 14)	Bal-PLYO (n = 14)	CON (n = 14)
Age (y)	13.7 ± 0.8	13.3 ± 0.8	13.5 ± 0.8
Body mass (kg)	45.9 ± 9.7	45.9 ± 8.2	46.68 ± 8.3
Height (cm)	161.5 ± 7.7	158.0 ± 7.96	158.14 ± 7.9
Body mass index	17.5 ± 2.6	18.3 ± 2.1	18.5 ± 2.2

*PLYO = plyometric only training; Bal-PLYO = combined balance and plyometric training; CON = control group.

Innerhalb der COMBINED Gruppe konnten die Schüler in allen Test laut qualitativ statistischer Beschreibung des standardisierten Effektes „moderate“ bis „große“ Steigerungen erzielen. Ähnliche Ergebnisse erbrachte auch die PLYO Gruppe, mit Ausnahme des als „unklar“ interpretierten „leg stiffness“ Tests und des zehn Meter Sprints. In der CON Gruppe kam es zu keinen nennenswerten Verbesserungen.

Vergeicht man die Ergebnisse der Gruppen zueinander, so hat sich sowohl die PLYO- als auch die COMBINED Gruppe im Vergleich zur CON signifikant verbessert. Im Vergleich der beiden aktiven Gruppen zueinander lagen die Leistungssteigerungen in acht von 11 Tests so nahe beisammen, dass eine Deutung dieser Werte als „unklar“ definiert wurde. Beide Gruppe erzielten bei Tests, welche beidbeinig ausgeführt wurden ähnliche Resultate. Moderate Unterschiede zugunsten der COMINED Guppe traten beim „leg stiffness-“, zehn Meter Sprint- und beim“shuttle run“ Test auf.

Auch wenn die Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen sehr gering ausfielen, soll betont werden, dass die COMBINED Guppe, mit Ausnahme des 30 Meter Sprints und THT, geringfügig bessere Leistungssteigerungen gegenüber der PLYO Gruppe realisieren konnte. Verglichen mit der PLYO Gruppe waren die Ergebnisse der Balance Tests interessant, da diese bei der COMBINED Gruppe nicht, wie vielleicht erwartet nenneswert besser ausfielen.

Tabelle 39 Überblick der Gruppeninternen Effekte von „Prä- zu Posttest“
(Chaouachi et al., 2014)

Variable	Group	Pre	SD	Post	SD	Mean difference	95% CI	Effect size (d)	Likelihood difference is clinically meaningful	Effect descriptor
Countermovement jump	COMBINED	28.04	4.50	31.99	5.44	3.95	1.80	0.88	>99%	Large increase
	PLYO	29.74	4.85	33.21	4.59	3.48	1.54	0.72	>99%	Moderate increase
Leg stiffness (from submaximal hopping test)	Control	28.52	4.68	29.00	4.58	0.48	1.94	0.10	62% trivial	Unclear
	COMBINED	10.25	3.27	13.31	2.91	3.06	1.69	0.94	>99%	Large increase
	PLYO	13.01	2.85	13.88	3.88	0.87	1.81	0.30	64%	Unclear
1RM leg press	Control	14.45	5.02	14.46	3.88	0.00	1.03	0.00	95% trivial	Trivial
	COMBINED	76.89	28.03	95.91	27.50	19.02	7.65	0.68	>99%	Moderate increase
	PLYO	66.16	22.13	83.45	24.06	17.29	6.62	0.78	>99%	Moderate increase
	Control	72.02	22.45	77.68	23.60	5.66	5.29	0.25	68%	Unclear
Reactive strength (from maximal hopping test)	COMBINED	1.01	0.29	1.25	0.26	0.24	0.13	0.85	99%	Large increase
	PLYO	1.21	0.27	1.37	0.26	0.16	0.12	0.59	96%	Moderate increase
10-m sprint	Control	1.22	0.29	1.20	0.24	-0.02	0.09	-0.08	75% trivial	Trivial
	COMBINED	2.17	0.12	2.06	0.23	-0.11	0.14	-0.86	88%	Large decrease
	PLYO	2.12	0.12	2.13	0.13	0.00	0.06	0.02	61% trivial	Unclear
	Control	2.11	0.07	2.11	0.11	0.00	0.05	0.01	41% trivial	Unclear
30-m sprint	COMBINED	5.32	0.29	5.17	0.27	-0.16	0.10	-0.55	97%	Moderate decrease
	PLYO	5.21	0.32	5.01	0.31	-0.20	0.11	-0.62	99%	Moderate decrease
Shuttle run test (agility)	Control	5.15	0.27	5.14	0.29	-0.01	0.06	-0.04	88% trivial	Trivial
	COMBINED	10.60	0.50	9.75	0.28	-0.86	0.34	-1.72	>99%	Large decrease
	PLYO	10.22	0.47	9.65	0.27	-0.57	0.29	-1.21	>99%	Large decrease
Standing long jump	Control	10.53	0.41	10.65	0.49	0.11	0.19	0.28	63%	Unclear
	COMBINED	159.14	13.69	176.36	20.11	17.21	5.90	1.26	>99%	Large increase
	PLYO	166.71	20.33	182.71	20.62	16.00	6.59	0.79	>99%	Moderate increase
Star Excursion Balance Test	Control	162.43	18.43	163.43	18.55	1.00	6.70	0.05	72% trivial	Unclear
	COMBINED	752.49	51.32	810.27	52.43	57.78	17.32	1.13	>99%	Large increase
	PLYO	716.63	70.38	761.50	46.96	44.87	30.12	0.64	98%	Moderate increase
	Control	730.88	69.28	747.52	70.38	16.64	18.17	0.24	63%	Unclear
	COMBINED	6.02	3.28	11.31	2.61	5.29	2.36	1.62	>99%	Large increase
Stork Balance Test	PLYO	6.39	5.27	10.20	10.33	3.81	3.58	0.72	94%	Moderate increase
	Control	5.96	3.68	7.29	5.05	1.34	2.09	0.36	73%	Unclear
Triple hop test	COMBINED	472.14	52.14	507.21	55.62	35.07	20.55	0.67	99%	Moderate increase
	PLYO	488.50	46.21	535.71	61.86	47.21	20.91	1.02	>99%	Large increase
	Control	481.36	38.21	495.86	45.09	14.50	15.70	0.38	82%	Small increase

*COMBINED = plyometric training on balance and power measures; PLYO = plyometric training on balance only; 1RM = 1 repetition maximum.

Tabelle 40 **Unterschiede zwischen den drei Gruppen**
(Chaouachi et al., 2014)

Variable	Comparison	Mean 1	SD 1	Mean 2	SD 2	Mean difference	95% CI	Effect size (d)	Likelihood difference is clinically meaningful	Effect descriptor
Countermovement jump	COMBINED and PLYO	4.0	3.1	3.5	2.7	-0.5	2.2	-0.17	46%	Unclear
	COMBINED and control	4.0	3.1	0.5	3.4	-3.5	2.5	-0.95	98%	Balance higher (large)
	PLYO and control	3.5	2.7	0.5	3.4	-3.0	2.3	-0.90	97%	PLYO higher (large)
Leg stiffness (from submaximal hopping test)	COMBINED and PLYO	3.06	2.93	0.87	3.13	-2.19	2.30	-0.69	91%	Balance higher (moderate)
	COMBINED and control	3.06	2.93	0.004	1.78	-3.06	1.87	-1.08	99%	Balance higher (large)
	PLYO and control	0.87	3.13	0.004	1.78	-0.86	1.96	-0.34	64%	Unclear
1RM leg press	COMBINED and PLYO	19.0	13.3	17.3	11.5	-1.7	9.5	-0.14	44%	Unclear
	COMBINED and control	19.0	13.3	5.7	9.2	-13.4	8.7	-1.02	99%	Balance higher (large)
	PLYO and control	17.3	11.5	5.7	9.2	-11.6	7.9	-0.99	99%	PLYO higher (large)
Reactive strength (from maximal hopping test)	COMBINED and PLYO	0.24	0.23	0.16	0.20	-0.09	0.16	-0.39	69%	Unclear
	COMBINED and control	0.24	0.23	-0.02	0.16	-0.27	0.15	-1.12	>99%	Balance higher (large)
	PLYO and control	0.16	0.20	-0.02	0.16	-0.18	0.13	-0.90	98%	PLYO higher (large)
10-m sprint	COMBINED and PLYO	-0.11	0.24	0.003	0.10	0.11	0.14	0.57	84%	Balance lower (moderate)
	COMBINED and control	-0.11	0.24	0.001	0.09	0.11	0.14	0.57	84%	PLYO lower (moderate)
	PLYO and control	0.003	0.10	0.001	0.09	0.00	0.07	-0.02	39% trivial	Unclear
30-m sprint	COMBINED and PLYO	-0.16	0.18	-0.20	0.19	-0.04	0.13	-0.24	54%	Unclear
	COMBINED and control	-0.16	0.18	-0.01	0.11	0.15	0.11	0.89	97%	Balance lower (large)
	PLYO and control	-0.20	0.19	-0.01	0.11	0.19	0.12	1.04	99%	PLYO lower (large)
Shuttle run test (agility)	COMBINED and PLYO	-0.86	0.59	-0.57	0.50	0.29	0.40	0.52	80%	Balance lower (moderate)
	COMBINED and control	-0.86	0.59	0.11	0.33	0.97	0.37	1.42	>99%	Balance lower (large)
	PLYO and control	-0.57	0.50	0.11	0.33	0.68	0.32	1.25	>99%	PLYO lower (large)
Standing long jump	COMBINED and PLYO	17.2	10.2	16.0	11.4	-1.2	8.3	-0.11	41%	Unclear
	COMBINED and control	17.2	10.2	1.0	11.6	-16.2	8.3	-1.20	>99%	Balance higher (large)
	PLYO and control	16.0	11.4	1.0	11.6	-15.0	8.8	-1.10	>99%	PLYO higher (large)
Star Excursion Balance Test	COMBINED and PLYO	57.8	30.0	44.9	52.2	-12.9	32.2	-0.31	61%	Unclear
	COMBINED and control	57.8	30.0	16.6	31.5	-41.1	23.7	-1.12	>99%	Balance higher (large)
	PLYO and control	44.9	52.2	16.6	31.5	-28.2	33.4	-0.63	88%	PLYO higher (moderate)
Stork Balance Test	COMBINED and PLYO	5.29	4.09	3.81	6.20	-1.48	3.25	-0.28	59%	Unclear
	COMBINED and control	5.29	4.09	1.34	3.63	-3.96	2.89	-0.92	98%	Balance higher (large)
	PLYO and control	3.81	6.20	1.34	3.63	-2.47	3.87	-0.48	77%	PLYO higher (small)
Triple hop test	COMBINED and PLYO	35.1	35.6	47.2	36.2	12.1	27.6	0.34	64%	Unclear
	COMBINED and control	35.1	35.6	14.5	27.2	-20.6	24.5	-0.63	87%	Balance higher (moderate)
	PLYO and control	47.2	36.2	14.5	27.2	-32.7	24.8	-0.92	98%	PLYO higher (large)

*COMBINED = plyometric training on balance and power measures; PLYO = plyometric only training; 1RM = 1 repetition maximum.

Deley et al. (2011) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen von sechswöchigem EMS-Training auf die Muskelkraft und die „vertical jump performance“ („squat jump“, CMJ, Reaktivkraft, drei spezifische Gymnastik Sprünge) von 16 präpubertären (12.4 ± 1.2 Jahre), weiblichen Turnerinnen (12.4 ± 1.2 Jahre).

Die Test-Retest Reliabilität war hoch und eine Probandin der EMS-Gruppe hatte während bzw. nach dem Trainingsprogramm von Beschwerden gesprochen. Bei den Studieneingangs-untersuchungen bestanden zwischen den beiden Gruppen keine Unterschiede. Bereits nach drei Wochen EMS-Training zeigten die ermittelten Drehmomentwerte der EMS-Gruppe eine signifikante Verbesserung ($+38.8 \pm 29.0$ %, $+25.9 \pm 28.0$ %, und $+40.2 \pm 33.0$ % für -60° , $+60^\circ$, und $+240^\circ \cdot s^{-1}$, entsprechend; $p < 0.05$). Im Trainingsverlauf von Woche drei bis sechs zeigten sich keine weiteren Veränderungen. Signifikante Veränderungen innerhalb der Kontrollgruppe blieben ebenfalls aus.

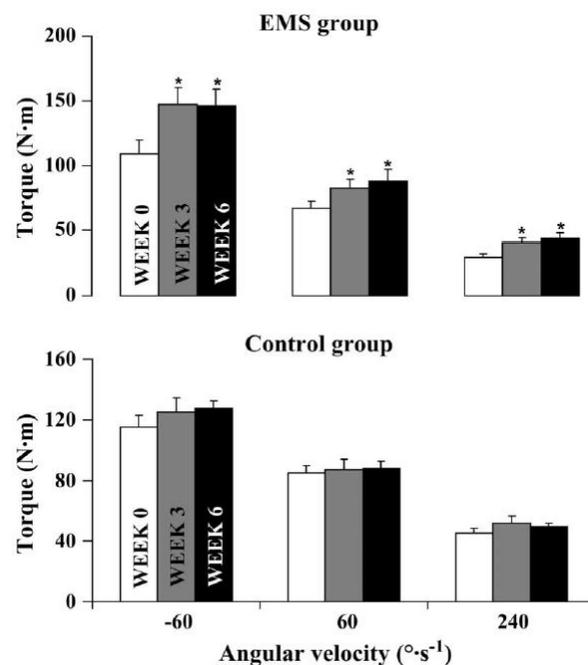


Abbildung 26 **Die Testergebnisse (\pm Standardabweichung) der drei unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten bei drei Messzeitpunkten von der EMS- und Kontrollgruppe. Signifikante Veränderungen im Vergleich zum Basistest Woche 0 (* $p < 0.05$), (Deley et al., 2011)**

Auch bei den „vertical jump“ Tests gab es zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der Eingangstest in Woche 0 keine nennenswerten Unterschiede. Die EMS-Gruppe erzielte in den unspezifischen Sprüngen „squat jump“ (SJ) und Reaktivkraft bereits nach drei Wochen signifikante Verbesserungen, beim CMJ waren für eine signifikante Verbesserung sechs Trainingswochen notwendig. Bei den sportartspezifischen Sprüngen verbesserte sich in der EMS-Gruppe ausschließlich der vertikale Sprung aus dem Handstand (VJ) und das bereits nach drei Wochen Training.

In der Kontrollgruppe wurden keine Veränderungen ermittelt. Daraus lässt sich schließen, dass kein Einfluss durch den natürlichen Reifeprozess stattfand und die Steigerungen der EMS-Gruppe daher tatsächlich dem EMS-Training zugeschrieben werden können.

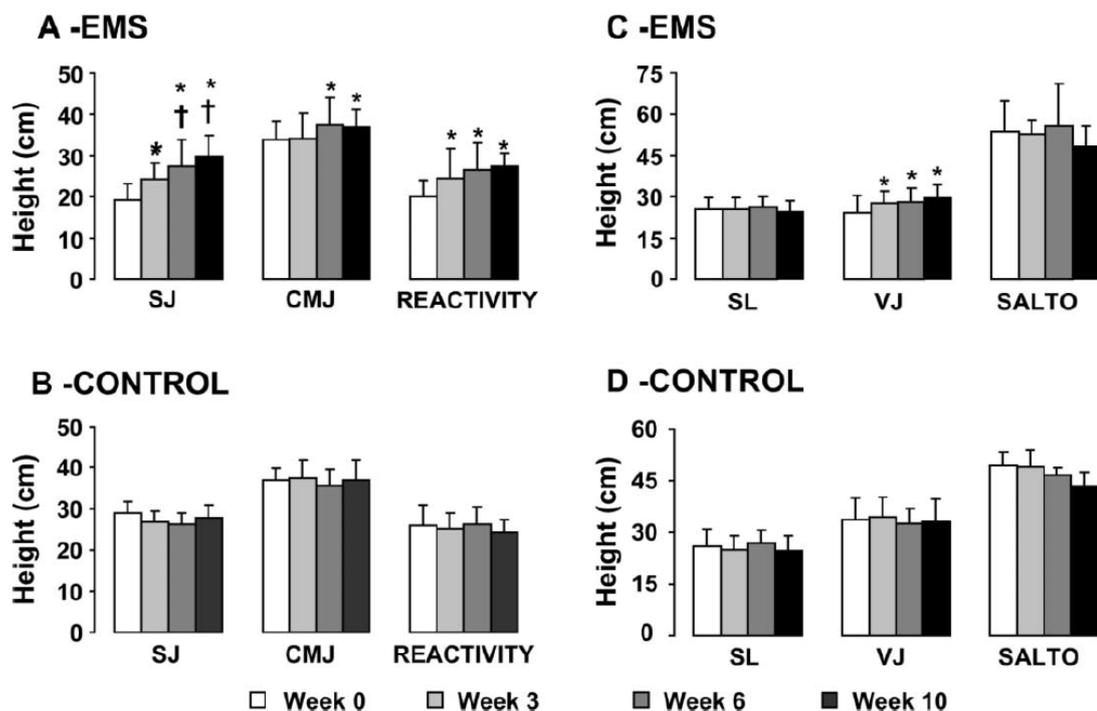


Abbildung 27 **Übersicht aller Testergebnisse beider Gruppen zu vier Messzeitpunkten über zehn Wochen. Signifikante Veränderungen im Vergleich zum Basistest Woche 0 (* $p < 0.05$). Signifikante Veränderungen im Vergleich zu Woche 3 († $p < 0.05$) (Deley et al., 2011).**

Die Autoren (Deley et al. (2011) gingen davon aus, dass die Verbesserungen der unspezifischen Sprungkrafttests nicht in die komplexeren spezifischen Übungen übernommen werden können. Zu Beginn gingen sie von vor allem neuromuskulären Verbesserung aus und erklärten die weitere Steigerung SJ und Reaktivkrafttest durch eine weitere Verringerung einer Koaktivierung. Nachträglich waren sie der Meinung, dass die aufbauende Phase mit drei Trainingseinheiten pro Woche zu kurz gewählt wurde und der erhaltene Trainingsreiz von einer Einheit pro Woche nicht für weitere Steigerungen ausreichte.

6. Diskussion der Studien

Im weiteren sollen, die im Detail vorgestellten Studien der letzten beiden Kapiteln diskutiert, kritisch betrachtet und ihre zentralen Ergebnisse zusammengefasst werden. Jede dieser Studien trug wesentlich dazu bei die Auswirkungen sehr unterschiedlicher, moderater bis hochintensiver Krafttrainingsmethoden auf den präpubertären, pubertären und postpubertären menschlichen Organismus während seiner Entwicklung abzuschätzen. Die beschriebenen Studien decken in Summe eine Altersspanne von acht bis neunzehn Jahren ab. Es wurden Maximalkrafttests, Sprungkrafttests, Sprintzeiten, sportartspezifische Tests, „intermitted endurance“ Tests, „agility“ Tests, Balancetests und Flexibilitätstests vor, während und nach der Absolvierung ausgewählter Krafttrainingsmethoden über eine spezifische Interventionsdauer durchgeführt und die ermittelten Werte mit passiven oder aktiven Kontrollgruppen, bzw. anderen Trainingsmodellen verglichen. Ohne auf die genauen Trainingsmethoden weiter einzugehen, kann vorweggenommen werden, dass alle in den Studien verwendeten Krafttrainingsmodelle geschlechtsunspezifisch in jedem Alter klar dokumentierte Steigerungen, in mehreren Leistungsparametern gegenüber den passiven Kontrollgruppen, mit sich bringen. Um weitere detaillierte Erkenntnisse über altersspezifische, geschlechtsspezifische und krafttrainingspezifische Adaptionsprozesse zu erlangen, wurde in der Studiena Auswahl primär darauf geachtet unterschiedliche Krafttrainingsmethoden direkt miteinander zu vergleichen. Eine passive oder zumindest nicht krafttrainingsinvolvierte Kontrollgruppe diente daher nicht primär der weiteren Erkenntnis-gewinnung, sondern wurde benötigt, um den Anteil des natürlichen Reifungsprozesses an der ermittelten Leistungssteigerung der Performancegruppen heraus zu rechnen und so den netto-Output einer Trainingsmethode offen zu legen.

In den 12 ausgewählten Studien kamen folgende Trainingsmethoden zur Anwendung:

- Krafttraining mit „high intensity“ Übungen am Fussballfeld
- Horizontales plyometrisches Training
 - vs. vertikales plyometrisches Training
 - vs. horizontales und plyometrisches Training

- Kombination von plyometrischem Training und Krafttraining
vs. traditionelles Krafttraining
vs. plyometrisches Training
- Krafttraining mit krafttrainingserfahrenen Sportlern
vs. Krafttraining mit krafttrainingsunerfahrenen Sportlern
- Kurzhanteltraining
vs. sportartspezifisches Krafttraining mit Gewichtgürtel
- Langzeit Studie mit identem Krafttraining in unterschiedlichen Altersklassen
- Krafttraining
vs. Widerstandsprints
vs. plyometrisches Training
- Unterschiedliche Kombinationen von Krafttraining und plyometrischem Training
(plyometrisches Training vor, abwechselnd mit oder nach einem
Krafttraining)
- Krafttraining mit anschließendem Sprinttraining
vs. Krafttraining alleine
- Plyometrisches Training mit dem Fokus auf den Dehnungsverkürzungszyklus
(DVZ)
vs. plyometrisches Training mit dem Fokus auf eine stabile Landung
(Balance)
- Myoelektrostimulation

In allen Studien folgten der Ablauf und die Durchführung der Tests standardisierten Bedingungen, dabei waren die Autoren bemüht die Ergebnisse beeinflussende Faktoren möglichst auszuschalten oder zumindest gering zu halten. Bei den aktuelleren Studien ist der qualitative Standard der Untersuchung deutlich höher als in den älteren Publikationen. Hetzler et al. (1997) analysierten beispielsweise Sprintzeiten, welche mit der Stoppuhr ermittelt wurden und demnach einem sehr ungenauen Messsystem unterlagen. Des Weiteren sind vor allem in den älteren Studien die Informationen zum eigentlichen Studiendesign und den Proband/innen oft ungenau angeführt und lückenhaft. Aber auch aktuellere Publikationen halten dem Leser/der Leserin mitunter teils wichtige Informationen für das Verständnis vor. Piazza et al. (2014) etwa

beschrieben das durchgeführte unspezifische Krafttraining mit Kurzhanteln bei zehn- bis 13-jährigen Turnerinnen nur unzureichend und wichtige Informationen darüber sind dem Leser somit nicht zugänglich.

Aufgrund der Komplexität dieses Themas und den sehr unterschiedlichen Testdesigns sind direkte Vergleiche der Ergebnisse im Detail zwischen den Studien zu vermeiden. Neben unterschiedlichen Pausenzeiten und Reihenfolgen zwischen den Versuchen, variiert die Anzahl der aufeinanderfolgenden Testungen teils stark und die auftretende Ermüdung an den Testtagen sollte daher nicht vollkommen unberücksichtigt bleiben. Obwohl die meisten Tests an sich standardisiert sind, wurden sie in den unterschiedlichen Studien kaum exakt gleich ausgeführt. Sprinttests fanden auf unterschiedlichem Untergrund statt (wie z.B. in der Halle oder auf der Wiese) sowie mit unterschiedlichen Schuhen und unterschiedlicher Startdistanz zur ersten Lichtschranke, welche wiederum in unterschiedlichen Höhen montiert war. Sprungkrafttests wurden teils mit, teils ohne Impuls der Arme gesprungen. In manchen Studien wurde der beste Wert zur Analyse herangezogen während andere vorab einen Mittelwert bildeten. Diese Vielzahl an Variablen lässt direkte Vergleiche der ermittelten Werte zwischen den Studien nur sehr bedingt zu. Zuletzt unterliegen auch die Messsysteme selbst Schwankungen die nicht unkommentiert bleiben sollten. Muehlbauer, Pabst, Granacher, and Busch (2017) beschäftigten sich in ihrer Studie mit der Validität zweier moderner Messsysteme („Vertec vs. Optojump System“) die zur Erfassung von Sprungkraftwerten herangezogen werden. Bei gleichen Probanden lagen signifikant unterschiedliche Messergebnisse vor, wodurch die bestehende Problematik der Interpretation und des Vergleichs dieser Ergebnisse verdeutlicht wird. Auch wenn der Vergleich daher zwischen den Studien einer kritischen Betrachtung unterliegen sollte, sprechen sich alle Studien einheitlich für einen Krafttrainingseffekt bei Kindern und Jugendlichen aus. Je nach Krafttrainingsmethoden scheinen die Anpassungseffekte in unterschiedlicher Stärke aufzutreten. Die optimale Wahl der Trainingsmethode hängt nicht nur mit dem körperlichen Entwicklungsstand der Athlet/innen und deren Leistungsniveau zusammen, sondern vorrangig mit der Zielsportart und der gewünschten kurz- oder langfristigen Leistungsverbesserung. Eine frühe Spezialisierung ist für viele Sportler/innen essentiell um später erfolgreich sein zu können, führt aber unter Umständen zu trainingsbedingten Dysbalancen, erhöhter Dropout-Gefahr und Übertraining. Der Trend geht dahin, dass eine Breite sportliche Basis entscheidend für den späteren Erfolg ist (Haff & Triplett, 2016b).

Traditionelles Krafttraining:

Die meisten Studien zum Thema Krafttraining im Kindes- und Jugendalter unterliegen recht kurzen Interventionsdauern von lediglich sechs bis 13 Wochen. Unabhängig von der Trainingsmethode sind die Trainingsphasen damit leider meist deutlich zu kurz gewählt um das Potential einer wirklichen Muskelquerschnittsvergrößerung überhaupt erfassen zu können. Sander et al. (2013) untersuchten erstmals die Auswirkungen von traditionellem Krafttraining in Form einer zwei Jahre lang dauernden Langzeitstudie mit 134 Probanden (U19, U17, U15). Alle Altersgruppen konnten sich über diese Trainingsdauer deutlich gegenüber der gleichaltrigen, nur Fußball spielenden Kontrollgruppe in der Maximalkraft und Sprintkraft steigern. Die U19 und U17 Gruppe verzeichneten im ersten Jahr verhältnismäßig stärkere Zuwächse als im zweiten Jahr und realisierten in Summe ohne Einfluss des Reifeprozesses eine Steigerung der Maximalkraft von 56-80 %. Wird die Entwicklung der U15 Gruppe betrachtet, fallen einige Besonderheiten auf. Die Kraftentwicklung verlief konstant, linear über zwei Jahre bzw. konnte sich diese Gruppe bei den „Bucksquats“ im zweiten Jahr verhältnismäßig mehr steigern als im ersten Jahr. Diese konstante Steigerung könnte ein Anzeichen dafür sein, dass die Phase der größten Kraftzunahme bei Buben nach 1.2 Jahren, auf die größte Wachstumsphase folgend, eintritt (Malina et al., 2004) und es dadurch im zweiten Jahr weiterhin zu konstanten Kraftanstiegen kam oder diese sogar verhältnismäßig stärker ausfielen. Nach einem Jahr erreichten die U15 Spieler den Ausgangswert der U17 Spieler oder übertrafen diese sogar, nach zwei Jahren realisierten die U15 Probanden deutlich höhere Maximalkraftwerte als die Ausgangswerte der U19 Spieler. Den natürlichen Reifeprozess bereits hinausgerechnet, betrug der krafttrainingsbasierte Maximalkraftanstieg bei U15 Spieler beeindruckende 230-250 %. Selbstverständlich ist der reifebedingte Kraftzuwachs durch die Zunahme des Körpergewichtes und der Körpergröße in der jüngsten Gruppe auch wesentlich stärker am absoluten Kraftzuwachs (300 %) beteiligt und der Ausgangswert verhältnismäßig geringer. Bei den U19 Spielern kam dieser natürliche Entwicklungsprozess hingegen kaum noch zur Geltung, Kraftzuwächse und eventuelle Veränderungen der Sprintzeiten können demnach als Krafttrainingsadaptionen angesehen werden. Jedoch wurde der natürliche Reifeprozess in allen oben genannten prozentuellen Steigerungswerten bereits hinausgerechnet und somit ist vor allem die herausragende Steigerung der U15 Gruppe für Trainer im Jugendsport essentiell. Durch diese Studie wurde eine Trainierbarkeit bereits kurz nach der Pubertät zweifelsfrei

bewiesen und das Potential dieser Trainingsmethode ist deutlich ersichtlich. Wird davon ausgegangen, dass ein Hypertrophie-Effekt erst nach mehrwöchigem Training und sichtbare Adaptionen des Muskelquerschnittes erst nach mehreren Monaten erkennbar sind (Schoenfeld, 2016; Seynnes et al., 2007), wären anthropometrische Daten zur Muskelquerschnittsveränderung bei dieser Langzeitstudie sehr wünschenswert gewesen.

Hetzler et al. (1997) Untersuchung ist die älteste herangezogene Studie in dieser Arbeit und beschäftigte sich schon damals mit Krafttraining, über eine Dauer von 12 Wochen, bei unter 14-jährigen Basketballspielern. Einerseits befanden sich im damaligen Trainingsprogramm isolierte Übungen für Bizeps und Trizeps, deren Sinnhaftigkeit für eine solche Studie oder ein Krafttraining in diesem Alter an sich in Frage gestellt werden kann, andererseits entsprach auch die Intensität dieser Kraftsätze nicht dem aktuellen Standard. Es wurden drei Sätze mit jeweils zehn Wiederholungen durchgeführt, wobei der erste mit lediglich 50 %, der zweite Satz mit 75 % und erst der dritte Satz mit 100 % des „10 RM“ ausgeführt wurden. Damit bildeten zwei der drei Sätze einen sehr unterschwelligen Reiz. Umso beachtlicher ist es, dass Hetzler et al. (1997) nach lediglich 12 Wochen eine Kraftsteigerung von rund 41 % sowohl bei krafttrainingserfahrenen als auch -unerfahrenen Kindern unter 14 Jahren dokumentierte, wobei der Anteil der Steigerung durch den natürlichen Reifungsprozess bei 14 % lag.

Christou et al. (2006) beschäftigten sich neun Jahre später, in einer 16 wöchigen traditionellen Krafttrainingsstudie, ebenfalls mit dessen Auswirkungen bei 12- bis 15-jährigen Fußballspielern. Die Teilnehmer sollten im Rahmen dieser Studie bereits zwei bis drei Sätze mit 8-15 Wiederholungen und 55-80 % des „1 RM“ durchführen und setzten damit einen deutlich intensiveren Reiz. Christou et al. (2006) ermittelt eine Kraftsteigerung von 59 %, wobei sich die nur am Fußballtraining teilnehmende Gruppe um 34 % und die passive Kontrollgruppe um 17 % verbesserte. Diese 17% wurden vorrangig dem Reifungsprozess zugesprochen, auch das Fußball-training alleine schien demnach weitere 17 % zu der Kraftsteigerung beizutragen. Damit konnte der krafttrainingsbedingte Anteil an dem Leistungsanstieg der „1 RM“ Beinpresse-Werte auf ca. 25 % berechnet werden und liegt damit bei derselben Übung nach geringfügig längerer Trainingsphase minimal unter den ermittelten Werten (27 % Steigerung des „1 RM“) von Hetzler et al. (1997). Bei diesem gab es allerdings keine aktive Kontrollgruppe und es ist anzunehmen, dass auch das Basketballtraining alleine bereits Einfluss auf die

Maximalkraft hat. Vergleichen wir daher nur jene bereinigten Werte aus denen der Anteil des Reifungsprozesses, welcher durch die Daten der passiven Kontrollgruppe ersichtlich war, hinausgerechnet wurde so verbesserten sich die gleichaltrigen Sportler in der Studie von Christou et al. (2006) bei intensiverem Krafttraining und vier Wochen längerer Trainingsphase um weitere 15 %. Die Untersuchung räumte dabei dem natürlichen Reifeprozess einen höheren Einfluss ein und beschäftigte sich ebenfalls mit dem Anteil des normalen, sportartspezifischen (Fußball-) Trainings an den höheren Maximalkraftwerten. Der Maximalkraftanstieg verlief über die gesamte Interventionsdauer nicht linear, sondern fiel, wie zu erwarten, in den ersten acht Wochen etwas stärker aus und flachte dann zunehmend ab. Die Autoren betonten zudem, dass sich Krafttraining auf die Oberkörpermuskulatur besonders positiv auswirkt, sofern sich ein sportartspezifisches Training (z.B. Rudern, Tennis,...) nicht schon primär auf den Oberkörper bezieht. Dieser Effekt wurde dadurch begründet, dass die Muskulatur der unteren Extremitäten durch rein sportartspezifisches Training und die vermehrte Verwendung im Alltag verhältnismäßig oft besser ausgebildet ist als die Oberkörpermuskulatur.

Durch diese Studien sind die positiven Effekte von traditionellem Krafttraining auf die „1 RM“ Werte bei 12- bis 19-jährigen Sportlern dokumentiert, hervorgehoben wird dabei vor allem die unmittelbare postpubertäre Entwicklungsphase um ca. 15 Jahre bei männlichen Probanden. Durch das zwei Jahre frühere Eintreten der weiblichen Pubertät könnte diese Phase sehr guter Krafttrainierbarkeit bei Mädchen bereits in jüngerem Alter eintreten (Haff & Triplett, 2016b). Da der Testosteronanstieg bei Mädchen postpubertär konstant bleibt und nicht wie bei den Buben um ein vielfaches ansteigt (Malina et al., 2004) wären ähnliche Studien mit zusätzlichen Probandinnen zur geschlechtsspezifischen Vergleichbarkeit mehr als erstrebenswert.

In weiterer Folge werden die Einflüsse, der oben ermittelten krafttrainingsbasierten Maximalkraftanstiege, auf andere Tests zusammengefasst. Im Theorieteil wurde bereits ausführlich dargelegt, weshalb die Maximalkraft eng mit der realisierbaren Schnellkraft, welche unter anderem durch Sprungkrafttests ermittelt wird, in Verbindung steht. Christou et al. (2006) bestätigten dies mit signifikanten, krafttrainingsbasierten Verbesserungen aller ermittelten Sprungkraftwerte, die im Vergleich zur aktiven und passiven Kontrollgruppe (CON) deutlich höher ausfielen. Die „jump squat performance“ verbesserte sich um 31 % (CON Gruppe um 9.6 %), der CMJ um 24 % (CON Gruppe um 9.5 %) und die „repeated jumps“ (RJ) über 30 Sekunden um 15 %. Die Sprintleistung

wurde dadurch aber nur geringfügig verbessert, die verbesserten Sprungkraftwerte scheinen erst bei längeren Sprints (30 Meter) Einfluss zu nehmen und stehen laut Autoren in keinem direkten Verhältnis zur Höhe der Kraftanstiege. Auch die Einflüsse auf die fußballspezifischen Tests und Agilitäts-Tests fielen zugunsten der Krafttrainingsgruppen geringfügig besser aus, waren allerdings nicht signifikant und daher sollte ihnen nicht zu viel Bedeutung beigemessen werden. Die Berücksichtigung der anthropometrischen Veränderungen ist bei diesen Sprint-, Agilitäts- und sportartspezifischen Ausdauer Tests besonders wichtig da, durch die Veränderungen der Schrittlänge, Leistungsanstiege nicht zwingend auf die muskulären Verbesserungen zurückzuführen sind. Da sich die U19 Kontrollgruppe im Rahmen der Studie von Sander et al. (2013) nicht im Sprint verbesserte, kann davon ausgegangen werden, dass reguläres Vereinstraining nicht ausreicht um die Sprintperformance zu verbessern und die signifikante Leistungssteigerung der jüngeren Kontrollgruppen auf natürlichen Reifungsprozessen beruht. Ein Zeichen dafür ist auch die primäre Verbesserung der U15 Kontrollgruppe in der Frequenzphase des Sprints nach 15 Meter, während die gleichaltrige Krafttrainingsgruppe sich zusätzlich auch in der kraftbetonten Beschleunigungsphase des Sprints signifikant steigern konnte. Alle drei Performancegruppen konnten sich in sämtlichen Sprintdistanzen deutlich steigern und somit der Zusammenhang zwischen den höheren Maximalkraftleistungen und der verbesserten Sprintperformance durch diese Langzeitstudie bewiesen werden. Hetzler et al. (1997) erhoben in ihrer Studie ebenfalls signifikante Verbesserungen der „vertical jump performance“ und dokumentierte dabei keinen Einfluss auf die Sprintzeiten oder die Wattwerte beim „Wingate Test“ („anaerobe power“). Hierbei soll noch betont werden, dass diese Studiendauer wesentlich kürzer war und im Trainingsprotokoll keine horizontal gerichteten, maximal schnellen oder kraftvollen Bewegungen, sowie ein Ausbleiben von Verbesserungen im Sprint, vorzufinden waren.

Plyometrisches Training

In weiterer Folge rückt das plyometrische Training in den Fokus der Betrachtung. Auch wenn bei dieser Trainingsmethode meist keine oder nur geringe Zusatzgewichte Verwendung finden, handelt es sich um eine Form des Krafttrainings, welche durch die maximal explosiv ausgeführten Sprungvariationen (maximaler Kraftanstieg in der kürzest möglichen Zeit) und Nutzung des Dehnungsverkürzungszyklus zu hohen neuromuskulären Anpassungen führt (Haff & Triplett, 2016c). Da diese Anpassungen

gerade zu Beginn einer Krafttrainingsphase maßgeblich an der Kraftsteigerung beteiligt sind, stellt sie eine bedeutende Trainingsmethode in der sportlichen Praxis dar.

Ramirez-Campillo, Gallardo, et al. (2015) verglichen in ihrer sechswöchigen Studie mit Zehn- bis 14-jährigen Fußballspielern horizontale- (HG), vertikale- (VG) und eine Kombination aus diesen beiden Sprungformen (VHG) miteinander. Alle drei Gruppen verzeichneten positive Effekte in mehreren Leistungsparametern wie der Explosivität, der „intermitted endurance“ und der Balance. Zentrale Erkenntnis dieser Studie ist die Bestätigung, der von den Autoren vorab geäußerten Annahme, dass horizontal und vertikal orientierte plyometrische Übungen unterschiedliche neuromuskuläre Anpassungen fördern. Während horizontale Sprünge in der sportlichen Praxis besonders leistungsförderlich auf horizontal orientierte maximale Bewegungen wie Sprints und die Schusskraft wirken, sind für vertikale explosive Bewegungen die vertikalen Sprungformen von zentraler Bedeutung. Folglich sollte diese Trainingsmethode immer in Kombination beider Sprungformen Anwendung finden um dem ganzheitlichen Gedanken nachzukommen und einen bestmöglichen Trainingsoutput zu realisieren. Zuletzt kommt es durch die hohen neuromuskulären Anforderungen dieser Trainingsmethode zu einer Verbesserung der Balancefähigkeit, welche einerseits wichtig für die optimale Kraftentfaltung (Reduktion der ausgleichenden Bewegungen), andererseits auch von wesentlicher verletzungspräventiver Bedeutung ist.

Chaouachi et al. (2014) achtwöchige Studie beschäftigte sich intensiver mit diesem Phänomen und analysierte plyometrisches Training und den Einfluss vermehrter stabilisierender Ausführungsformen auf zahlreiche Leistungsparameter von 12- bis 15-jährigen Schülern. Dazu absolvierten zwei Gruppen die gleiche Anzahl an vertikal und horizontal orientierten plyometrischen Sprüngen. Eine Gruppe arbeitete primär über den DVZ, die andere ersetzte 50 % der Ausführungen durch stabilisierte, ausbalancierte Landungen. Bei der Studienanalyse liegen die ermittelten Testergebnisse der beiden Gruppen eng beisammen, wobei die Testwerte der kombinierten Gruppe geringfügig besser ausfielen als jene der rein plyometrischen Gruppe. Dabei überrascht es, dass die kombinierte Gruppe bei kraftbetonen Tests wie dem CMJ, der Maximalkraft und der Reaktivkraft bessere Werte erzielte und zugleich bei den Balancetests nur minimal vor jenen Werten der plyometrischen Gruppe lag. Grundsätzlich ist zu betonen, dass jede Form des Krafttrainings positiven Einfluss auf die Gleichgewichtsfähigkeit hat und gerade bei plyometrischen Sprüngen auch immer stabilisierende und ausgleichende

Bewegungen stattfinden. Die Balancetests waren den Autoren zufolge zu statisch gewählt, wodurch die lediglich geringen Unterschiede in diesen Testergebnissen erklärt werden können. Moderate Unterschiede zugunsten der kombinierten Gruppe bestehen nur beim „leg stiffness“ Test, beim zehn Meter Sprint- und beim „shuttle run“ Test. Die stabilisierende Ausführung der plyometrischen Sprünge in der kombinierten Gruppe sorgte im Verhältnis für eine besser ausgeprägte Balancefähigkeit und trug wesentlich dazu bei, dass die Krafrichtung weniger streute, präziser war und dadurch, neben der reduzierten Koaktivierung, den Kraftverlust verringerte. Dies wirkte sich den Autoren zufolge besonders bei komplexen, einbeinigen Anforderungen wie der Startphase beim Sprint und dem „shuttle run“ Agilitätstest aus und wird auch durch die Verbesserung der „leg stiffness“ Werte ersichtlich. Leider gingen die Autoren nicht darauf ein, warum die plyometrische Gruppe, dem widersprechend beim „triple hop“ Test, der ebenfalls einbeinig absolviert wurde, bessere Leistungssteigerungen erzielen konnten. Eventuell ist es von Bedeutung, dass für diesen Test ausschließlich das dominante Bein verwendet wurde, welches koordinativ präziser arbeitet. Die Testung der Leistungen beider Beine und deren Vergleich könnten diesbezüglich weitere Informationen offen legen. Die Betrachtung der Sprintwerte zeigt, dass sich die kombinierte Ausführung positiv auf die kraftbetonte Beschleunigungsphase der ersten zehn Meter auswirkte und die Anpassungen des DVZ besonders in der Frequenzphase eines Sprints zu tragen kommen.

Die Studie von Chaouachi et al. (2014) liefert wichtige Informationen für die Trainingsplanung und Trainingspraxis bei Kindern und Jugendlichen, zugleich ergeben sich aber auch neue Fragestellungen. Es macht sichtlich sehr viel Sinn sich als Trainer/in intensiv mit dem Balance-training zu befassen, da diese Gleichgewichtsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen noch nicht voll entwickelt ist. Chaouachi et al. (2014) betonen, dass sich auch Balancetraining allein ausgeführt, Studien zufolge, positiv auf die Krafftähigkeit auswirkt und wesentlich zur Verletzungsprävention beiträgt. Es ist daher ein Trainingsinhalt, welcher in der Praxis extrem früh eingebaut werden könnte, den Kindern spielerisch und altersgemäß aufbereitet sehr viel Spaß bereitet und zudem keine weitere intensive Trainingseinheit bedingt. Auch plyometrisches Training kann gut nach dem Entwicklungs- und Leistungsniveau abgestuft Anwendung finden, dennoch stellt es traditionell durchgeführt grundsätzlich eine hochintensive Trainingsform dar. Den Fokus zu Beginn auf stabile

Landephasen zu legen, würde die Ausführungsqualität wesentlich verbessern und dadurch eventuelle hohe Gelenksbelastungen reduzieren. Chaouachi et al. (2014) haben in ihrer Studie bestätigt, dass die Leistungssteigerung bei Schülern durch die Kombination mit stabilisierenden Elementen höher ausfällt als dies bei der intensiveren Ausführungsform mit dem Fokus auf den DVZ der Fall ist.

Es stellt sich zuletzt die Frage, ob bei bereits gut trainierten Kindern mit besserer Gleichgewichtsfähigkeit dieser Effekt durch den „Balance“ Trainingsschwerpunkt, welcher mit einer geringeren Trainingsintensität einhergeht, ebenfalls zu tragen kommt. Eventuell verliert dieses kombinierte plyometrische Training dadurch den leistungssteigernden Effekt und traditionellem plyometrischen Training sollte bei steigender Ausprägung der Balance von Athleten wieder mehr Bedeutung beigemessen werden. Die Studie von Matavulj, Kukolj, Ugarkovic, Tihanyi, and Jaric (2001) unterstützt zumindest die Annahme, dass die Ausführungsqualität beim plyometrischen Training von wesentlicher Bedeutung für die Leistungssteigerung ist und höhere Intensitäten durch intensivere Sprungformen nicht zwingend mehr Leistungssteigerung bedeuten. Die Autoren ermittelten in ihrer Studie mit 33 Basketballspielern im Alter von 15-16 Jahren keine Leistungsunterschiede darauf basierend, ob „drop jumps“ aus einer Höhe von 50 cm oder 100 cm ausgeführt wurden. Zudem hatte die Ruhephase zwischen zwei plyometrischen Trainingseinheiten keinen Einfluss auf den Trainings-erfolg. Ramirez-Campillo, Meylan, et al. (2015) relativierten in ihrer Studie die allgemein vorherrschende Annahme, dass die Regenerationsphase zwischen zwei plyometrischen Einheiten für den Leistungszuwachs essentiell ist. Zwei Trainingseinheiten wurden pro Woche durchgeführt und es bestand in den Testergebnissen kein Unterschied dabei ob 24 oder 48 Stunden zwischen den Einheiten lagen. Beide Gruppen (bestehend aus Zehn bis 17-jährigen Fußballspielern) verbesserten sich im gleichen Ausmaß signifikant in der Sprungkraft, der Reaktivkraft, der Sprintschnelligkeit, der Agilität und der „intermittet endurance“. Mit zunehmendem Trainings-umfang eines sich entwickelnden Athleten müssen die einzelnen Einheiten optimal zueinander platziert werden und dies kann eine durchaus sehr hohe Komplexität erreichen. Dennoch ist es interessant und für die Trainingspraxis nicht unerheblich, dass es, wenn nicht anders möglich, durchaus Sinn macht plyometrische Trainingseinheiten an aufeinanderfolgenden Tagen durchzuführen, anstatt lediglich einen Reiz pro Woche zu realisieren.

Direkter Vergleich von Krafttrainingsmodellen

Während sowohl bei traditionellem Krafttraining als auch durch plyometrisches Training die hohen anfänglichen Kraftzuwächse auf neuromuskuläre Optimierungsprozesse zurückzuführen sind, zielt das Hypertrophietraining als spezielle Methode des traditionellen Krafttrainings langfristig auf eine Maximalkraftverbesserung durch Muskelquerschnittsvergrößerung ab. Beide Trainingsmodelle führen in jedem Alter zu Leistungssteigerungen und sind im Bereich der Spitzensportförderung im Kindes- und Jugendalter nicht mehr wegzudenken. In weiterer Folge werden die beiden Modelle direkt miteinander verglichen.

Hoyo et al. (2016) untersuchten in ihrer Studie mit U19 Fußballspielern die Leistungssteigerungen nach Schnellkrafttraining (40-60 % „1 RM squats“), plyometrischem Training mit sportartspezifischen Drills und „resistance sprints“ (12.6 % des Körpergewichts). Während beim CMJ die Ergebnisse des plyometrischen Trainings knapp vor jenen des Schnellkrafttrainings lagen, konnte sich die „squat“ Gruppe bei den Sprinttests deutlicher steigern. Dabei ist zu betonen, dass die schnelleren Sprintzeiten vorrangig auf Verbesserungen der Frequenzphase nach 20-30 Meter beruhen. Die Ergebnisse sind hier sehr durchmischt. Im Bereich der Startphase von null bis zehn Meter konnte sich laut den Autoren lediglich die „resistance sprints“ Gruppe nennenswert verbessern. Eine Verbesserung der Frequenzphase wurde bereits in anderen Studien durch Kraft- und plyometrisches Training dokumentiert. Das hier angewandte „resistance sprints“ Training könnte für die Startphase von besonderer Bedeutung sein. Vorrangig hervorzuheben ist die Leistungssteigerung nach dem Schnellkrafttraining, welches mit zwei Einheiten pro Woche und lediglich zwei bis drei Sätzen zu vier bis acht Wiederholungen einen überschaubaren Umfang, mit sehr guten Resultaten in allen Bereichen, hat und somit in jedem Nachwuchstraining integriert werden sollte. Auch die Kniebeugen können in dieser Ausführungsform schnell von Kindern und Jugendlichen erlernt werden, dabei wird seitens des Trainers keine allzu umfangreiche krafttrainingsspezifische Ausbildung benötigt um die Sicherheit gewährleisten zu können. Keine der Gruppen verbesserte sich beim „change of direction“ Test. Die Autoren sind der Meinung, dass bei Agilitätstests sehr viel mehr Leistungsvariablen zu tragen kommen und, wie bereits erwähnt, anthropometrische Daten bei noch wachsenden Sportlern einen wesentlichen Einfluss haben. Interessant wäre ein ähnliches Studiendesign mit einer zusätzlichen Hypertrophie-Trainingsgruppe damit der Effekt der

Querschnittsvergrößerung ebenfalls in den Methodenvergleich einfließen kann. Bei den postpubertären Probanden dieser Studie wäre eine Muskelhypertrophie bei ausreichender Interventionsdauer mit höheren Lasten zu erwarten gewesen.

Kombination diverser Krafttrainingsmethoden

Da Krafttraining zur Verbesserung der Krafftähigkeit, unabhängig der angewandten Methode, primär die schnellen Typ II Muselfasern beansprucht (Ostrowski et al., 1997) und bereits erläutert wurde, dass unterschiedliche Methoden auf spezifische Leistungsparameter förderlicher wirken als andere, erscheint eine Kombination als durchaus sinnvoll. In weiterer Folge werden diverse Methodenkombinationen verglichen und kritisch betrachtet.

Zunächst beschäftigten sich Lloyd et al. (2016) mit der naheliegenden Kombination von traditionellem Krafttraining mit plyometrischem Training im Vergleich zu den Reinformen sowohl bei prä- als auch postpubertären Schülern. Im präpubertären Alter war anhand des Sprint- und Reaktivkrafttests ersichtlich, dass ein rein plyometrisch durchgeführtes Training in dieser körperlichen Entwicklungsphase sehr gut geeignet ist. Lediglich beim „squat jump“ Test sorgte eine Kombination mit traditionellem Krafttraining für bessere Ergebnisse. Vergleicht man die Testergebnisse im Detail, lässt sich erkennen, dass diese bei rein plyometrischem Training und der Kombination aus beiden Methoden sehr eng beisammen liegen, aber dennoch, mit Ausnahme des SJ-Test, zugunsten des rein plyometrischen Trainings ausfallen. Das rein traditionelle Krafttraining ist, den Ergebnissen zufolge, in diesem Alter bei Schülern nicht empfehlenswert. Ein Hypertrophie-Effekt im präpubertären Alter konnte bei keiner Studie nachgewiesen werden und daher sind die Kraftanstiege, unabhängig von der Trainingsmethode, aus aktueller Sicht im präpubertären Bereich rein neuronale Optimierungsprozesse. Für diese Adaptionsprozesse scheint das plyometrische Training durch die maximale Ausführungs-geschwindigkeit („higher rates of force“) eine sehr effiziente Form der Maximalkraftsteigerung darzustellen.

Im postpubertären Alter kommt es bei allen Tests (bezüglich Sprint, Reaktivkraft und Sprungkraft) zu klar besseren Ergebnissen wenn abwechselnd traditionelle Kraftübungen, wie Kniebeugen und Ausfallschritte, mit plyometrischen Sprungformen durchgeführt werden. Das Studiendesign von Lloyd et al. (2016) ist mit lediglich sechs

Wochen Interventionsphase recht kurz gewählt um hypertrophe Effekte durch traditionelles Krafttraining („higher peak of force“) zu bewirken, weshalb es nicht überrascht, dass ein rein traditionelles Krafttraining auch bei den älteren Schülern keine wesentlich besseren Ergebnisse lieferte. Dennoch ist zu betonen, dass traditionelles Krafttraining durch den Hypertrophie-Effekt mit dem steigendem Alter und höherem androgenen Hormonspiegel dieser Studie zufolge an Bedeutung gewinnt.

Die Frage ob ein Hypertrophie-Effekt bei präpubertären Kinder ausgeschlossen werden kann, ist noch nicht Gänze geklärt (Rowland, 2005). Eine Langzeitstudie mit präpubertären Probanden nach dem Design von Sander et al. (2013) würde Klarheit darüber schaffen ob, aufgrund des geringeren androgenen Hormonspiegels, eine längere Trainingsphase mit höheren Intensitäten doch eine Muskelquerschnittsvergrößerung initiieren könnte (Rowland, 2005). Zudem handelte es sich in der Studie von Lloyd et al. (2016) um Schüler und keine Vereinssportler. Es kann daher von einem niedrigeren Leistungsniveau zu Beginn der Studie ausgegangen werden. Dadurch kamen die anfänglichen neuromuskulären Anpassungsprozesse, für welche das plyometrische Training eine sehr effektive Methode darstellt, prä- und postpubertär besonders stark zu tragen. So könnte eine Kombination der Trainingsmethoden nicht nur mit dem ansteigenden Alter, sondern auch mit dem zunehmenden Leistungsniveau an Bedeutung gewinnen und präpubertär von größerer Bedeutung sein wenn Kinder bereits ein höheres Leistungsniveau ausgebildet haben.

Nachdem bei postpubertären Buben eine Kombination aus traditionellem Krafttraining (ST) und plyometrischem Training (PT) eine wesentliche Bedeutung für die Trainingspraxis einnimmt, beschäftigte sich Kobal et al. (2016) mit der spezifischen Durchführung einer solchen Trainingseinheit. Es stellt sich die Frage, ob das PT vor-, abwechselnd, mit- oder nach einem Krafttraining durchgeführt werden sollte. Es wurden der Zuwachs der Maximalkraft, Sprungkraft, Sprintschnelligkeit und Agilität nach achtwöchiger Trainingsphase mit ermittelt. Alle drei Trainingsgruppen konnten sich bei beim „dynamic strength“ Test und der vertikalen Sprungfähigkeit zwischen „Prä- und Midtest“, sowie „Prä- und Posttest“ signifikant steigern. Diese Verbesserungen konnten aber in der zweiten Hälfte der Interventionsphase von Woche vier bis acht nicht aufrechterhalten werden. Die anfänglichen neuromuskulären Anpassungen bewirkten eine verhältnismäßig bessere Leistungssteigerung unmittelbar nach Interventionsbeginn und flachten mit zunehmender Dauer ab. Während die unterschiedlichen Kombinationen

keinen Einfluss auf die Maximalkraft und Sprungkraft hatten, verbesserte sich im Sprint ausschließlich jene Gruppe, die ST mit PT abwechselnd durchführte. Daher ist für die Verbesserung der Sprintfähigkeit die Wahl des richtigen Kombinationsmodells von entscheidender Bedeutung und eine abwechselnde Durchführung von ST und PT sollte in der Praxis Anwendung finden. Trotz der ermittelten Leistungssteigerungen in allen Gruppen konnten die Autoren, wie schon in vorangegangenen Studien, auch hier keine Verbesserung bei dem Agilitätstest feststellen. Wie Lloyd et al. (2016) betonten auch Kobal et al. (2016), dass die Kombination von Kraft- und plyometrischem Training zu höheren Anstiegen des „1 RM“ innerhalb von acht Wochen führt, als es durch rein traditionelles Krafttraining beschrieben wird, da die neuromuskuläre Anpassung effektiver stattfindet.

Smilios, Pilianidis, Sotiropoulos, Antonakis, and P. (2005) beschrieben den Effekt, dass es bereits nach ein bis zwei Sätzen halber Kniebeugen bei 60 % des „1 RM“ zu einem Anstieg der Sprunghöhe kommt. Dies würde eine höhere Sprungleistung und einen höheren Trainingseffekt bei plyometrischen Ausführungen anschließend an Krafttrainingssätze bedeuten. Dies spricht sowohl für die abwechselnde Kombination von Kraftübungen und plyometrischen Übungen, als auch für das Modell Krafttraining gefolgt von plyometrischem Training. Das Ausbleiben der Verbesserung der Sprintfähigkeit bei letzterem Modell im Rahmen der Studie von Kobal et al. (2016) könnte daran liegen, dass das angewandte Krafttraining weitaus mehr als zwei Sätze beinhaltete und die Intensität deutlich über 60 % des „1 RM“ lag. Eine eventuell eintretende Ermüdung zum Zeitpunkt des Starts des plyometrischen Blockes schien den Studienergebnissen zufolge daher den positiven Effekt, der gesteigerten Sprungleistung mit Auswirkungen auf die Sprintfähigkeit, nicht aufrecht zu erhalten.

Smith, Fry, Weiss, Li, and Kinzey (2001) sprechen bei Erwachsenen ebenfalls von einem positiven Einfluss von Kniebeugen, mit einer ausgeführten Wiederholung bei 90 % des „1 RM“, auf die Sprintfähigkeit. Dieser Effekt hatte in der Untersuchung seinen optimalen Zeitpunkt auf die Springfähigkeit fünf Minuten nach einem „high-intensity“ Stimulus und war nach 20 Minuten nicht mehr nachweisbar. Kotzamanidis et al. (2005) beschäftigten sich in ihrer Studie mit einer ähnlichen Kombination von Kraft- und Speedtraining im Vergleich zu reinem Krafttraining. Dabei absolvierten die 16- bis 18-jährigen Probanden beider Gruppen drei identische Krafttrainingseinheiten pro Woche. Die kombinierte Gruppe führte im Anschluss an diese Einheiten noch Sprintübungen durch. Obwohl das

Krafttraining mit acht bis drei Wiederholungen intensiv gestaltet wurde, konnte sich die reine Krafttrainingsgruppe weder in der Sprungperformance noch im Sprint signifikant verbessern. Dieses Ergebnis ist untypisch und eventuell darauf zurück zu führen, dass der Umfang des Trainings mit vier Sätzen zu gering gewählt war. Lediglich bei den Maximalkrafttests erreichte die reine Krafttrainingsgruppe vergleichbare Leistungssteigerungen wie jene der kombinierten Gruppe, welche auch signifikante Verbesserungen bei der Sprungkraft und Sprintfähigkeit erzielten. Problematisch erscheint in dieser Studie der sehr unterschiedliche Trainingsumfang zwischen den beiden Performancegruppen, da das Sprinttraining in der kombinierten Gruppe zusätzlich ausgeführt wurde und damit die Trainingseinheiten umfangreicher ausfielen. Bei mehr Training sind höhere Leistungssteigerungen zu erwarten. Ob diese Leistungssteigerungen der Sprungkraft und des Sprints daher wirklich der Kombination von Kraft- und Sprinttraining zu verdanken sind oder lediglich dem größeren Trainingsumfang zugeschrieben werden sollten, ist fraglich. Da beim Sprinttraining neben der Verbesserung der Technik auch der DVZ zu tragen kommt und eine höhere neuromuskuläre Anpassungen erwartet werden kann, wäre eine Befürwortung des kombinierten Trainings nachzuvollziehen, jedoch lässt dieses Studiendesign diesbezüglich keine sichere Aussage zu.

Ferrete et al. (2014) verdeutlichen in ihrer 24-wöchigen Studie mit Acht- bis Neunjährigen Fußballspielern, dass eine Trainierbarkeit in diesem jungen Alter durch eine am Sportplatz ausgeführte Kombination aus Kraft- und „high intensity“ Übungen besteht. Die Performancegruppe verbesserte sich um 6,72 % beim CMJ und 49 % bei der „intermitted endurance“. Die Verbesserung der 15 Meter Sprintzeit viel gering aus und war nicht signifikant. Auch die aktive Kontrollgruppe konnte sich bei der „intermitted endurance“ um 19 % steigern, jedoch in keinem anderen Test. Dieses Ergebnis unterstützt die Annahme, dass für Agilitäts- und „intermitted endurance“ Tests mit Richtungswechsel die anthropometrischen Veränderungen von wesentlicher Bedeutung sind. Das Studiendesign war mit 24 Wochen verhältnismäßig lange und in beiden Gruppen kam es während dieser Zeit zu einer Zunahme der Körpergröße und des Körpergewichtes. Durch die aktive Kontrollgruppe konnte der Anteil des natürlichen Reifeprozesses an der Verbesserung der „intermitted endurance“ berechnet und der krafttrainingsbedingte positive Effekt auf ca. 30 % festgelegt werden. Zurückzuführen war diese Leistungssteigerungen auf bessere Regenerationsprozesse hervorgerufen durch das Kraft- und „high intensity“ Training. Diese krafttrainingsbedingte Verbesserung

der spezifischen Ausdauer ist für die sportliche Praxis und Trainingsplanung von wesentlicher Bedeutung. Da in dem hier angewandten Trainingsprogramm aber keine horizontal orientierten plyometrischen Sprünge oder „resistance sprints“ durchgeführt wurden, lässt sich die nur geringe, nicht signifikante Verbesserung der Sprintzeit trotz Sprungkraftsteigerungen erklären. Zudem war die Sprintlänge mit 15 Metern, auch im Verhältnis zur geringeren Körpergröße und Schrittlänge der deutlich jüngeren Probanden, kürzer als in anderen Studien gewählt. Bisher kam es bei Verbesserungen der Sprung- und Maximalkraft primär in der Frequenzphase zu Leistungsverbesserungen, auch wenn diese im Verhältnis zur Kraftsteigerung deutlich geringer ausfielen. Aufgrund der Kürze der Sprintdistanz konnte dieser Effekt hier nicht zu tragen kommen. Die Autoren selbst schrieben auch dem genetischen Faktor und den mehrmals erwähnten anthropometrischen Daten zentrale Einflüsse auf die Sprintzeiten zu. Zuletzt gaben Ferrete et al. (2014) eine Verschlechterung der CMJ-Werte bei der Kontrollgruppe um zehn % an, diskutierten aber nicht, dass die Werte bis zur dritten Testung unverändert waren und nur die letzte Testung erheblich schlechter ausfiel.

Studien mit weiblicher Beteiligung

Ein Großteil der Studien beschäftigt sich nach wie vor mit männlichen Probanden und Aussagen zu geschlechtsspezifischen Empfehlungen sind daher kaum möglich. Es ist schwierig qualitativ hochwertige Studien mit Mädchen zu finden, zudem handelt es sich dann meist um vollkommen unterschiedliche Sportarten. Bei den Buben dominieren neben Studien mit Schülern, Sportspiele wie Fußball und Basketball, während bei den Mädchen die beiden hier vorgestellten Studien aus dem Turnsport stammen. Piazza et al. (2014) beschäftigten sich mit dem Vergleich von sportartspezifischem (SST) und – unspezifischem (UST) Training bei zehn- bis 13-jährigen Turnerinnen nach einer lediglich sechswöchigen Trainingsphase. Es handelt sich hier auch um eine der wenigen Studien, die über Angaben zur Menstruation (drei von 37 Athletinnen) den natürlichen Entwicklungsstand, wenn auch nicht über Tanner, miteinbezieht. Leider mangelt es jedoch an den Informationen zu der Übungsauswahl und der Ausführungsintensität des unspezifischen Trainingsprotokolls, wodurch Interpretationen zu gruppenspezifischen Unterschieden schwierig sind. Zudem fehlt es an einer aktiven Kontrollgruppe und die Studie spricht zu Beginn von 57 Athletinnen, aber lediglich 37 werden in der Datenauswertung erwähnt. Beide Gruppen konnten ihre Sprungwerte im CMJ (6-7 %) und SJ (2,7 %) in vergleichbarem Ausmaß steigern. Bei der Betrachtung der

Reaktivkraftwerte und deren Flugzeiten entwickelten sich die beiden Gruppen sehr unterschiedlich. Während die SST Gruppe bessere Reaktivkraftwerte (-21,9 %) und zugleich schlechtere Flugzeiten (-5,9 %) realisierte, zeigte die Datenerhebung bei der UST Gruppe mit schlechteren Reaktivkraftwerten (+3,6 %) und zugleich besseren Flugzeiten (+7 %) eine gegengleiche Entwicklung. Diese Ergebnisse deuten auf eine, je nach durchgeführtem Trainingsprotokoll, angepasste Ausführung der Testübungen hin. Demnach könnten die Sprunghöhen der UST Gruppe durch einen größeren Kniewinkel entstehen, wie es im traditionellen Krafttraining stattfindet („full range of motion“) und daher auch zwingend mit einer längeren Bodenkontaktzeit einhergeht. Beim SST waren diese Werte vertauscht und ein kleiner Kniewinkel wirkte sich positiv auf die Reaktivkraft und negativ auf die Sprunghöhe aus, da der zu Verfügung stehende Beschleunigungsweg geringer ausfiel. Eine für den Turnsport wichtige Erkenntnis besteht darin, dass die Flexibilität bei der SST Gruppe in allen drei Test teils deutlich verschlechterte Werte ergab, während die UST Gruppe sich bei zwei von drei Tests verbessern konnte. Auch dies könnte am größeren Bewegungsumfang der im UST Trainingsprotokoll durchgeführten Übungen liegen – leider fehlen hierzu wichtige Angaben der Autoren. Ein Hypertrophie-Effekt wurde durch anthropometrische Messungen ausgeschlossen.

Der Turnsport fordert von den Athleten und Athletinnen bereits in jungen Jahren sehr viel Aufopferung, da Trainingsumfänge von 25 Stunden pro Woche neben dem schulischen und privaten Alltag mit ± 13 Jahren keine Seltenheit sind. Dieser extrem hohe Trainingsumfang muss erfüllt werden, da das optimale Alter für Höchstleistungen im Vergleich zu anderen Sportarten besonders niedrig angesetzt ist. Zudem klagen Athlet/innen in diesen sportlichen Disziplinen oft über Schmerzen im unteren Rücken, welche das Durchführen eines traditionellen Krafttrainings zusätzlich erschweren können. Solchen sportartspezifischen Besonderheiten muss sich ein Trainer/eine Trainerin bewusst sein um optimale, auch verletzungspräventive und individuelle Trainingspläne zu erstellen. Deley et al. (2011) rückten aus diesen Gründen das Elektromyostimulationstraining (EMS) in bei 12-jährigen Turnerinnen in den Fokus ihrer Untersuchungen. Es kam zu keinen signifikanten Veränderungen in der Kontrollgruppe, wodurch alle Leistungssteigerungen der Performancegruppe dem EMS-Training zugesprochen werden konnten. Diese steigerten bei allen isokinetischen Tests ihr willkürlich realisierbares Drehmoment signifikant und verzeichneten auch bei

Sprungkraft- und Reaktivkrafttest deutliche Verbesserungen. Allerdings konnten diese Leistungssteigerungen von den Athletinnen nicht auf komplexere sportartspezifische Sprungtests übertragen werden. Leider wurde das EMS-Trainingsprogramm bereits nach drei Wochen von drei Einheiten pro Woche auf lediglich eine Einheit reduziert, wodurch das mögliche Potential des EMS-Trainings durch zu geringe Interventionsläge nicht zur Gänze ausgeschöpft wurde.

EMS-Training stellt somit eine sehr interessante und effektive Trainingsmethode dar, die besonders zeitsparend ist und wesentliche Vorteile mit sich bringt. Der Trainingsumfang ist für die Kinder in dieser Sportart ohnedies enorm und durch EMS könnten die Kinder in besonders stressigen schulischen Phasen entlastet werden, da sie Zeit sparen ohne auf einen Trainingsreiz zu verzichten. Zudem stellt es für alle Athlet/innen eine essenzielle alternative Trainingsform dar um in Verletzungsphasen Leistungseinbußen zu verhindern. EMS-Training ist hohes Potential zuzuschreiben und weitere Studien in den kommenden Jahren werden hoffentlich einen genaueren Einblick ermöglichen. Dennoch ist es kein Ersatz für traditionelles Krafttraining und sollte wohl überlegt eingesetzt werden. An der technischen Ausbildung der Kinder und dem verantwortungsvollen Umgang mit Gewichten sollte nicht gespart werden. EMS-Training erweitert die Möglichkeiten von Athlet/innen und Trainer/innen und erfordert wie alle Trainingsmodelle erhebliches „know-how“. Die richtige Einstellung (Herz, Impulsdauer, Regenerationsphase, usw.) der EMS-Geräte und die optimale Positionierung der Elektroden sind entscheidend. Bei der Arbeit mit Mädchen sollte zudem einer ausreichenden und gesunden Ernährung besondere Aufmerksamkeit seitens der Trainer/innen und Eltern zuteilwerden, da Osteoporose und Menstruationsstörungen durch einen Mangel an Nährstoffen oder zu geringer Energiezufuhr keine Seltenheit sind (Haff & Triplett, 2016b).

Abschließend soll betont werden, dass biologische Altersbestimmungen wie Christou et al. (2006) Studie nach Tanner oder anderwärtige Methoden wie die Menstruationsbestimmung bei Piazza et al. (2014), wesentlich dazu beitragen, erhobene Ergebnisse unter Rücksicht des Entwicklungsstandes zu interpretieren. Der Zusammenhang zwischen biologischem und kalendarischem Alter kann deutlichen mehrjährigen Differenzen unterliegen und somit treffen gleiche Trainingsreize in sensiblen Entwicklungsphasen auf sehr unterschiedliche Adaptionsvoraussetzungen.

7. Conclusio

Nach eingängiger Analyse der ausgewählten Studien lässt sich an einer Leistungssteigerung bedingt durch unterschiedlichste Krafttrainingsmethoden unabhängig vom Alter, dem Leistungsniveau und Geschlecht der Proband/innen nicht zweifeln. Eine Steigerung der Maximalkraft geht mit Verbesserungen der Sprungkraftleistungen und „intermitted endurance“ einher. Für eine Steigerung der Sprintperformance muss bereits die richtige Trainingsmethode ausgewählt werden und es bestehen zentrale Unterschiede darin, ob die kraftbetonte Beschleunigungsphase oder die Frequenzphase verbessert werden soll. Agilitätstests und sportartspezifische Tests mit hohem technischen Anteil profitieren nicht von diesen Maximal-kraftsteigerungen und unterliegen zahlreichen anderen Variablen wie antropometrischen Veränderungen, der technischen Ausführungsqualität sowie genetischen Faktoren. Alternative Methoden wie das EMS-Trainig sollten aufgrund der Effektivität und besonderen Anwendungsmöglichkeiten mitberücksichtigt werden.

Obwohl bei allen Krafttrainingsmethoden eine Leistungssteigerung dokumentiert wurde, handelt es sich um ein höchst komplexes Thema. Die Wahl der optimalen Trainingsinhalte im Kindes- und Jugendbereich erfordert ein besonders hohes sportartspezifisches und sportwissen-schaftliches „know-how“, eine Trainingsplanung mit Weitsicht, eine präzise Analyse des aktuellen Leistung- und Entwicklungszustandes sowie eine richtigen Einschätzung der psychischen Reife eines/r jungen Sportlers/Sportlerin. Auch wenn es in der Praxis kaum möglich ist jedes Kind individuell zu betreuen, muss sich ein Trainer bewusst sein, dass gerade im pubertären Alter der schnell voranschreitenden körperlichen Entwicklung, ein einheitliches Training für eine ganze Gruppe schlichtweg als unprofessionell zu bewerten ist.

Die Langzeitstudie von Sander et al. (2013) verdeutlichte das hohe Potential rein traditionellen Krafttrainings unmittelbar mit dem Einsetzen der Pubertät. Aufgrund der deutlich kürzeren Trainingsinterventionen aller anderen Studien rückt für Leistungssteigerungen, bedingt durch neuromuskuläre Anpassungsprozesse, eine Kombination aus traditionellem Krafttraining mit abwechselnden Sätzen und plyometrischen Übungen in den Fokus. Mit zunehmend präpubertärem Entwicklungsstand verliert das traditionelle Krafttraining durch ausbleibenden des

Hypertropie-Effektes an Bedeutung und zusätzliche Balanceübungen sollten Anwendung finden, um die höheren Kraftwerte auch in der sportlichen Praxis geltend zu machen.

Unabhängig davon welche Trainingsmethoden schlussendlich Anwendung finden, muss eine technisch saubere Ausführung durch eine professionelle Betreuung zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden. Zuletzt stellt das Krafttraining im Kindes- und Jugendalter nicht nur einen zentralen Trainingsinhalt für die Leistungssteigerung maximal- und schnellkräftiger Bewegungen dar, sondern sollte aufgrund der zahlreichen gesundheitsförderlichen und verletzungspräventiven Auswirkungen zur Anwendung kommen.

Literaturverzeichnis

- Akima, H., Kuno, S., Takahashi, H., Fukunaga, T., & Katsuta, S. (2000). The use of magnetic resonance images to investigate the influence of recruitment in the relationship between torque and cross-sectional area in human muscle. *Journal of Applied Physiology*, 83, 475-480.
- American_Academy_of_Pediatrics. (1983). Weight training and weight lifting: information for the paediatrician. *The Physician and Sportsmedicine*, 11(3), 157-161.
- Baechle, T. R., Earle, R. W., & Wathen, D. (2008). *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign: Human Kinetics.
- Baratta, R., Solomonow, M., Zhou, B. H., Letson, D., Chuinard, R., & D'Ambrosia, R. (1988). Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *American Journal of Sports Medicine*, 16(2), 113-122.
- Baxter-Jones, A. D. G., & Sherar, L. B. (2007). Growth and maturation. In N. Armstrong (Ed.), *Paediatric Exercise Physiology* (pp. 1-26). Elsevier: Churchill, Livingston.
- Behringer, M. (2011). *Biomedizinische Grundlagen zum Krafttraining im Kindes- und Jugendalter*. (Doktoratsarbeit), Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik der Deutschen Sporthochschule Köln, Köln.
- Behringer, M., Heede, A., Matthews, M., & Mester, J. (2011). Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 23, 186-206.
- Benjamin, H. J., & Glow, K. M. (2003). Strength training for children and adolescents. *The Physician and Sportsmedicine*, 31(9), 1-9.
- Beunen, G., Thomis, M., Peeters, M., Maes, H. H., Claessens, A. L., & Vlietinck, R. (2003). Genetics of strength and power characteristics in children and adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 15(2), 128-138.
- Bishop, P., Cureton, K., & Collins, M. (1987). Sex difference in muscular strength in equally-trained men and women. *Ergonomics*, 30(4), 675-687.
- Blimkie, C. J., & Sale, D. G. (1998). Strength development and trainability during childhood. In E. Van Praagh (Ed.), *Pediatric Anaerobic Performance* (pp. 193-224). Champaign: Human Kinetics.
- Brechue, W. F., & Abe, T. (2002). The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in powerlifting performance. *European Journal of Applied Physiology*, 86, 327-336.
- Brown, E. W., & Kimball, R. G. (1983). Medical history associated with adolescent powerlifting. *Pediatrics*, 72(5), 636-644.
- Carlock, J. M., Smith, S. L., Hartman, M. J., Morris, R. T., Ciroslan, D. A., Pierce, K. C., . . . Stone, M. H. (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(2), 534-539.
- Casazza, K., Hanks, L. J., & Alvarez, J. A. (2010). Role of various cytokines and growth factors in pubertal development. *Medicine and Sport Science*, 55, 14-31.
- Castro, M. J., McCann, D. J., Shaffrath, J. D., & Adams, W. C. (1995). Peak torque per unit cross-sectional area differs between strength-trained and untrained young adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27, 397-403.

- Chan, N. P. T., Sung, R. Y. T., Kong, A. P. S., Goggins, W. B., So, H. K., & Nelson, E. A. S. (2008). Reliability of pubertal self-assessment in Hong Kong Chinese children. *Journal of Paediatrics and Child Health, 44*(6), 353-358.
- Chaouachi, A., Othman, A. B., Hammami, R., Drinkwater, E. J., & Behm, D. G. (2014). The combination of plyometric and balance training improves sprint and shuttle run performances more often than plyometric-only training with children. *Journal of Strength and Conditioning Research, 28*(2), 401-412.
- Christou, M., Smilios, I., Sotiropoulos, K., Volaklis, K., Piliandis, T., & Tokmakidis, S. P. (2006). Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 20*(4), 783-791.
- Cureton, K. J., Collins, M. A., Hill, D. W., & McElhannon, F. M. (1988). Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 20*(4), 338-344.
- De Marées, H. (2002). *Sportphysiologie*. Köln: Sport & Buch Strauß.
- De Ste Croix, M. B. A. (2007). Advances in paediatric strength assessment: changing our perspective on strength development. *Journal of Sports Science and Medicine, 6*(3), 292-304.
- Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on sprint running performance - Current findings and implications for training. *Sports Medicine, 24*(3), 147-156.
- Deley, G., Cometti, C., Fatnassi, A., Paizis, C., & Babault, N. (2011). Effects of combined electromyostimulation and gymnastics training in prepubertal girls. *Journal of Strength and Conditioning Research, 25*(2), 520-526.
- Ebada, K., & Krüger, A. (2004). Problem des Trainings von Gewichthebern im Kindes- und Jugendalter. *Leistungssport, 34*(4), 35-38.
- Ebben, W. P., & Blackard, D. O. (1997). Developing a strengthpower program for amateur boxing. *Strength and Conditioning Journal, 19*(1), 42-51.
- Ehlenz, H., Grosser, M., & Zimmermann, E. (1998). *Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme*. München: BLV Sportwissen.
- Faigenbaum, A. D., Corbin, C. B., & Pangrazi, R. P. (2003). Youth resistance training. Research Digest. *President's council on physical fitness and sport, 4*(3), 1-8.
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Cahill, B., Chandler, J., Dziados, J., Elfrink, L. D., . . . Roberts, S. (1996). Youth resistance training: position statement paper and literature review. *Strength and Conditioning, 18*(6), 62-76.
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R., & Myer, G. D. (2013). Youth resistance training: past practices, new perspectives, and future directions. *Pediatric Exercise Science, 25*, 591-604.
- Faigenbaum, A. D., Milliken, L. A., & Westcott, W. L. (2003). Maximal strength testing in healthy children. *Journal of Strength and Conditioning Research, 17*(1), 162-166.
- Falk, B., & Tenenbaum, G. (1996). The effectiveness of resistance training in children. A meta-analysis. *Sports Medicine, 22*(3), 176-186.
- Falk, B., Usselman, C., Dotan, R., Brunton, L., Klentrou, P., Shaw, J., & Gabriel, D. (2009). Child-adult differences in muscle strength and activation pattern during isometric elbow flexion and extension. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism, 34*(4), 609-615.

- Faulkner, J. A., Claflin, D. R., & McCully, K. K. (1986). *Power output of fast and slow fibres from human skeletal muscle*. Champaign: Human Kinetics Publishers.
- Felici, F., Rosponi, A., Sbriccoli, P., Filligoi, G. C., Fattorini, L., & Marchetti, M. (2001). Linear and non-linear analyse of surface electromyograms in weightlifters. *European Journal of Applied Physiology*, *84*, 337-342.
- Ferrete, C., Rrequena, B., Suarez-Arrones, L., & Villarreal, E. (2014). Effect of strength and high-intensity training in jumping, sprinting, and intermittent endurance performance in prepubertal soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(2), 413-422.
- Fisher, J., Steele, J., Bruce-Low, S., & Smith, D. (2011). Evidence-based resistance training recommendations. *Medicina Sportiva*, *15*(3), 147-162.
- Freiwald, J. (2005). Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen. *Sportorthopädie Sporttraumatologie*, *21*, 269-275.
- Fröhlich, M., Gießing, J., Schmidtbleicher, D., & Emrich, E. (2007). Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining – ein explorativer Ansatz. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, *58*(1), 25-30.
- Fröhlich, M., Pieter, A., Gießing, J., Klein, M., Strack, A., Felder, H., . . . Schmidtbleicher, D. (2009). Kraft und Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen – aktueller Stand. Schwerpunkt apparatives Krafttraining. *Leistungssport*, *2*, 1-24.
- Frost, G., Dowling, J., Dyson, K., & Bar-Or, O. (1997). Cocontraction in three age groups of children during treadmill locomotion *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *7*(3), 179-186.
- Fry, A. C., & Schilling, B. K. (2002). Weightlifting training and hormonal response in adolescent males: implications for program design. *Strength and Conditioning Journal*, *24*(5), 7-12.
- Garnett, S. P., Hogler, W., Blades, B., Baur, L. A., Peat, J., Lee, J., & Cowell, C. T. (2004). Relation between hormones and body composition, including bone, in prepubertal children. *American Journal of Clinical Nutrition*, *80*(4), 966-972.
- Grosset, J. F., Mora, I., Lambertz, D., & Perot, C. (2008). Voluntary activation of the triceps surae in prepubertal children. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *18*(3), 455-465.
- Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, *50*(7+8), 223-234.
- Guy, J. A., & Micheli, L. J. (2001). Strength training for children and adolescents. *Journal of American Academy of Orthopaedic Surgeons*, *9*(1), 29-36.
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2016a). Essentials of strength training and conditioning by national strength & conditioning association In W. J. Kraemer, J. L. Vingren, & B. A. Spiering (Eds.), *Endocrine Responses to Resistance Exercises* (4 ed., pp. 65-86): Human Kinetics.
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2016b). Essentials of strength training and conditioning by national strength & conditioning association In R. Lloyd & A. D. Faigenbaum (Eds.), *Age- and Sex-Related Differences and Their Implications for Resistance Exercises* (pp. 135-154).
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2016c). Essentials of strength training and conditioning by national strength & conditioning association In D. H. Potach & D. A. Chu (Eds.), *Program Design and Technique for Plyometric Training* (pp. 471-520).

- Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (2000). Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *European Journal of Applied Physiology*, 83(1), 51.
- Hedrick, A. (1993). Literature review: high speed resistance training. *National Strength and Conditional Association Journal*, 15(6), 22-30.
- Hefti, F. (2006). *Kinderorthopädie in der Praxis*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Hetzler, R. K., DeRenne, C., Buxton, B. P., Ho, K. W., Chai, D. X., & Seichi, G. (1997). Effects of 12 weeks of strength training on anaerobic power in prepubescent male athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(3), 174-181.
- Hollmann, W., & Hettinger, T. (1990). *Sportmedizin - Arbeits- und Trainingsgrundlagen*. Stuttgart: New York: Schattauer.
- Horn, A., Behringer, M., Förster, H., Gruber, W., Hartmann, U., Hebestreit, H., . . . Schmitt, H. (2012). Wissenschaftliche Standortbestimmung zum Krafttraining im Nachwuchsleistungssport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63.
- Hoyo, M., Gonzalo-Skok, O., Sanudo, B., Carrascal, C., Plaza-Armas, J. R., Camacho-Candil, F., & Ostero-Esquina, C. (2016). Comparative effects of in-season full-back squat, resisted sprint training, and plyometric training on explosive performance in U-19 elite soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 368-377.
- Hutton, R. S. (1989). *Zentralnervensystem - Olympia Buch der Sportmedizin*. Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Jones, D. A., & Round, J. M. (2008). Muscle development during childhood and adolescence. In H. Hebestreit & O. Bar-Or (Eds.), *The young athlete* (pp. 18-26). Malden, Oxford, Victoria: Blackwell Publishing Ltd.
- Kaufman, L. B., & Schilling, D. L. (2007). Implementation of a strength training program for a 5-year-old child with poor body awareness and developmental coordination disorder. *Physical Therapy*, 87, 455-467.
- Kobal, R., Loturco, I., Barroso, R., Gil, S., Cuniyochi, R., Ugrinowitsch, C., . . . Tricoli, V. (2016). Effects of different combinations of strength, power, and plyometric training on the physical performance of elite young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Kosek, D. J., Kim, J. S., Petrella, J. K., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2006). Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *Journal of Applied Physiology*, 101(2), 531-544.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papajakovou, G., & Patikas, D. (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 369-375.
- Kraemer, W. J., & Fleck, S. J. (2005). *Strength training for youth athletes. Safe and effective exercise for performance*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Kraemer, W. J., & Newton, R. U. (1994). Training for improved vertical jump. *Sports Science Exchange, Gatorade Sports Science Institute*, 7(6).
- Küchler, G. (1983). *Motorik: Steuerung der Muskeltätigkeit und begleitende Anpassungsprozesse, Bausteine der modernen Physiologie - Band 8*. Stuttgart: Fischer Verlag.

- Lesinski, M., Prieske, O., & Granacher, U. (2016). 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(13), 781-795.
- Letzelter, H., & Letzelter, M. (1990). *Krafttraining*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Livshits, G., Kato, B. S., Wilson, S. G., & Spector, T. D. (2007). Linkage of genes to total lean body mass in normal women. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 92(8), 3171-3176.
- 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.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. (2014). Chronological age vs. biological maturation: Implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 1454-1464.
- Lloyd, R. S., Radnor, J. M., Mark, B. A., Croix, S., Cronin, J. B., & Oliver, J. L. (2016). Changes in sprint and jump performance after traditional, plyometric, and combined resistance training in male youth pre- and post peak height velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1239-1247.
- MacIntosh, B., Gardiner, P. F., & McComas, A. J. (2006). *Skeletal muscle form and function*. Champaign: Human Kinetics.
- Malina, R. M. (1994). Physical activity and training: effects on stature and the adolescent growth spurt. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26, 759-766.
- Malina, R. M. (2006). Weight training in youth-growth, maturation, and safety: an evidence-based review. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 16(6), 478-487.
- Malina, R. M., & Beunen, G. (2008). *Growth and maturation: methods of monitoring*. Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign: Human Kinetics.
- Malisoux, L., Francaux, M., & Theisen, D. (2007). What do single-fiber studies tell us about exercise training? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(7), 1051-1060.
- Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Verlag Hofmann.
- Matavulj, D., Kukulj, M., Ugarkovic, D., Tihanyi, J., & Jaric, S. (2001). Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*, 41(2), 159-164.
- Menzi, C., Zahner, L., & Kriemler, S. (2007). Krafttraining im Kindes- und Jugendalter. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 55(2), 38-44.
- Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross sectional area, load-power and load velocity relationships. *Journal of Applied Physiology*, 75, 193-199.
- Muehlbauer, T., Pabst, J., Granacher, U., & Busch, D. (2017). Validity of the jump-and-reach test in sub-elite adolescent handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(5), 1282-1289.

- Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Muscular characteristics of detraining in humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(8), 1297-1303.
- Müller, K. J. (1987). *Statische und dynamische Muskelkraft – Eine empirische Grundlagenforschung*. Deutsch, Frankfurt am Main: Verlag Harri.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Divine, J. G., Wall, E. J., Kahanov, L., & Hewett, T. E. (2009). Longitudinal assessment of noncontact anterior cruciate ligament injury risk factors during maturation in a female athlete: a case report. *Journal of Athletic Training*, 44(1), 101–109.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Palumbo, J. P., & Hewett, T. E. (2005). Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 51-60.
- Ostrowski, K. J., Wilson, G. J., Weatherby, R., Murphy, P. W., & Lyttle, A. D. (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(1), 148-154.
- Pahlke, U. (1999). *Muskelgewebe*. Heidelberg, Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag.
- Parker, D. F., Round, J. M., Sacco, P., & Jones, D. A. (1990). A crosssectional survey of upper and lower limb strength in boys and girls during childhood and adolescence. *Annals of Human Biology*, 17(3), 199-211.
- Paul, A. C., & Rosenthal, N. (2002). Different modes of hypertrophy in skeletal muscle fibers. *Journal of Cell Biology*, 156(4), 751-760.
- Pearson, S. J., Young, A., Macaluso, A., Devito, G., Nimmo, M. A., Cobbold, M., & Harridge, S. D. R. (2002). Muscle function in elite master weightlifters. *Medicine and Science in Sport & Exercise*, 34, 1199-1206.
- Perl, A. (2004). *Elektromyographische Untersuchung der Entladungsfrequenz hirnnervenversorgter Muskulatur mit der konzentrischen Standard-Nadel-Elektrode*. (Doktoratsarbeit), Universitätsklinik und Poliklinik für Neurologie, Halle an der Saale.
- Petrella, J. K., Kim, J. S., Mayhew, D. L., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2008). Potent myofiber hypertrophy during resistance training in humans is associated with satellite cell-mediated myonuclear addition: a cluster analysis. *Journal of Applied Physiology*, 104(6), 1736-1742.
- Piazza, M., Battaglia, C., Fiorilli, G., Innocenti, G., Iuliano, E., Aquino, G., . . . Cagno, A. (2014). Effects of resistance training on jumping performance in pre-adolescent rhythmic gymnasts: a randomized controlled study. *Italian Journal of Anatomy and Embryology*, 119(1), 10-19.
- Pitton, P. M. (1992). The effects of resistance training on strength gains in prepubescent children. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 14(2), 55-57.
- Powers, S. K., & Howley, E. T., Brown &. (1994). *Exercise physiology – Theory and application to fitness and performance*. Dubuque, Iowa: Benchmark Publishers.
- Pschyrembel, W. (2002). *Pschyrembel: Gruyter*.
- Ramirez-Campillo, R., Gallardo, F., Henriquez-Olguin, C., Meylan, C. M., Martinez, C., Alvarez, C., . . . Izquierdo, M. (2015). Effect of vertical, horizontal, and combined plyometric training on explosive, balance, and endurance performance of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1784-1795.
- Ramirez-Campillo, R., Meylan, C. M. P., Alvarez-Lepin, C., Henriquez-Olguin, C., Martinez, C., Andrade, D. C., . . . Izquierdo, M. (2015). The effects of interday rest on adaptation to 6 weeks

- of plyometric training in young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 972-979.
- Rowland, T. W. (2005). *Children's Exercise Physiology*. Champaign: Human Kinetics.
- Runhaar, J., Collard, D. C., Singh, A. S., Kemper, H. C., van Mechelen, W., & Chinapaw, M. (2010). Motor fitness in Dutch youth: differences over a 26-year period (1980-2006). *J Sci Med Sport*, 13(3), 323-328.
- Sale, D. G. (2003). Neuronal adaptations to strength training. *Blackwell Scientific Publications, Oxford*, 281-314.
- Sander, A., Keiner, M., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2013). Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players. *Eur J Sport Sci*, 13(5), 445-451.
- Schmidtbleicher, D. (1984). Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. *Lehre der Leichtathletik*, 35(30), 1785-1785.
- Schmidtbleicher, D. (2000). *Biomechanische Belastungen verschiedener Sportarten - Möglichkeiten der präventiven Biomechanik. Rheumatologie und Orthopädie - Band 6*. Nürnberg: Novartis Pharma Verlag.
- Schmidtbleicher, D. (2003). Motorische Eigenschaft Kraft: Struktur, Komponenten, Anpassungserscheinungen, Trainingsmethoden und Periodisierung. In W. Fritsch (Ed.), *Rudern – erfahren, erkunden, erforschen* (pp. 15-40). Gießen: Wirth-Verlag (Sport Media).
- Schmitt, H. (2007). Sportartspezifische Beschwerden und Krankheitsbilder der Wirbelsäule und des Rumpfes. In H. H. Dickhuth, F. Mayer, K. Röcker, & A. Berg (Eds.), *Sportmedizin für Ärzte* (pp. 335-347). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Schoenfeld, B. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872.
- Schoenfeld, B. (2016). *Science and development of muscle hypertrophy*. New York: Human Kinetics.
- Seynnes, O. R., Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 368-373.
- Siewers, M. (2001). Medizin und Wissenschaft. Muskelkrafttraining im Kindes- und Jugendalter. *Schleswig-Holsteinisches Ärzteblatt*, 7, 55- 60.
- Slavik, H. (2016). *Die Auswirkungen von Krafttraining im Kindes- und Jugendalter auf die Schnellkraftleistung*. (Bakkalaureatsarbeit), Universität Wien.
- Smilios, I., Piliandis, T., Sotiropoulos, K., Antonakis, M., & P., T. S. (2005). Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 135-139.
- Smith, J. C., Fry, A. C., Weiss, L. W., Li, Y., & Kinzey, S. J. (2001). The effects of high-intensity exercise on a 10-second sprint cycle test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3), 344-348.
- Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., Murray, T. F., Hostler, D. P., Crill, M. T., . . . Toma, K. (2000). Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 48(5), 623-629.

- Stewart, C. E. H., & Rittweger, J. (2006). Adaptive processes in skeletal muscle: Molecular regulators and genetic influences. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 6(1), 73-86.
- Tanner, J. M. (1962). *Growth at Adolescents*. Oxford: Blackwell.
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 643-663.
- Toumi, H., Best, T. M., Martin, A., & Poumarat, G. (2004). Muscle plasticity after weight and combined (weight + jump) training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(9), 1580-1588.
- Vicente-Rodriguez, G. (2006). How does exercise affect bone development during growth? *Sports Medicine*, 36(7), 561-569.
- Viitasalo, J. T., & Komi, P. V. (1978). Force time characteristics and fibre composition in human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 40, 7-15.
- Vrijens, J. (1978). Muscle strength development in the pre- and post-pubescent age. *Medicine and Sport*, 11, 152-158.
- Wirth, A., Trager, E., Scheele, K., Mayer, D., Diehm, K., Reischle, K., & Weicker, H. (1978). Cardiopulmonary adjustment and metabolic response to maximal and submaximal physical exercise of boys and girls at different stages of maturity. *European Journal of Applied Physiology*, 39(4), 229-240.
- Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2007). Periodisierung im Schnellkrafttraining. Teil 1: Physiologische Grundlagen des Schnellkrafttrainings. *Leistungssport*, 1, 35-40.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlations of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285-288.

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1</i>	<i>Kraft-Zeit Kurve (Wirth & Schmidtbleicher, 2007, S. 36).....</i>	18
<i>Abbildung 2</i>	<i>Dynamisches Kraftmaximum (Wirth & Schmidtbleicher, 2007, S. 36).....</i>	18
<i>Abbildung 3</i>	<i>Kontraktionsverhalten von Muskelfasertypen (Wirth & Schmidtbleicher, 2007, S.38).....</i>	20
<i>Abbildung 4</i>	<i>Typische geschlechtsspezifische Wachstumsgeschwindigkeit (Behringer, 2011, S.20).....</i>	28
<i>Abbildung 5</i>	<i>Studiendesign des Krafttrainings über zwei Jahre (Sander et al., 2013)</i>	59
<i>Abbildung 6</i>	<i>Überblick des Studiendesigns (Hoyo et al., 2016)</i>	62
<i>Abbildung 7</i>	<i>Ablauf der Studie im Überblick (Kobal et al., 2016).....</i>	64
<i>Abbildung 8</i>	<i>Übersicht des Studiendesigns mit Testablauf und Trainingsprotokoll der beiden Gruppen (Deley et al., 2011).....</i>	77
<i>Abbildung 9</i>	<i>Schematische Darstellung der gymnastik spezifischen Sprungtests (Deley et al., 2011).....</i>	79
<i>Abbildung 10</i>	<i>Mittlere Testwerte des 1 RM Beinpresse (Hetzler et al., 1997).....</i>	87
<i>Abbildung 11</i>	<i>Mittlere Testwerte des „1 RM“ Bankdrücken (Hetzler et al., 1997)</i>	87
<i>Abbildung 12</i>	<i>Mittelwert der höchsten Wattwerte aus den ersten fünf Sekunden beim „Wingate Test“ (Hetzler et al., 1997)</i>	88
<i>Abbildung 13</i>	<i>Mittlere Testwerte beim „Wingate Test“ (Hetzler et al., 1997)</i>	88
<i>Abbildung 14</i>	<i>Mittelwert Laufzeiten beim „40 yard test“ (Hetzler et al., 1997).....</i>	88
<i>Abbildung 15</i>	<i>Mittelwerte der Maximalen Sprunghöhen (Hetzler et al., 1997)</i>	89
<i>Abbildung 16</i>	<i>Die ermittelten „1 RM“ Kraftwerte des Frontsquats aller sechs Gruppen zu drei Messzeitpunkten (Studienstart, nach einem Jahr, Studienende) im Vergleich (Sander et al., 2013)</i>	96

Abbildung 17	Die ermittelten „1 RM“ Kraftwerte des „Backsquats“ aller sechs Gruppen zu drei Messzeitpunkten (Studienstart, nach einem Jahr, Studienende) im Vergleich (Sander et al., 2013).....	96
Abbildung 18	Balkendiagramm der „half-squat“ Testergebnisse im Überblick (Kobal et al., 2016).....	101
Abbildung 19	Balkendiagramm der CMJ Testergebnisse im Überblick (Kobal et al., 2016).....	101
Abbildung 20	Balkendiagramm der zehn und 20 Meter Sprint Testergebnisse im Überblick (Kobal et al., 2016)	102
Abbildung 21	Balkendiagramm der „505 agility“ Testergebnisse im Überblick (Kobal et al., 2016).....	102
Abbildung 22	Prozentuellen Veränderungen der drei Maximalkraftübungen innerhalb der drei Gruppen beim „Prä- und Posttest“ (Kotzamanidis et al., 2005).....	104
Abbildung 23	Prozentuellen Veränderungen der ermittelten „squat jump“ Werte innerhalb und zwischen den drei Gruppen beim „Prä- und Posttest“ (Kotzamanidis et al., 2005).....	105
Abbildung 24	Prozentuellen Veränderungen der ermittelten CMJ Werte innerhalb und zwischen den drei Gruppen beim „Prä- und Posttest“ (Kotzamanidis et al., 2005).....	105
Abbildung 25	Prozentuelle Veränderungen der ermittelten 30 Meter Sprintzeiten innerhalb der drei Gruppen beim „Prä und Posttest“ (Kotzamanidis et al., 2005).....	106
Abbildung 26	Die Testergebnisse (\pm Standardabweichung) der drei unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten bei drei Messzeitpunkten von der EMS- und Kontrollgruppe. Signifikante Veränderungen im Vergleich zum Basistest Woche 0 ($*p < 0.05$), (Deley et al., 2011).....	110
Abbildung 27	Übersicht aller Testergebnisse beider Gruppen zu vier Messzeitpunkten über zehn Wochen. Signifikante Veränderungen im Vergleich zum Basistest Woche 0 ($*p < 0.05$). Signifikante Veränderungen im Vergleich zu Woche 3 ($\dagger p < 0.05$) (Deley et al., 2011).....	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Begrifflichkeiten des Krafttrainings und deren Definition (Fröhlich et al., 2009, S.3)	15
Tabelle 2	zeigt eine Übersicht der angewandten Trainingsmethoden, Interventionsphasen und -Intensität sowie Proband/innenzahlen.....	38
Tabelle 3	Überblick der Studien mit wesentlichen Parametern der Studiendesigns.....	39
Tabelle 4	Kraft- und „high-intensity“ Trainingsprogramm (Ferrete et al., 2014).....	43
Tabelle 5	Sechswöchiges plyometrisches Trainingsprogramm der drei Performancegruppen (Ramirez-Campillo et al., 2015).....	46
Tabelle 6	plyometrisches Trainingsprogramm (Lloyd et al., 2016)	49
Tabelle 7	kombiniertes Trainingsprogramm (Krafttraining und plyometrisches Training) (Lloyd et al., 2016)	49
Tabelle 8	Abbildung 10: Gymnastik spezifisches Krafttrainingsprotokoll der SST Gruppe (Piazza et al., 2014)	53
Tabelle 9	Überblick über das 16-wöchige Krafttrainingsprogramm (Christou et al., 2006).....	56
Tabelle 10	Überblick über das Squat – Trainingsprogramm (Hoyo et al., 2016)	62
Tabelle 11	Überblick über das Widerstandssprint – Trainingsprogramm (Hoyo et al., 2016).....	63
Tabelle 12	Die unterschiedlichen achtwöchigen Trainingsprogramme der drei Gruppen (Komplextraining CP, traditionelles Training TD und Kontrasttraining CT) im Überblick (Kobal et al., 2016)	67
Tabelle 13	Wochenübersicht aller Trainingseinheiten der Athleten (Kobal et al., 2016).....	67
Tabelle 14	Überblick des Trainingsprogrammes der kombinierten COM und reinen Krafttrainingsgruppe STR (Kotzamanidis et al., 2005).....	70

Tabelle 15	Übersicht PLYO Trainingsprotokoll über acht Wochen (Chaouachi et al., 2014)	75
Tabelle 16	Übersicht COMBINED Trainingsprotokoll über acht Wochen (Chaouachi et al., 2014)	75
Tabelle 17	Abbildung 10: Übersicht über alle erhobenen Tests und Ergebnisse der Performance-(S) und Kontrollgruppe (Ferrete et al., 2014)	82
Tabelle 18	Übersicht über die Anthropometrischen Merkmale der vier Gruppen vor Testbeginn (Ramirez-Campillo, Gallardo, et al., 2015).....	83
Tabelle 19	Trainingseffekte der "jump performance" Variablen (Ramirez-Campillo et al., 2015)	84
Tabelle 20	Trainingseffekte von Fußballspezifischen-, Sprint- und Ausdauerests (Ramirez-Campillo, Gallardo, et al., 2015)	84
Tabelle 21	Differenzen der Testvariablen zwischen dein einzelnen Gruppen (Ramirez-Campillo, Gallardo, et al., 2015)	85
Tabelle 22	Anthropometrische Messdaten der Gruppen (Lloyd et al., 2016)	86
Tabelle 23	Anthropometrische Messdaten der Gruppen (Lloyd et al., 2016)	86
Tabelle 24	Überblick über weitere Prä- und Postdaten (Hetzler et al., 1997)	89
Tabelle 25	Prä- und Postparameter der UST und SST Gruppen sowie Änderungen der Werte in % (Piazza et al., 2014)	90
Tabelle 26	Anthropometrische Daten der Versuchsgruppen zu den drei Messzeitpunkten (Christou et al., 2006)	92
Tabelle 27	Messdaten aller Test zu drei Messzeitpunkten (Christou et al., 2006).....	93
Tabelle 28	Standardabweichung der anthropometrischen Daten und die prozentuelle Abweichung zwischen den beiden Messzeitpunkten (Sander et al., 2013).....	94
Tabelle 29	Mittelwerte +- Standartabweichung der ermittelten „1 RM“ Testwerte, sowie die prozentuelle Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten (Sander et al., 2013)	95

Tabelle 30	Mittelwerte +- Standartabweichung der ermittelten Sprintzeiten / Distanzpunkte, sowie die prozentuelle Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten (Sander et al., 2013).....	98
Tabelle 31	Beschreibende Daten der Sportler Pro Trainingsgruppe (Hoyo et al., 2016).....	99
Tabelle 32	Leistungsveränderungen nach dem SQ-, RS- und PLYO- Trainingsprogramm (Hoyo et al., 2016).....	99
Tabelle 33	Veränderung vom Prä- zum Posttest innerhalb der Gruppen in Prozent (%). Signifikanzlevel $p \leq 0.05$. Effektgröße ES (< 0.25 = trivial, $0.25-0.5$ = small, $0.5-1$ = moderate, > 1 = groß) (Kobal et al., 2016)	101
Tabelle 34	Übersicht der anthropometrischen Daten der drei Gruppen (Kotzamanidis et al., 2005).....	103
Tabelle 35:	Übersicht der ermittelten Maximalkraftwerte pro Gruppe und Übung bei Pre- und Posttest (Kotzamanidis et al., 2005).....	103
Tabelle 36	Modifizierte Übersicht der ermittelten Werte zu „vertical jump performance“ pro Gruppe und Übung bei „Prä- und Posttest“ (Kotzamanidis et al., 2005).....	104
Tabelle 37	Übersicht der ermittelten 30 Meter Sprintwerte pro Gruppe und Übung beim „Prä- und Posttest“ (Kotzamanidis et al., 2005)	105
Tabelle 38	Anthropometrische Daten der drei Versuchsgruppen im Überblick (Chaouachi et al., 2014)	106
Tabelle 39	Überblick der Gruppeninternen Effekte von „Prä- zu Posttest“ (Chaouachi et al., 2014).....	108
Tabelle 40	Unterschiede zwischen den drei Gruppen (Chaouachi et al., 2014).....	109

Abkürzungsverzeichnis

ATP	Adenosintriphosphat
CMJ	Counter Movement Jump
COD(S)	Change of Direction Speed Test
CON, CG, CONTROL	Control Group
CP	Complex Group (ST before PL)
CT, COM, COMBINED	Combination Training
DVZ	Dehnungsverkürzungszyklus
EMS	Elektromyostimulation
ETG	Experienced Trainings Group
HCMJ	Horizontal Counter Movement Jump
HG	Horizontal Plyometric Group
HGH	Human Growth Hormone
HT	Hopping Test
IGF	Insulin like Growth Factor
KrP	Kreatinphosphat
MB5	Multiple 5 –Bounds Test
MKV	Maximal Kick Velocity
MRT	Magnet Resonanz Tomographie
MVP	Mean Propulsive Velocity
MVT	Maximal Voluntary Torque
NTG	Novice Group
RJ	Repeated Jumps

RM	Repetition Maximum
SLJ	Standing Long Jump
SOC	Soccer Group
TD	Traditional Training (PT before ST)
THT	Triple Hop Test
TST	Traditional Strength Training Group
PG	Performance Group
PT , PLYO, PL	Plyometric Training
RS	Resistance Sprints
RSI	Reactive Strength Index
SEBT	Star Excursion Balance Test
SJ	Squat Jump
SL	Split Leap Forward
SQ	(Full-Back) Squat Group
SST	Specific Strength Training
ST , STG	Strength Training Group
UST	Unspecific Strength Training
VCMJ	Vertical Counter Movement Jump
VG	Vertical Plyometric Group
VHG	Vertical and Horizontal Plyometric Group
VJ	Vertical Jump
Yo-Yo IR1	Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1 Test

Lebenslauf

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.

Wien, 23.4.2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized first name and a last name with a period.