

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

**Effekte eines zweijährigen Krafttrainings auf die Sprintleistung  
im Nachwuchsleistungssport Fußball**

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie  
im Fachbereich 05 Psychologie und Sportwissenschaften

Vorgelegt von

Andre Sander

Frankfurt am Main, Februar 2015

- 1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Dietmar Schmidtbleicher**
- 2. Gutachter: Prof. Dr. Lutz Vogt**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	I
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	III
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	VI
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	IX
<b>1. Einleitung und Problemstellung</b> .....	1
<b>1.1 Aktueller Forschungsstand zum Krafttraining im Fußball</b> .....	1
<b>1.2 Ziel der Arbeit</b> .....	8
<b>1.3 Aufbau der Arbeit</b> .....	9
<b>2. Theoretische Grundlagen</b> .....	11
<b>2.1 Konditionelles Anforderungsprofil im Fußball unter besonderer Betrachtung der Sprintleistung</b> .....	11
2.1.1 Einflussfaktoren im Linearsprint.....	19
2.1.2 Einflussfaktoren im Sprint mit Richtungswechseln.....	35
<b>2.2 Strukturierung der konditionellen Fähigkeit Kraft</b> .....	43
2.2.1 Maximalkraft.....	45
2.2.2 Schnellkraft.....	47
2.2.3 Kraftausdauer.....	49
2.2.4 Reaktivkraft.....	50
<b>2.3 Physiologische Anpassungen an ein Krafttraining</b> .....	51
2.3.1 Neuronale Anpassungen an ein Krafttraining.....	51
2.3.2 Morphologische Anpassung an ein Krafttraining.....	62
<b>2.4 Krafttrainingsmethoden</b> .....	70
2.4.1 Methode der wiederholten submaximalen Krafteinsätze.....	71
2.4.2 Methode der maximalen Kontraktionen.....	73
2.4.3 Reaktivkrafttraining (plyometrisches Training).....	75
<b>2.5 Einfluss von Krafttraining auf die Schnellkraft</b> .....	76
2.5.1 Einfluss von Krafttraining auf die Sprintleistungen im Linearsprint.....	79
2.5.2 Einfluss von Krafttraining auf die Sprintleistungen im Richtungswechselsprint.....	83
<b>2.6 Periodisierung im Krafttraining</b> .....	85
<b>2.7 Entwicklung konditioneller Fähigkeiten im Kontext der Wachstumsphasen im Kindes- und Jugendalter</b> .....	89
<b>2.8 Krafttraining im Kindes- und Jugendalter</b> .....	92
<b>3. Empirische Untersuchung</b> .....	97
<b>3.1 Fragestellungen und Hypothesen</b> .....	97
3.1.1 Anthropometrie.....	97
3.1.2 Maximalkraft.....	98
3.1.3 Linearsprint.....	100
3.1.4 Richtungswechselsprint.....	102
<b>3.2 Untersuchungsdesign</b> .....	104
3.2.1 Personenstichprobe.....	104
3.2.2 Merkmalsstichprobe.....	106
3.2.2.1 <i>Trainingsintervention</i> .....	106
3.2.2.2 <i>Messmethodik</i> .....	110
<b>3.3 Datenverarbeitung und statistische Verfahren</b> .....	113
<b>4. Darstellung der Untersuchungsergebnisse</b> .....	115
<b>4.1 Anthropometrische Daten</b> .....	115
<b>4.2 Maximalkraft</b> .....	121
<b>4.3 Linearsprint über 30 Meter</b> .....	126
<b>4.4 Richtungswechselsprint</b> .....	134

<b>4.5 Korrelationsanalyse zwischen Maximalkraft und Linearsprint</b> .....	143
<b>4.6 Korrelationsanalyse zwischen Maximalkraft und Richtungswechselsprint</b> .....	144
<b>4.7 Korrelationsanalyse zwischen Linearsprint und Richtungswechselsprint</b> .....	146
<b>5. Diskussion der Ergebnisse</b> .....	148
<b>5.1 Limitationen der Untersuchung</b> .....	148
5.1.1 Wahl der Stichprobe .....	148
5.1.2 Gruppenvergleich .....	149
5.1.3 Testdesign.....	150
5.1.4 Datensatz der untrainierten Schüler.....	150
<b>5.2 Entwicklung der anthropometrischen Werte im Verlauf des Trainingsinterventionszeitraums</b> .....	151
<b>5.3 Effekte des Krafttrainings auf die Maximalkraft</b> .....	159
<b>5.4 Effekte des Krafttrainings auf den Linearsprint</b> .....	164
5.4.1 Zusammenhang der Teilstrecken über 30 Meter .....	164
5.4.2 C-Junioren .....	165
5.4.3 B-Junioren .....	169
5.4.4 A-Junioren .....	173
<b>5.5 Effekte des Krafttrainings auf den Richtungswechselsprint</b> .....	179
5.5.1 C-Junioren .....	179
5.5.2 B-Junioren .....	183
5.5.3 A-Junioren .....	188
<b>5.6 Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und dem Linearsprint</b> .....	192
<b>5.7 Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und dem Richtungswechselsprint</b> ....	194
<b>5.8 Zusammenhang zwischen dem Linearsprint und dem Richtungswechselsprint</b> .....	196
<b>6. Schlussfolgerungen und Ausblick</b> .....	198
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	201
<b>Lebenslauf</b> .....	234

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Analyse der Sprintverteilung in der Champions League und dem UEFA Pokal der Saison 2000/2001 (nach Rehhagel 2011) .....	16
Abbildung 2: Unterteilung der Bewegungsphasen in einem Sprintschritt (nach Connolly 1991 in Lehmann & Voss 1998) .....	20
Abbildung 3: KSP-Verschiebung auf die ersten 25 Schritte bei einem Sprint (nach Nagahara et al. 2014) .....	22
Abbildung 4: Horizontaler Geschwindigkeitsverlauf des KSP (CM) während der ersten Phase im Sprint (nach Slawinski et al. 2010) .....	23
Abbildung 5: Biomechanische Einflussfaktoren der Schrittfrequenz bei einem Sprint (nach Hunter, Marshall & McNair 2004) .....	26
Abbildung 6: Biomechanische Einflussfaktoren der Schrittlänge bei einem Sprint (nach Hunter, Marshall & McNair 2004) .....	26
Abbildung 7: Etappen und Zeitintervalle für einen langfristigen Leistungsaufbau im Sprint (nach Oliver, Lloyd & Rumpf 2013) .....	32
Abbildung 8: Einflussfaktoren des Richtungswechselsprints als ein Faktor des Überbegriffs „Agility“ (nach Sheppard & Young 2006) .....	36
Abbildung 9: Einflussfaktoren abbremsender Bewegungen in einem Richtungswechselsprint (nach Kovacs, Roetert & Ellenbecker 2008) .....	40
Abbildung 10: Strukturanalyse der konditionellen Fähigkeit Kraft mit ihren einzelnen Komponenten (modifiziert nach Schmidtbleicher 2003) .....	44
Abbildung 11: Darstellung einer isometrischen Kraft-Zeit-Kurve mit verschiedenen Schnellkraftparametern (modifiziert nach Bührle 1989) .....	49
Abbildung 12: Kraft-Zeit-Kurven einer Person gegen unterschiedlich schwere Lasten. Die Pfeile markieren den Zeitpunkt des Abhebens der Hantel (nach Bührle & Schmidtbleicher 1981) .....	49
Abbildung 13: Das Henneman'sche Rekrutierungsprinzip (nach Bührle 1993) .....	54
Abbildung 14: Kontraktionskurven mit unterschiedlich hohen Reizfrequenzen von 5, 10, 16, 20 und 25Hz/s (nach Dietz 1985) .....	57
Abbildung 15: Der Einfluss verschiedener Innervationsfrequenzen auf die Kraftanstiegskurve und die Maximalkraft (nach Sale 1990 in Bührle 1993) .....	58
Abbildung 16: Periodisierungsmodell nach Matwejev mit einem Wechsel von Umfang und Intensität, I = Umfang; Ia = Intensität (in Tschiene 1985) .....	86
Abbildung 17: Trainingsinhalte und Trainingsschwerpunkte anhand des Körperlängenwachstums im langfristigen Leistungsaufbau bei Kindern und Jugendlichen (nach Lloyd & Oliver 2012) .....	94
Abbildung 18: Zeitschiene des Untersuchungszeitraums über ein halbes Jahr .....	107
Abbildung 19: Ablauf eines Trainingstages mit Krafttraining und Fußballtraining .....	108
Abbildung 20: Testdesign des Richtungswechselsprints .....	113
Abbildung 21: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Körpergewicht bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	116

Abbildung 22: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Körpergewicht bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	116
Abbildung 23: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Körpergewicht bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	117
Abbildung 24: Verlauf des Körpergewichts im Querschnitt der Schüler von U13 bis U19.....	118
Abbildung 25: Gruppenvergleich der Entwicklungen in der Körpergröße bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	119
Abbildung 26: Gruppenvergleich der Entwicklungen in der Körpergröße bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	119
Abbildung 27: Gruppenvergleich der Entwicklungen in der Körpergröße bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	120
Abbildung 28: Verlauf der Körpergröße im Querschnitt der Schüler von U13 bis U19 .....	121
Abbildung 29: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Frontkniebeuge bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	122
Abbildung 30: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Frontkniebeuge bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	123
Abbildung 31: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Frontkniebeuge bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	123
Abbildung 32: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Nackenkniebeuge bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	124
Abbildung 33: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Nackenkniebeuge bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	125
Abbildung 34: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Nackenkniebeuge bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	125
Abbildung 35: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Linearsprint bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	128
Abbildung 36: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Linearsprint bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	130
Abbildung 37: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Linearsprint bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	132
Abbildung 38: Verlauf der Sprintzeiten über 10m, 20m, und 30m im Querschnitt der Schüler von U13 bis U19.....	134
Abbildung 39: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Richtungswechselsprint bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	136
Abbildung 40: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Richtungswechselsprint bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	138
Abbildung 41: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Richtungswechselsprint bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf .....	140
Abbildung 42: Verlauf der Sprintzeiten im Richtungswechselsprint über den Querschnitt der Schüler von U13 bis U19 .....	142

Abbildung 43: Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen für Jungen im Alter von 0 bis 18 Jahren (nach Brandt & Reinken 1988).....	152
Abbildung 44: Darstellung der prozentualen Steigerungen der CG (C-Junioren) über zwei Jahre sowie der Altersbereiche U13 bis U15 der Schüler im Linearsprint .....	167
Abbildung 45: Darstellung der prozentualen Steigerungen der CG (B-Junioren) über zwei Jahre sowie der Altersbereiche U15 bis U17 der Schüler im Linearsprint .....	171
Abbildung 46: Prozentuale Entwicklung der Sprintleistung der KTG über die verschiedenen Messzeiträume innerhalb der zwei Jahre .....	174
Abbildung 47: Prozentuale Entwicklung der Sprintleistung der CG über die verschiedenen Messzeiträume innerhalb der zwei Jahre .....	175
Abbildung 48: Darstellung der prozentualen Steigerungen der CG (A-Junioren) über zwei Jahre sowie der Altersbereiche U17 bis U19 der Schüler im Linearsprint .....	178
Abbildung 49: Prozentuale Entwicklung der Leistung im Richtungswechselsprint der KTG über die verschiedenen Messzeiträume innerhalb der zwei Jahre .....	184
Abbildung 50: Prozentuale Entwicklung der Leistung im Richtungswechselsprint der CG über die verschiedenen Messzeiträume innerhalb der zwei Jahre.....	185
Abbildung 51: Verlauf der Leistung im Richtungswechselsprint 5m und 10m links bei den Schüler und der CG im A-Juniorenbereich über den Zeitraum von zwei Jahren .....	190

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung unterschiedlicher Sprintwerte aus den Sportarten bezüglich der Spielklasse und dem Altersbereich .....	35
Tabelle 2: Zusammenhänge zwischen der Leistung im Richtungswechselsprint und Maximalkraftleistungen .....	40
Tabelle 3: Krafttrainingsmethoden und Zielsetzungen (modifiziert nach Güllich & Schmidbleicher 2000) .....	71
Tabelle 4: Belastungsnormativa und Adaptionen eines Hypertrophietrainings (modifiziert nach Wirth 2007, S.144) .....	73
Tabelle 5: Belastungsnormativa und Adaptionen eines IK-Trainings (modifiziert nach Wirth 2007, S.148) .....	74
Tabelle 6: Belastungsnormativa und Adaptionen eines Reaktivkrafttrainings (nach Schmidbleicher 2003) .....	76
Tabelle 7: Effekte von ausgewählten Krafttrainingsinterventionen auf den Sprint .....	82
Tabelle 8: Effekte von ausgewählten Krafttrainingsinterventionen auf den Sprint mit Richtungswechseln .....	84
Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der anthropometrischen Daten der jugendlichen Fußballspieler im zweijährigen Verlauf .....	115
Tabelle 10: Darstellung der signifikanten Unterschiede des Körpergewichts zwischen den Altersklassen U13 und U19 bei den untrainierten Schülern .....	118
Tabelle 11: Darstellung der signifikanten Unterschiede in der Körpergröße zwischen den Altersklassen U13 und U19 bei den untrainierten Schülern .....	120
Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalkraftwerte in der Frontkniebeuge (in kg) der jugendlichen Fußballspieler im zweijährigen Verlauf .....	122
Tabelle 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalkraftwerte in der Nackenkniebeuge (in kg) der jugendlichen Fußballspieler im zweijährigen Verlauf .....	124
Tabelle 14: Korrelationen nach Pearson zwischen den Sprintdistanzen im Linear-sprint .....	126
Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der Linearsprintwerte über 30m bei den jugendlichen Fußballspielern im C-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf .....	128
Tabelle 16: Mittelwerte und Standardabweichungen der Linearsprintwerte über 30m bei den jugendlichen Fußballspielern im B-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf .....	130
Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Linearsprintwerte über 30m bei den jugendlichen Fußballspielern im A-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf .....	132
Tabelle 18: Darstellung der signifikanten Unterschiede im Linearsprint über 10m, 20m und 30m zwischen den Altersklassen U13 und U19 bei den untrainierten Schülern .....	134



Tabelle 19: Mittelwerte und Standardabweichungen der Richtungswechselsprints bei den jugendlichen Fußballspielern im C-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf .....	136
Tabelle 20: Mittelwerte und Standardabweichungen der Richtungswechselsprints bei den jugendlichen Fußballspielern im B-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf .....	137
Tabelle 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der Richtungswechselsprints bei den jugendlichen Fußballspielern im A-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf .....	140
Tabelle 22: Darstellung der signifikanten Unterschiede im Richtungswechselsprint zwischen den Altersklassen U13 und U19 bei den untrainierten Schülern .....	142
Tabelle 23: Korrelationsvergleichsanalyse zwischen allen Altersklassen bezogen auf die Maximalkraftparameter und die Parameter im Linearsprint über 30m.....	143
Tabelle 24: Korrelationen nach Pearson zwischen dem Linearsprint und den Maximalkraftparametern 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge.....	144
Tabelle 25: Korrelationsvergleichsanalyse zwischen allen Altersklassen bezogen auf die Maximalkraftparameter und die Parameter im Richtungswechselsprint .....	145
Tabelle 26: Korrelationen zwischen dem Richtungswechselsprint und den Maximalkraftparametern 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge bei den C-Junioren.....	146
Tabelle 27: Korrelationen zwischen dem Richtungswechselsprint und den Maximalkraftparametern 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge bei den B-Junioren.....	146
Tabelle 28: Korrelationen zwischen dem Richtungswechselsprint und den Maximalkraftparametern 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge bei den A-Junioren.....	146
Tabelle 29: Korrelationsanalyse nach Pearson zwischen dem Linearsprint über 30m und dem Richtungswechselsprint .....	147
Tabelle 30: Prozentuale Steigerungen der Körpergröße der jugendlichen Fußballspieler im zweijährigen Verlauf.....	152
Tabelle 31: Prozentuale Steigerungen der Körpergröße und des Körpergewichts der jugendlichen Fußballspieler im B-Juniorenbereich über die beiden Jahre .....	157
Tabelle 32: Prozentuale Steigerungen der 1RM-Werte in den beiden Kniebeugevarianten für alle Altersklassen der KTG .....	160
Tabelle 33: Darstellender Vergleich der Linearsprintwerte zwischen CG und Schülern im Altersbereich der C-Junioren.....	167
Tabelle 34: Darstellender Vergleich der Linearsprintwerte zwischen CG und Schülern im Altersbereich der B-Junioren.....	171
Tabelle 35: Darstellung der Gesamtmittelwerte und Standardabweichungen des Linearsprints aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung.....	175
Tabelle 36: Darstellender Vergleich der Linearsprintwerte zwischen CG und Schülern im Altersbereich der A-Junioren .....	177

Tabelle 37: Prozentuale Steigerungen der KTG in der Leistung des Richtungswechselfprints über den Verlauf des Interventionszeitraums.....	180
Tabelle 38: Vergleichende Betrachtung des Richtungswechselfprints der Schüler und der CG im C-Juniorenbereich .....	182
Tabelle 39: Darstellung der Gesamtmittelwerte und Standardabweichungen des Richtungswechselfprints aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung .....	184
Tabelle 40: Vergleichende Betrachtung des Richtungswechselfprints der Schüler und der CG im B-Juniorenbereich .....	187
Tabelle 41: Vergleichende Betrachtung des Richtungswechselfprints der Schüler und der CG im A-Juniorenbereich.....	190

## Abkürzungsverzeichnis

1RM	Einer-Wiederholungs-Maximum
3RM	Dreier-Wiederholungs-Maximum
Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
CG	Kontrollgruppe
cm	Zentimeter
CMJ	Countermovement Jump
DFB	Deutscher Fußballbund
DVZ	Dehnungsverkürzungs-Zyklus
EMG	Elektromyogramm
FT	Fast-Twitch
GH	Growth Hormone
Hz	Herz
IGF-1	Insulinlike growth factor-I
IGFBP-2	Insulinlike growth factor binding protein-2
IGFBP-3	Insulinlike growth factor binding protein-3
IK	Intramuskuläre Koordination
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KSP	Körperschwerpunkt
KTG	Krafttrainingsgruppe
m	Meter
MGF	mechano growth factor
min	Minute
MVC	maximale willkürliche Kontraktion
s	Sekunde
SJ	Squat Jump
ST	Slow Twitch
T1	Eingangstest
T2	Zwischentest
T3	Ausgangstest
Tab.	Tabelle

## Abkürzungsverzeichnis

---

TE	Trainingseinheit
U13 bis U19	12 bis 18 Jahre alt
vgl.	vergleiche
ZNS	Zentralnervensystem

### **1 Einleitung und Problemstellung**

#### **1.1 Aktueller Forschungsstand zum Krafttraining im Fußball**

In den letzten drei Jahrzehnten hat der Fußball in der Art und Weise des Spiels einen großen Wandel genommen. Mit diesem Wandel zeigt sich auch in der Sportwissenschaft ein erhöhtes Interesse an der Sportart Fußball. Anders als in Individualsportarten, in denen eine sportliche Leistung relativ einfach über Zeiten, Weiten, Höhen oder Punktsysteme ermittelt und nachvollzogen werden kann, ist es im Fußball nicht immer möglich zu eruieren, welche individuelle Leistung zum Erfolg oder Nicht-Erfolg beigetragen hat (vgl. Reilly 2001). Sportwissenschaftler versuchen deshalb, eine geschlossene Mannschaftsleistung in einem Spiel durch festgelegte objektive Parameter darzustellen, um innerhalb des Teams die Einzelleistung eines Spielers besser definieren zu können. Bisherige Einschätzungen über individuelle Leistungen innerhalb einer geschlossenen Mannschaftsleistung werden eher durch subjektive Eindrücke getätigt (vgl. Alghannam 2013). Deshalb unterliegt eine Analyse der konditionellen Leistungen in einem Spiel anhand physiologischer, anthropometrischer, biomechanischer und psychologischer Parameter einer absoluten Notwendigkeit (vgl. Reilly 2001). Der Versuch, mit Hilfe von Spielparametern wie Ballkontakte, Torschuss, Laufrunden, Zweikampf und weitere eine reale Leistung von Spielern vorzunehmen, ist bis heute nur zum Teil gelungen. Diese Parameter werden auf konditionelle Parameter wie Linearsprints, Sprünge, Kraftwerte, Ausdauerleistungsfähigkeit (VO<sub>2</sub>max und Laktat) und andere heruntergebrochen (vgl. Alghannam 2013). Insgesamt lassen sich daraus allgemeine Tendenzen erklären und ein grobes Anforderungsprofil definieren. Allerdings ist noch nicht eindeutig klagestellt, welche Parameter für die sportliche individuelle Leistung innerhalb einer Mannschaftsleistung aussagekräftig sind.

Mit der entwickelten Zonenverteidigung (ballorientiertes Verteidigen) in den 1990er Jahren kommt es zu einer häufig berichteten Zunahme der Spielgeschwindigkeit. Reilly (2005a) gibt einen ersten Hinweis auf eine Zunahme der Spielgeschwindigkeit über eine Erhöhung der Laufrunde von einem Kilometer (km) über die letzte Dekade in der Premier League. Auch Mohr, Krstrup & Bangsbo (2003) zeigen eine Steigerung der Sprintanzahl um mehr als 30% bei dänischen Erstligaspielen in den letzten zehn Jahren, was auf eine zunehmende Spielgeschwindigkeit hindeutet. Wallace & Norton (2013) zeigen in einer Analyse der Finalspiele der Weltmeisterschaften von 1966 bis 2010 ebenfalls eine um 15% höhere Spielgeschwindigkeit bei etwa knapp 20%igem Abfall der effektiven Spielzeit im Verlauf der Jahre. Eine gesicherte Datenlage bezüglich einer gesteigerten Spielgeschwindigkeit fehlt

allerdings bislang. Die Zonenverteidigung führt weiter dazu, dass das Anforderungsprofil eines Fußballspielers angepasst werden muss. Dies resultiert aus dem zur Verfügung stehenden geringen Raum in der Nähe des Spielballs, da sich mehr Spieler durch die ballorientierte Verteidigung in diesem Bereich befinden, um die entsprechenden Spielräume zum Weiterspielen zu besetzen und damit die Spielfläche zu verkleinern (vgl. Vermeulen 2005). Neben einem hohen taktischen Verständnis für die verschiedenen Spielsituationen wird damit auch eine erhöhte Anforderung an die physische Leistungsfähigkeit gestellt. Gerade der Fähigkeit, explosiv zu beschleunigen, wird im Fußball daher ein hoher Stellenwert zugeschrieben (vgl. Pinasco & Carson 2005). Aufgrund der hohen Anzahl an schnellkräftigen Aktionen innerhalb eines Spiels wird das Krafttraining allgemein als bedeutend eingeordnet, da schnellkräftige Leistungen durch ein geeignetes Krafttraining verbessert werden können (vgl. Reilly 2007; Svensson & Drust 2005). Allerdings zeigen Meyer, Ohlendorf & Kindermann (2000), dass sich trotz angenommener Erhöhung der Spielgeschwindigkeit keine leistungsrelevanten Parameter bei Nationalspielern aus Deutschland in den 1990er Jahren verbessert haben. Dies lässt darauf schließen, dass einige leistungsrelevante Parameter für die Schnelligkeit in Deutschland in den 1990er Jahren im Training kaum Beachtung finden. Rehhagel (2011) bestätigt dies in einer umfangreichen Befragung von Top-Trainern und Funktionären (Arsene Wenger, Ralf Rangnick, Matthias Sammer, Rudi Völler, Christoph Daum, Thomas Schaaf, u.a.). Diese ergibt, dass die Schnelligkeitskomponente im Ranking nach dem „taktischen Verständnis“ als sehr wichtig angesehen wird. Gleiches gilt für den Antritt als die wichtigste Komponente in Schnelligkeitsaktionen. Wichtige spieltypische Schnelligkeitsaktionen werden über Richtungswechselsprints, Umschalten bei Ballbesitz und Laufduelle definiert. Die Befragungsergebnisse von Rehhagel (2011) zeigen jedoch, dass die Top-Trainer trotz der Einschätzung um die Wichtigkeit der Schnelligkeitskomponente bei durchschnittlich 6,3 Trainingseinheiten (TE) pro Woche den Anteil des Trainingsinhalts Krafttraining mit 12% und den Anteil des Trainingsinhalts Schnelligkeitstraining mit 30% angeben. Bei 90 Minuten (min) Trainingszeit werden maximal 15min bis 45min für konditionelle Parameter genutzt. Dabei werden meist Sprinttrainings oder Koordinationsübungen durchgeführt. Ein Krafttraining findet laut der Befragungsergebnisse eher als ein in das Fußballtraining integrierte Stabilisationstraining für die Rumpfmuskulatur statt. Ein isoliertes Krafttraining für die unteren Extremitäten wird selten durchgeführt. Eniseler et al. (2012) zeigen ähnliche Ergebnisse bei türkischen Profifußballspielern. Hier liegt der Anteil des Krafttrainings am Gesamttraining bei 8%, das Sprinttraining umfasst etwa 18%. Dem Beweglichkeitstraining wird hingegen ein Anteil von etwa 10% eingeräumt.

Angaben über die Art und Weise des Krafttrainings werden nicht gegeben. Gegenüber den nationalen Leistungsentwicklungen stehen im internationalen Fußball Daten zur Verfügung, die eine Steigerung der Sprintleistungen über die letzten 15 Jahre belegen (vgl. Haugen, Tonnessen & Seiler 2013). Dass die Trainingsinhalte dort andere sind als in Deutschland, ist sehr wahrscheinlich. Demnach ist die Steigerung von Sprintleistungen eine Zielstellung, die in Trainingsformen zur Geltung kommen muss, um dem modernen Fußballspiel gerecht zu werden. Young et al. (2001) weisen für das Training der Schnellkraft geprägten Aktionen darauf hin, dass die Maximalkraft und die Explosivkraft einen hohen Einfluss nehmen. Gerade für den vertikalen Sprung, der im Fußball in Form des Kopfballspiels eine große Rolle spielt, und für den Sprint sind diese beiden Faktoren von Bedeutung. Daher ist neben dem Sprinttraining auch ein Krafttraining in den Gesamttrainingsprozess zu integrieren.

Für die Implementierung eines geeigneten Krafttrainings mit den anzuwendenden Trainingsmethoden sowie den zu nutzenden Trainingsmitteln in den Gesamttrainingsprozess der Sportart Fußball werden verschiedene Herangehensweisen kontrovers diskutiert. Einen Ansatz für die Art und Weise der Implementierung eines Krafttrainings im Fußball geben Ratliff (1982) und Alejo (1991), die Gewichthebeübungen in das Krafttrainingsprogramm für Fußballspieler integrieren (vgl. Wardle 1992). Das Krafttraining wird separat zum Fußballtraining in der Vorbereitung und außerhalb der Saison dreimal wöchentlich sowie innerhalb der Saison zweimal wöchentlich durchgeführt (vgl. Kinney 1998; Wardle 1992). Damit soll eine langfristige Steigerung schnellkräftiger Leistungen erreicht werden. Auch Ciccantelli (1987) setzt den Fokus des Krafttrainings auf die Zeiträume außerhalb der Saison (vgl. Manna, Khanna & Dhara 2010). Innerhalb der Saison sollte nach dessen Meinung ebenfalls zweimal wöchentlich ein Krafttraining durchgeführt werden. Schlumberger (2006) betont die hohe Priorität eines Krafttrainings in der Vorbereitung. Innerhalb der Saison sieht er eher geringe Möglichkeiten, ein Krafttraining zur Leistungssteigerung durchzuführen, da die komplexen Trainingsinhalte und der Spielplan im Fußball dies zeitlich nicht zulassen. Auch Sarianides (1985) und Alejo (1987) beschreiben für den Profifußball nur im Rahmen der Vorbereitung ein Krafttraining, das dreimal wöchentlich durchgeführt wird. Der Fokus bei der Wahl des Haupttrainingsmittels soll auf komplexen Krafttrainingsübungen wie der Kniebeuge liegen. Alejo (1987) fügt zur tiefen Kniebeuge zusätzlich die Viertelkniebeuge als Trainingsübung hinzu. Hoff & Helgerud (2004) empfehlen die Halbkniebeuge als Mittel der Wahl, da diese zu verbesserten Sprintleistungen führen kann. Allgemeine Empfehlungen der Übungsauswahl im Krafttraining gehen demnach zu komplexen Übungen mit freien

Gewichten für Spielsportarten (vgl. Wirth & Zawieja 2008). Ein weiterer Ansatz für die Implementierung eines Krafttrainings im Fußball findet sich in Empfehlungen von sogenannten funktionalen Krafttrainingsübungen, die spezifisch auf den Fußball ausgerichtet sind und innerhalb der Saison zur Anwendung kommen sollen (vgl. Santana 2002, 2002a). Im Fokus stehen dabei meist Übungen mit dem eigenen Körpergewicht, wie in der Untersuchung von Mjolsnes et al. (2004) für die ischiocrurale Muskulatur. Dabei wird häufig davon gesprochen, Krafttrainingsübungen in das reguläre Fußballtraining zu integrieren (vgl. Reilly 2005; Santana 2002a). Separaten Krafttrainingseinheiten wird dagegen innerhalb der Saison oft eher keine Perspektive eingeräumt, da andere Trainingsinhalte im Vordergrund stehen sollen. Bangsbo, Mohr & Krstrup (2006) empfehlen ebenfalls eine Durchführung von Krafttrainingselementen immer nur innerhalb des Fußballtrainings mit maximal 30min bei sechs TE pro Woche innerhalb einer Saison. In der Vorbereitungsperiode auf besondere Ereignisse wie eine Weltmeisterschaft sollen insgesamt acht bis elf TE durchgeführt werden. Allerdings wird auch hier nicht von einem separaten Krafttraining gesprochen. Reilly (2005) beschreibt das Krafttraining als Fitnessstraining innerhalb des Fußballtrainings mit nur etwa 10min bis 15min in einer TE. Dabei handelt es sich um ein Kreistraining, in dem es zu Übungen mit dem eigenen Körpergewicht kommt. Kinney (1998) empfiehlt ebenfalls ein Kreistraining für die unteren Extremitäten. Für das Krafttraining wird eine Kombination aus exzentrischer und konzentrischer Arbeitsweise als effektiv gesehen. Da das Trainingsziel eines Krafttrainings über den Faktor Intensität gesteuert wird (siehe Kap 2.4), zeigt sich bei Übungen mit dem eigenen Körpergewicht jedoch eine gravierende Problematik. Hier ist das Gewicht nahezu immer unverändert und eine entsprechende Intensitätssteigerung beziehungsweise (bzw.) -reduktion nicht möglich. Damit kann eine geeignete Trainingssteuerung in einem solchen Krafttraining nicht immer gewährleistet werden. Svensson & Drust (2005) gehen in ihrem Ansatz zur Implementierung eines Krafttrainings im Fußball noch einen Schritt weiter und sprechen von einem spielpositionsorientierten Fitnessstraining, das aus einer differenzierten Betrachtung des Anforderungsprofils bezüglich der Spielpositionen resultiert. Dies wird in einigen Untersuchungen, in denen spielpositionsbezogene Unterschiede im Sprint und im Sprung gezeigt werden, bestätigt (vgl. Sporis et al. 2009). Demnach sollen Spieler im Fußball ein auf ihre Spielposition ausgerichtetes differenziertes Fitnessstraining absolvieren. Diesem Ansatz widersprechen allerdings einige Untersuchungen, die klar darauf verweisen, dass es bezüglich der Leistungsparameter im Sprint und im Sprung keine spielpositionsbedingten Unterschiede gibt (vgl. Clark 2007; Kaplan, Erkmen & Taskin 2009; Meyer, Ohlendorf & Kindermann 2000;



Lago-Penas et al. 2011; Taskin 2008). Auch DiMascio & Bradley (2013) zeigen in einer Spielanalyse aus Spielen in der Premier League, dass in den Sprints höchstgeschwindigkeiten keine Unterschiede zwischen den jeweiligen Positionen nachzuweisen sind. Unabhängig von diesen Ergebnissen, die eine athletische Ausbildung unabhängig von der Spielposition empfehlen, muss ein moderner Fußballspieler auf mehreren Positionen spielen können.

Bezüglich der anzuwendenden Methodik im Krafttraining gibt es relativ klare Aussagen zu einem Krafttraining für die Steigerung der Maximal- und Schnellkraft in Form der Verbesserung der neuronalen Ansteuerung (vgl. Hoff 2005; Hoff & Helgerud 2004; Manna, Khanna & Dhara 2010; Schlumberger 2006). Hoff (2005) gibt diesbezüglich Trainingsempfehlungen von vier Sätzen mit je vier Wiederholungen (WDH) in der Halbkniebeuge für eine TE. Ein Krafttraining zur Erhöhung der Muskelmasse sollte demnach vermieden werden, da es zum einen keine Datenlage gibt, die einen positiven Effekt eines solchen Trainings auf Sprint- und Sprungleistungen zeigt (vgl. Schlumberger 2006), zum anderen ein damit verbundenes erhöhtes Körpergewicht zu einem Verlust der Sprintgeschwindigkeiten führen kann (vgl. Hoff & Helgerud 2004). Das erste Argument der nicht vorhandenen evidenten Datenlage über einen positiven Effekt eines Hypertrophietrainings auf die Sprung- und Sprintleistungen ist zunächst richtig. Allerdings muss festgehalten werden, dass ein solches Training nicht die Zielstellung besitzt, schnellkräftige Leistungen zu verbessern, sondern das Muskelpotential zu erhöhen (vgl. Schmidtbleicher 2003). Weiterhin ist ein Training zur Verbesserung der neuronalen Ansteuerung bezüglich der positiv zu erzeugenden Effekte zeitlich stark limitiert (vgl. Schmidtbleicher 2003). Ebenso kann bis zum heutigen Zeitpunkt nicht evident nachgewiesen werden, dass ein erhöhtes Körpergewicht einen negativen Effekt auf die Sprintleistung erzeugt. Hier zeigen sich vermehrt Untersuchungen, die bei unterschiedlichen Körpergewichtsangaben einer homogenen Gruppe im Leistungssport keine Unterschiede in der Sprintleistung nachweisen (vgl. Clark 2007; Kaplan, Erkmen & Taskin 2009; Lago-Penas et al. 2011; Taskin 2008). Aus diesen Gründen kann eine einseitige Methodenanwendung im Krafttraining mit dem Schwerpunkt der Verbesserung der muskulären neuronalen Ansteuerung zur Steigerung von Schnellkraftleistungen nicht empfohlen werden. Darüber hinaus ist es verwunderlich, dass selten der Aspekt der Verletzungsprävention im Vordergrund steht. Gerade in einer Sportart wie dem Fußball, in der es auch bedingt durch Gegenspieler oft zu Verletzungen im Bereich des Rumpfes und der unteren Extremitäten kommt (vgl. Walden, Hägglund & Ekstrand 2005), sollte das Krafttraining als ein wichtiger

Faktor für die Verletzungsprävention im Fokus stehen (vgl. Bandyopadhyay & Shaharudin 2009). Insbesondere gilt dies für die häufig vorkommende Verletzung des vorderen Kreuzbandes durch die hohen Kräfte bei abbremsenden Bewegungen und Richtungswechseln sowie durch Zweikämpfe mit dem Gegner (vgl. Bandyopadhyay & Shaharudin 2009). Ein erhöhtes Muskelkorsett zur Stabilisierung der Gelenke ist diesbezüglich erforderlich. Das Hypertrophietraining ist daher aus dem Krafttrainingsprozess nicht auszuschließen. Bezüglich der Thematik Verletzungsprävention werden jedoch oft Übungen mit dem eigenen Körpergewicht empfohlen (vgl. Goodstein 2011), die aufgrund der schwer zu kontrollierenden Belastungsintensität nicht empfohlen werden sollten (siehe Kap 2.4).

Ein weiterer Ansatz im Fußball klammert das Krafttraining generell aus dem Trainingsprozess aus. Dabei wird davon ausgegangen, dass die zu beeinflussenden Leistungsparameter durch spezifisches Training verbessert werden (vgl. Young & Farrow 2013). Dies ist prinzipiell nicht falsch. Sprungtraining kann Sprungleistungen positiv beeinflussen ebenso wie Sprinttraining auch Sprintleistungen positiv beeinflussen kann. Hierbei spielt allerdings das Leistungsniveau eine große Rolle. Dies zeigen auch Newton et al. (2006), in deren Untersuchung weibliche Volleyballspieler der ersten Liga durch ein Sprungtraining ohne Krafttrainingsreize keine Zuwächse in der Sprungleistung aufweisen können. Auch Casajus (2001) zeigt in einer Untersuchung, dass keine Steigerungen in der Leistungsfähigkeit Sprung nach einem halben Jahr Fußballtraining bei Profis in Spanien generiert werden. Weiterhin weisen Fußballspieler im Junioren- und Seniorenalter allein durch ein Fußballtraining innerhalb der Saison keine Steigerungen in der Sprint- und Sprungleistung auf (vgl. Caldwell & Peters 2009; LaTorre et al. 2007). Dies gilt auch für Leistungen im Sprint mit Richtungswechseln (vgl. Caldwell & Peters 2009; Magal et al. 2009). Eine tendenzielle Bestätigung dafür zeigen auch Hoffman et al. (1996), die nur geringe Korrelationen ( $r = .30$ ) zwischen der Leistung im Richtungswechselsprint und der Spielzeit über vier Saisons beobachten. Clark et al. (2008) stellen ebenfalls keinen Unterschied in der Sprungleistung zwischen dem Beginn und dem Ende der Saison fest, obwohl es innerhalb der Saison zu Steigerungen kommt, die jedoch wieder auf das Ausgangsniveau zurückgegangen sind. Demnach ist ein Krafttraining im Fußball allgemein auch zur langfristigen Leistungssteigerung im Sprint und im Sprung möglicherweise als sinnvoll zu erachten.

Im Kinder- und Jugendfußball muss die Implementierung eines Krafttrainings gesondert betrachtet werden. Hier wird gezeigt, dass die Maximalkraft sowie die Sprung- und die

Sprintleistung innerhalb von mehreren Jahren steigen (vgl. Hansen et al. 1999; Williams, Oliver & Faulkner 2011), was möglicherweise auf wachstumsbedingte Prozesse zurückzuführen ist, diese Leistungssteigerungen jedoch begrenzt sind und nicht für den athletischen Stand im Profifußball reichen (vgl. Dowson, Cronin & Presland 2002; Dunbar & Power 1997; Hoshikawa et al. 2009). Auch Abrantes, Macas & Sampaio (2004) zeigen in einer Untersuchung, dass Sprintleistungen von der Alters- und Spielklasse abhängen (vgl. auch Haugen, Tonnessen & Seiler 2013). So können U16 (15 Jahre alt) Fußballspieler das Niveau der ersten und zweiten Liga nicht erreichen. Dies zeigen auch andere Sportarten wie Rugby, in denen jugendliche Sportler ebenfalls nicht an Leistungen von professionellen Sportlern herankommen, was auf die Anzahl der Trainingsjahre zurückgeführt wird (vgl. Argus, Gill & Keogh 2012). Dieser Aspekt ist unter der Betrachtung, dass im Jugendalter etwa 50% der Fußballspieler aus den Leistungszentren in Juniorennationalmannschaften berufen werden, jedoch nur 30% bis 50% davon den Sprung in den Profifußball schaffen, als wichtig einzuschätzen (vgl. Barreiros, Cote & Fonseca 2014; LeGall et al. 2010). Ford & Williams (2012) zeigen weiter, dass sich im Zeitpunkt eines Krafttrainingsbeginns keine Altersunterschiede (14 Jahre) von jungen Fußballspielern, die später Fußballprofis werden, zu denen, die es nicht geschafft haben, darstellen, allerdings ist der athletische Trainingsumfang im Jugendalter bei gleichem Umfang der Wettkämpfe und des Fußballspielens bei den späteren Profifußballspielern gegenüber den späteren Amateuren höher. Daher ist im Nachwuchsleistungsbereich ein adäquates Krafttraining von zweimal pro Woche als sinnvoll zu erachten, um eine athletische Grundlage zu schaffen, die den Spielern den Einstieg in den Profi-Fußball erleichtert. Im Bereich des Nachwuchsleistungssports Fußball fehlen bisher jedoch langfristige empirische Daten, die die Implementierung eines Krafttrainings in das Gesamttrainingskonzept als sinnvoll und notwendig zur Verbesserung konditioneller Fähigkeiten belegen können. Gerade durch das sehr umfangreiche Spektrum der zu trainierenden Bereiche (Technik, Taktik, Training der jeweiligen konditionellen Fähigkeiten) und der damit verbundenen Zeitproblematik, allen fußballrelevanten Trainingsinhalten gerecht zu werden, wird einem Krafttraining daher auch im Jugendbereich kaum Relevanz zugeschrieben. Hinzu kommt der Anspruch der Wissenschaft, nahezu Laborbedingungen zu manifestieren, wenn im leistungsorientierten Fußball Trainingsinterventionen durchgeführt werden sollen, was dazu führt, dass es kaum Interventionsstudien aus dem Nachwuchsleistungssport Fußball gibt. Trainer und Vereine sind oft nicht bereit, eine wissenschaftlich bedenkenlose Untersuchungsmethodik zu akzeptieren, wenn leistungssteigernde Trainingsinhalte nur von einem Teil der Mannschaft durchgeführt werden.

Es ist zwangsläufig notwendig, in der angewandten Trainingswissenschaft möglichst nahe an Laborbedingungen heranzukommen, um wissenschaftlich fundierte Aussagen treffen zu können. Diese Untersuchungsdesigns müssen jedoch an die Anforderungen des Leistungssports angepasst werden (vgl. Meyer 2006).

Weiterhin zeigt sich in der wissenschaftlichen Forschung eine Lücke für das Krafttraining im Jugendalter. Auf internationaler Ebene gibt es eine Reihe von Untersuchungen, die ein Krafttraining im Kindes- und Jugendalter mit vielen positiven Effekten verbinden (vgl. Faigenbaum et al. 2009). Diese geben aufgrund der geringen Interventionszeiträume oft wenig Aufschluss über langfristige zu erwartende Effekte. Daher können bisher nur Spekulationen formuliert werden, inwiefern sich ein Krafttraining im Kindes- und Jugendalter positiv auf konditionelle Leistungsparameter auswirkt. Um wissenschaftlich fundierte Aussagen über langfristige Effekte treffen zu können, ist es demnach notwendig, Krafttrainingsinterventionen von mehr als einem Jahr durchzuführen. Weiterhin zeichnen sich viele Untersuchungen durch Probanden aus, die als untrainiert oder sportlich nur geringfügig aktiv eingestuft werden müssen. Ein Rückschluss auf einen Krafttrainingseffekt bei leistungssportlich orientierten Jugendlichen ist demnach kaum möglich. Gerade vor dem Hintergrund eines koordinativ anspruchsvollen Bewegungsablaufs wie dem Sprint (siehe Kapitel (Kap.) 2.1.1 und 2.1.2) wird eine Aussage über mögliche langfristige Effekte durch eine Krafttrainingsintervention noch schwieriger. Auch die aktuelle Untersuchungslage bezüglich eines Krafttrainingseffekts auf die Sprintleistung ist sehr widersprüchlich behaftet (siehe Kap. 2.5).

### **1.2 Ziel der Arbeit**

In der internationalen Forschung von Effekten durch ein Krafttraining auf sportrelevante Leistungsparameter im Nachwuchsleistungssport Fußball gibt es keine langfristigen Untersuchungen mit einer Interventionsdauer von mehr als einem Jahr. Generell finden sich kaum bis keine Untersuchungen mit experimentellem Charakter über diesen Zeitraum. Demnach kommt es in der Literatur oft zu reinen Spekulationen über mögliche langfristige Anpassungen aufgrund der ermittelten Ergebnisse über kurze Interventionszeiträume. Dies führt dazu, dass eine Aufklärung bezüglich langfristiger Anpassungen von Trainingsmaßnahmen durch diese Art von Untersuchungen nicht gegeben werden kann. Gerade vor dem Hintergrund koordinativ anspruchsvoller Leistungsparameter ist der Spekulationsfaktor um ein vielfaches höher, da die Anzahl leistungslimitierender Faktoren

höher ist. Weiterhin sind Längsschnittuntersuchungen im leistungsorientierten Sport kaum vorhanden, da in der Praxis oft eine gewisse Skepsis vorherrscht, wenn sich Trainingsinterventionen möglicherweise negativ auswirken bzw. ohne Auswirkungen bleiben können. Diese Problematik zeigt sich nicht nur bei Profifußballspielern in hohem Maße, sondern auch im Nachwuchsbereich leistungsorientierter Fußballspieler. Zusätzlich kommt im Nachwuchsbereich neben der erwähnten Problematik noch der reduzierte Trainingsumfang für das Fußballtraining hinzu, der aus Zeitproblemen wegen der Schulpflicht resultiert.

Ziel dieser Arbeit ist es daher aufzuzeigen, inwiefern sich ein langfristig periodisiertes Krafttraining über ein bzw. zwei Jahre im leistungsorientierten Nachwuchsfußball auf die im Fußball leistungsdeterminierenden Schnelligkeitsparameter, dem Linearsprint über 30m und dem Richtungswechselsprint, auswirkt. Daraus sollen sich Empfehlungen für die Praxis ableiten, um die Trainingsqualität im leistungssportlich orientierten Fußball zu steigern. Dazu werden Nachwuchsfußballspieler zweier anerkannter Nachwuchsleistungszentren des Deutschen Fußballbunds (DFB) über zwei Jahre begleitet. Aus den Daten soll ersichtlich werden, inwiefern sich Maximalkraft- und Sprintleistungen bei Fußballspielern, die ein Krafttraining durchführen, im Vergleich zu denjenigen, die nur das reguläre Fußballtraining absolvieren, entwickeln. Diese Betrachtung wird über die im Fußball gängigen Altersklassen A-, B- und C-Junioren vorgenommen. Weiterhin soll sich zeigen, ob mögliche Unterschiede der Leistungsentwicklung zwischen den Altersklassen zu erwarten sind.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit lässt sich in drei größere Abschnitte gliedern. Im ersten Abschnitt werden Definitionen von Sprintformen im Anforderungsprofil des Fußballspielers sowie die Strukturierung der Kraft mit den jeweiligen Krafttrainingsmethoden und zu erwartenden physiologischen Anpassungen beschrieben. Des Weiteren wird der aktuelle wissenschaftliche Stand im Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen unter der Berücksichtigung wachstumsbedingter Anpassungen für die konditionellen Parameter der Sprintleistung und des Kraftverhaltens dargelegt und eine Überlegung zur geeigneten Periodisierungsmöglichkeit für Nachwuchsfußballspieler im Saisonverlauf vorgenommen. Im zweiten Abschnitt wird die eigene empirische Untersuchung mit dem Untersuchungsdesign aufgeführt. Danach wird anhand der Ergebnisdarstellung eine entsprechende Ergebnisinterpretation durchgeführt. Im

dritten Abschnitt werden die ermittelten und interpretierten Ergebnisse in eine wissenschaftlich theoretische und praktische Relevanz eingeordnet.

### 2 Theoretische Grundlagen

#### 2.1 Konditionelles Anforderungsprofil im Fußball unter besonderer Betrachtung der Sprintleistung

Analysen zeigen, dass die Sportart Fußball bei Betrachtung der Energiebereitstellung größtenteils unter aeroben Bedingungen betrieben wird (vgl. Stolen et al. 2005). Allerdings finden auch Beanspruchungsformen auf anaerober Basis statt. Darunter werden unter anderem Antritte und Sprints sowie hochintensive Läufe verstanden (vgl. Stolen et al. 2005). Sporis et al. (2012) betonen die Wichtigkeit entsprechender aerober und anaerober Voraussetzungen von Spielern für technische und taktische Vorgaben in einem Spiel. Bezüglich des Anforderungsprofils eines Fußballspielers werden daher in den letzten Jahrzehnten vermehrt Untersuchungen durchgeführt, die einen Aufschluss darüber geben sollen, welches Belastungsprofil einen Fußballspieler in einem Fußballspiel erwartet. Der Anteil des Ballbesitzes in einem Spiel wird allgemein mit etwa 2% relativiert an der Gesamtlaufroute angegeben (vgl. Dellal et al. 2010; DiSalvo et al. 2007; Drust, Atkinson & Reilly 2007). Damit wird die hauptsächliche Laufarbeit im Fußball ohne das Spielgerät absolviert. Untersuchungen zeigen, dass die Gesamtlaufroute eines Spielers in einem Fußballspiel von der Altersklasse, der Spielklasse und der Spielposition abhängt (vgl. Stolen et al. 2005). Auch der Zeitpunkt innerhalb der Saison spielt eine Rolle. Mohr, Krustup & Bangsbo (2003) zeigen eine Steigerung der Gesamtlaufroute über den Verlauf einer Saison (vgl. Rampinini et al. 2007). Die Gesamtlaufroute variiert nach Angaben aus Spielen der spanischen La Liga und der Champions League aus den Jahren 2002 bis 2004, je nach Spielposition, zwischen 5 und 13km (vgl. DiSalvo et al. 2007). Osgnach et al. (2010) zeigen einen mittleren Wert von 10km bei einer Spannweite von 8 bis 13km (vgl. Alghannam 2013; Aslan et al. 2012; Carling 2011; Dellal et al. 2010, 2011; Greig, McNaughton & Lovell 2006; Helgerud et al. 2001; Lago et al. 2010; Mohr, Krustup & Bangsbo 2003; Rampinini et al. 2007, 2009). Lago-Penas, Rey & Lago-Ballesteros (2012) bestätigen diese Werte mit Daten aus 31 Spielen der Europameisterschaft im Jahre 2008. Dabei wird eine effektive Spielzeit von 54min mit dem höchsten Wert in den letzten 15min des Spiels angegeben (vgl. Meyer, Ohlendorf & Kindermann 2000). Dadurch wird auch der höchste Wert der Laufstrecke in den letzten 15min erfasst, wobei die erste Halbzeit insgesamt eine höhere Laufdistanz aufzeigt als die zweite Halbzeit (vgl. Rampinini et al. 2007). Rey et al. (2010) hingegen stellen bei spanischen Profispielern keinen Unterschied zwischen der ersten und zweiten Halbzeit bezüglich der Gesamtlaufroute fest. Der Effekt zwischen den beiden Halbzeiten unterliegt letztlich keiner Systematik, sondern ist stark abhängig von den gelaufenen Distanzen und deren Intensität in

der ersten Halbzeit (vgl. Rampinini et al. 2007). Prinzipiell ist jedoch aufgrund von Ermüdungserscheinungen von geringeren hochintensiven bis maximalen Lauf- und Sprintdistanzen in der zweiten Halbzeit gegenüber der ersten Halbzeit auszugehen (vgl. Mohr, Krustup & Bangsbo 2005). Coelho et al. (2011) bestätigen dies anhand von Herzfrequenzanalysen, in denen höhere Belastungsintensitäten in der ersten Halbzeit gegenüber der zweiten Halbzeit bei U17 und U20 Fußballspielern verzeichnet werden. Auch die Maximalbelastungen sind in der zweiten Hälfte prozentual geringer als in der ersten Hälfte des Spiels. Weiter befinden sich Außenbahnspieler prozentual länger in Maximalbelastungen als die Spieler anderer Positionen. Damit gilt die Regenerationsfähigkeit innerhalb und zwischen Spielen als ein wichtiger Faktor für die Gesamtlauflänge und für die Sprintdistanz. Rey et al. (2010) zeigen keine Unterschiede in der Gesamtlauflänge und Sprintdistanz bei zwei Spielen in der Woche. Einzig die benötigte Regenerationszeit zwischen hochintensiven Belastungen innerhalb des zweiten Spiels steigt signifikant an. Helgerud et al. (2001) zeigen weiter in einer Längsschnittbetrachtung nach einem aeroben Training eine Steigerung der Gesamtlauflänge von 8,6km auf 10,3km bei U19 Spielern. Auch die Anzahl hochintensiver Belastungen und Sprints steigt nach dem Training an. Demnach spielt die Ausdauerleistungsfähigkeit auch eine große Rolle für die Anzahl der Sprintaktionen.

In einem Fußballspiel kommt es nach Stolen et al. (2005) zu 1000 bis 1400 schnellkräftigen Aktionen. Nach Alghannam (2013) werden sogar 150 bis 250 hochintensive und explosive Aktionen von einem Spieler während eines Spiels absolviert. Unter diesen am häufigsten vorkommenden schnellkräftigen Aktionen werden lineare Sprints von 10m bis 105m, Antritte (5m bis 10m), Sprünge, Richtungswechsel sowie Schüsse verstanden (vgl. Reilly, Bangsbo & Franks 2000). Rehhagel (2011) zeigt zudem, dass die meisten schnellkräftigen Aktionen bei gegnerischem Ballbesitz oder kurz vor einem Zweikampf vorkommen und meist einer Auftaktbewegung (Laufen, Traben, Stand) folgen. Bei näherer Betrachtung des Sprintanteils an der Gesamtlauflänge lässt sich feststellen, dass dieser jedoch nur einen kleinen Anteil ausmacht (vgl. Stolen et al. 2005). Allerdings kann auch gezeigt werden, dass die schnellkräftigen Aktionen in einem Fußballspiel entscheidend für gewonnene oder verlorene Zweikämpfe, Balleroberung oder -verlust sowie Torerzielung oder -verhinderung sind (vgl. Reilly 2005, 2007; Verheijen 1998). Faude, Koch & Meyer (2012) zeigen, dass schnellkräftige Aktionen in 83% der beobachteten Tore einem Torerfolg vorweg gehen. Dabei obliegt den Linearsprints ein Anteil von 61%, Sprints mit Richtungswechsel hingegen gehen einem Torerfolg in 85% der Fälle vorweg (vgl. Faude, Koch, & Meyer 2012). Der Anteil der



Sprintdistanzen an der Gesamtlauflaufdistanz wird von Reilly (2005) mit 11% angegeben. Allerdings basieren diese Angaben auf manuellen Videoauswertungen. Aktuellere Evaluationsmethoden mit Multikamerasystemen und computerbasierten Analysemethoden zeigen einen Sprintanteil an der Gesamtlauflaufdistanz von 0,5% bis 5% (vgl. Barros et al. 2007; Bloomfield, Polman & O'Donoghue 2007; Dellal et al. 2010; DiMascio & Bradley 2013; DiSalvo et al. 2007; Greig, McNaughton & Lovell 2006; Lago et al. 2010; Mohr, Krstrup & Bangsbo 2003; Osgnach et al. 2010). Dellal et al. (2011) erfassen einen Sprintanteil von 5,3% relativiert an der Gesamtlauflaufdistanz aus 600 Spielen der Premier League und der La Liga in den Jahren 2006 bis 2007. Diese Untersuchung gibt mit einer entsprechenden Anzahl an untersuchten Spielen die höchste Aussagekraft über den Sprintanteil an der Gesamtlauflaufdistanz. Spencer et al. (2005) geben in einem Übersichtsartikel eine Spannweite der Sprintdistanz von 670m bis 975m an. Weiterhin wird in einigen Untersuchungen gezeigt, dass sich die Sprintdistanzen zwischen den beiden Halbzeiten nicht unterscheiden (vgl. Aslan et al. 2012; Castagna et al. 2009; DiSalvo et al. 2007; Rey et al. 2010). Hingegen zeigen Carling & Bloomfield (2010), dass es bezüglich der Sprintdistanzen zu Unterschieden zwischen den beiden Halbzeiten kommen kann. Dies wird mit der Intensität und Höhe des Energieflusses innerhalb der ersten Halbzeit begründet. Die Sprintanzahl pro Spieler in einem Spiel variiert zwischen 11 und 81 (vgl. Andrzejewski et al. 2013; Haugen et al. 2013; Mohr, Krstrup & Bangsbo 2003; Rey et al. 2010).

Die Betrachtung des Juniorenbereichs zeigt zum Seniorenfußball sowohl in der Gesamtlauflaufdistanz als auch im prozentualen Sprintanteil Unterschiede. Im Juniorenbereich finden sich nach Harley et al. (2010) Angaben zu Gesamtlauflaufdistanzen von 7,6km bei U16 Mannschaften und 5,7km bzw. 5,9km bei U12 bzw. U14 Mannschaften (vgl. Castagna et al. 2009; Rebelo et al. 2012). Die Gründe für die geringeren Gesamtlauflaufdistanzen gegenüber dem Seniorenfußball sind unter anderem geringere Spielzeiten und kleinere Spielfelder in den Juniorenklassen. Hier zeigt sich schon aufgrund der Spielfeldgröße ein Unterschied zwischen dem Altersbereich der U16 und der U13 (vgl. Harley et al. 2010). Weiter führen Harley et al. (2010) einen Sprintanteil relativiert an der Gesamtlauflaufdistanz von etwa 3,6% an, der sich für die Altersklassen U12, U13 und U16 nicht unterscheidet. Die Sprintanzahl hingegen ist bei der U16 höher als bei der U12 und U13. Ein Grund dafür liegt in der längeren Spielzeit pro Spiel. Castagna et al. (2009) zeigen bei jugendlichen Fußballspielern (15 Jahre) mit 3% Sprintanteil an der Gesamtlauflaufdistanz nahezu identische Ergebnisse. Auch Rebelo et al. (2012) weisen etwa 3% Sprintanteil relativiert an der Gesamtlauflaufdistanz bei U17 Spielern

nach. In einer Untersuchung von Sporis et al. (2012) wird festgestellt, dass bei U14 Spielern Sprints für das Offensivspiel noch wichtiger als für das Defensivspiel sind. Costa et al. (2010) bestätigen in ihrer Untersuchung diese Annahme. Hier zeigen gerade jüngere Fußballspieler (U11 bis U13) mehr Probleme in der defensiv taktischen Arbeit als ältere Fußballspieler. Der Fokus ist offensichtlich auf die Offensive gerichtet, wobei auch hier nicht mit der gleichen Effektivität gearbeitet wird wie im höheren Altersbereich der U19.

Die zum Teil starken Unterschiede in den relativierten Sprintangaben der einzelnen dargestellten Untersuchungen unterliegen mehreren Gründen. Zum einen gibt es unterschiedliche Definitionen für die Kategorie Sprint, zum anderen sind die Evaluationsmethoden sehr verschieden (vgl. Bloomfield et al. 2005). In den manuellen Videoauswertungen ohne computergestützte Analyseverfahren werden meist Schrittlängen als aussagekräftige Parameter für einen Sprint herangezogen (vgl. Spencer et al. 2005). Diese Definition ist allerdings einem hohen Messfehler unterworfen, da unter anderem anthropometrische Faktoren wie Körpergröße oder Beinlänge nicht mit einbezogen werden. Dies führt dazu, dass eher höhere relativierte Sprintdistanzen aufgezeigt werden. Mohr, Krustrup & Bangsbo (2003) definieren den Sprint anhand von Geschwindigkeiten von 30km/h oder mehr. Die computergestützten Multikameraanalyseverfahren definieren Laufgeschwindigkeiten ebenfalls in verschiedenen Intervallen (vgl. Dellal et al. 2011). Dabei variieren die Definitionsangaben für einen Sprint zwischen mehr als 20km/h (vgl. Iaia, Rampinini & Bangsbo 2009), 22km/h (vgl. Osgnach et al. 2010), 23km/h (vgl. Barros et al. 2007; DiSalvo et al. 2007; Lago et al. 2010), 24km/h (vgl. Andrzejewski et al. 2013; Dellal et al. 2010, 2011) und 25km/h (vgl. DiMascio & Bradley 2013; DiSalvo et al. 2010; Gregson et al. 2010; Greig, McNaughton & Lovell 2006; Rampinini et al. 2007). Diese Differenz der Angaben von Sprintgeschwindigkeiten führt dazu, dass eine Vergleichbarkeit der Untersuchungen und damit eine adäquate Aussagekraft über relativierte Sprintanteile an der Gesamtlaufdistanz in einem Fußballspiel nicht gewährleistet werden kann. Weiterhin werden Antritte und Sprints über kurze Distanzen (etwa 5m bis 10m) durch diese Definition aus der Kategorie Sprint ausgeschlossen, da durch das Definitionsfenster mindestens eine Geschwindigkeit von 6,7 m/s erreicht werden muss, um als Sprint zu gelten. Diese Geschwindigkeiten werden allerdings selten innerhalb der ersten 10m erreicht. Dies deutet darauf hin, dass Läufe mit höchster Beschleunigung nicht über die komplette Distanz als Sprint definiert werden. Demnach müssen alle Angaben von relativierten Sprintdistanzen an der Gesamtlaufdistanz mit Vorsicht interpretiert werden. Aslan et al. (2012) differenzieren die

Sprintgeschwindigkeiten in drei Kategorien, sodass eine Geschwindigkeitsspannweite von 18km/h bis mehr als 24km/h entsteht (vgl. Rebelo et al. 2012). Dadurch ist gewährleistet, dass auch Sprints unterhalb von 10m entsprechend erfasst werden können. Auch Rampinini et al. (2009) definieren die höchste Geschwindigkeitskategorie bei 19Km/h oder mehr (vgl. Buchheit et al. 2010a; Carling 2011). Osgnach et al. (2010) gehen noch einen Schritt weiter und kombinieren die Intervallskalierung der Laufgeschwindigkeiten mit dem Energieverbrauch und der Beschleunigung bzw. dem Abbremsen von Läufen in 50 Spielen der Serie A. Dadurch wird gezeigt, dass bei knapp 11% der Gesamtlauflänge stark beschleunigende bzw. abbremsende Bewegungen von  $2\text{m/s}^2$  oder mehr als  $3\text{ m/s}^2$  zu verzeichnen sind. Dieser Wert liegt damit höher als die erfassten relativen Sprintdistanzen anderer Untersuchungen. Der Einbezug von positiven und negativen Beschleunigungen ist empfehlenswert, um Antritte und Sprints über kurze Distanzen ebenfalls zu erfassen. Aus diesen Ergebnissen resultiert, dass schnellkräftige explosive Läufe doch einen höheren Anteil an der Gesamtlauflänge besitzen als von den nur auf Geschwindigkeiten basierenden computergestützten Analyseverfahren ausgegeben wird. Ein weiterer wichtiger aber oft vernachlässigter Aspekt bezüglich der großen Unterschiede in der Sprintdistanz bzw. -anzahl sind die situationsbedingten Variablen in einem Spiel. Darunter werden der Spielort, der Spielverlauf und die Spielstärke des Gegners verstanden. Rampinini et al (2007) stellen fest, dass es gegen starke Gegner höhere Lauf- und Sprintdistanzen gibt als gegen schwache Gegner, allerdings mit geringen bis moderaten Effekten. Lago et al. (2010) zeigen hingegen, dass die Sprintdistanzen geringer sind, wenn der Gegner stärker ist. Weiterhin kommen sie zu dem Ergebnis, dass der Spielstand in einem Spiel entscheidend für das Sprintverhalten ist. Bei einem Spielrückstand werden mehr Sprints durchgeführt als bei einer Spielführung. Auch Gregson et al. (2010) weisen darauf hin, dass es eine hohe Variabilität zwischen einzelnen Spielen bezüglich der Sprintdistanzen gibt. Dies bestätigt indirekt die vielen Einflussfaktoren auf das Sprintverhalten in einem Spiel und damit die Schwierigkeit, eine evidente Aussage für das Anforderungsprofil im Fußball zu treffen.

Die Sprintdistanzen im Fußball sind aufgrund der taktischen Ausrichtung der beiden gegenüberstehenden Mannschaften in dem zur Verfügung stehenden Raum begrenzt. So kann gezeigt werden, dass 96% der Sprints die 30m nicht überschreiten (vgl. Andrzejewski et al. 2013; DiSalvo et al. 2007; Stolen et al. 2005). Davon sind etwa 50% als Antritte bis zu 10m zu verzeichnen (siehe Abbildung 1 (Abb.); vgl. O'Donoghue 2002; Rehhagel 2011; Stolen et al. 2005). Andrzejewski et al. (2013) zeigen in ihrer Untersuchung jedoch abweichende

Ergebnisse. So ergibt sich ein deutlich höherer Sprintanteil bei den Distanzen 10m bis 20m und mehr als 20m gegenüber Sprints bis zu 10m. Allerdings muss auch hier auf die Problematik der Analyse computergestützter Multikamerasysteme verwiesen werden. Daher ist davon auszugehen, dass die Antritte und Sprints bis 10m häufiger vorkommen als diese Untersuchungsgruppe zeigen kann. Hoff & Helgerud (2004) beobachten, dass es in einem Spiel zu bis zu 50 Richtungswechseln kommt, die auf einen Sprint folgen oder vor einem Sprint erfolgen (vgl. Sheppard & Young 2006). Dabei kommen Richtungswechsel bis 90° mit etwa 300 Mal am häufigsten in einem Spiel vor (vgl. Bloomfield, Polman & O'Donoghue 2007). Rehhagel (2011) zeigt zudem, dass 72% aller Richtungswechsel zwischen 45° und 90° liegen. Richtungswechsel zwischen 90° und 180° betragen etwa 15% der gesamten Richtungswechselanzahl in einem Spiel (vgl. Bloomfield, Polman & O'Donoghue 2007). Ein weiteres Ergebnis ist, dass Richtungswechsel bei einem Winkel von 60° bis 180° für den Fußballspieler wichtig sind (vgl. Milanovic et al. 2011). Weiterhin wird gezeigt, dass Richtungswechsel bis 90° positionsbedingt bei Mittelfeldspielern seltener vorkommen als bei Verteidigern oder Stürmern. Für die Richtungswechsel von 90° bis 180° werden keine positionsbedingten Unterschiede festgestellt. Auch zwischen der Anzahl der Richtungswechsel nach links oder rechts werden keine Unterschiede festgestellt.

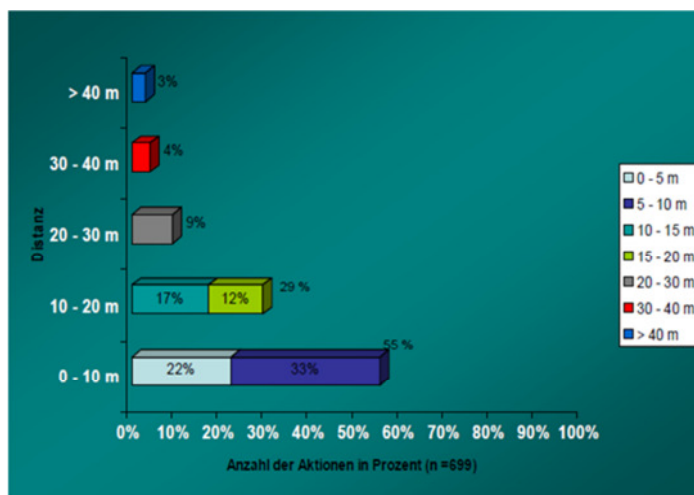


Abbildung 1: Analyse der Sprintverteilung in der Champions League und dem UEFA Pokal der Saison 2000/2001 (nach Rehhagel 2011)

Bezüglich der Sprintdistanzen und -anzahl in einem Spiel wird auf Unterschiede durch Altersklassen, Spielklassen, Spielpositionen und fußballkulturelle Spielweisen verwiesen (vgl. Reilly 2005a). Stroyer, Hansen & Klausen (2004) zeigen in einer Untersuchung jedoch keine Alters- und Spielklassenunterschiede in der Anzahl der Sprints bei jugendlichen Fußballspielern. Allerdings sind die Ergebnisse dieser Untersuchung aufgrund der

Evaluationsmethode einer manuellen Analyse mit Vorsicht zu betrachten. Bezüglich der Spielpositionen beobachten Andrzejewski et al. (2013) in einer Analyse von UEFA Cup Spielen aus den Jahren 2008 bis 2011 Unterschiede in der Sprintdistanz und der Sprintanzahl. Die Stürmer und Außenbahnspieler im Mittelfeld und der Verteidigung produzieren demnach höhere Gesamtsprintdistanzen als die zentralen Spieler im Mittelfeld und der Verteidigung (vgl. Bloomfield, Polman & O'Donoghue 2007; Gregson et al. 2010; Mohr, Krustup & Bangsbo 2003; Lago et al. 2010; Rampinini et al. 2007). Auch Dellal et al. (2010, 2011) zeigen, dass Stürmer die höchsten Sprintdistanzen und zentrale Verteidiger die geringsten Sprintdistanzen aufweisen. Aslan et al. (2012) ermitteln ähnliche Ergebnisse in ihrer Spielanalyse. Allerdings unterscheiden sie nur zwischen Verteidigung, Mittelfeld und Sturm, sodass eine detaillierte Analyse innerhalb eines Mannschaftsteils nicht gegeben ist. Bezüglich der Sprintanzahl zeigen Andrzejewski et al. (2013), dass die Stürmer und Außenbahnspieler mehr Sprints in der Kategorie 10m bis 20m und in der Kategorie mehr als 20m gegenüber den zentralen Spielern durchführen (vgl. DiSalvo et al. 2007). In der Kategorie bis 10m werden keine Unterschiede zwischen den Positionen festgestellt. DiSalvo et al. (2010) ermitteln hingegen in einer Analyse von etwa 70 UEFA Cup Spielen, dass zentrale Mittelfeldspieler mit 56% an Sprints über 5m den höchsten Wert und mit 4% an Sprints über 20m und mehr den geringsten Wert gegenüber den anderen Spielpositionen besitzen. Einen weiteren Aspekt fügen Dellal et al. (2011) hinzu, die darauf verweisen, dass defensiv orientierte Spieler eine deutlich höhere Anzahl an Sprints in Phasen mit Ballbesitz des Gegners produzieren, offensive Spieler hingegen in Phasen des eigenen Ballbesitzes (vgl. Dellal et al. 2010; DiMascio & Bradley 2013). Dieses Verhältnis ist in der spanischen Liga ausgeprägter als in der englischen Liga (vgl. Dellal et al. 2011).

Dellal et al. (2011) analysieren Spiele der Premier League und der La Liga, die als gleichwertige Ligen angesehen werden. Spieler der Premier League absolvieren prozentual an der Gesamtlauflänge höhere Laufintensitäten als Spieler der spanischen La Liga. Dies weist auf eine höhere Spielgeschwindigkeit in der effektiven Spielzeit hin. Weiterhin wird gezeigt, dass Spieler der La Liga eine geringere Anzahl an Ballkontakten aufweisen als Spieler der Premier League. Die Zweikampfstatistiken weisen zusätzlich bis zu dreifach höhere Werte der Spieler der Premier League auf. Allerdings sind die prozentual gewonnenen Zweikämpfe in der Luft und am Boden in beiden Ligen etwa gleich. Damit zeigen sich durch Spielanalysen Unterschiede im Anforderungsprofil allein durch spielkulturell bedingte Faktoren. Auch Reilly (2001) weist auf spielkulturelle Unterschiede in der Gesamtlauflänge zwischen der

Premier League und Südamerikanern hin. Bezüglich der Anforderungen in einem Spiel kommen neben den spielkulturellen Faktoren auch die Faktoren der Leistungsklassen hinzu. Mohr, Krustup & Bangsbo (2003) analysieren Spieler aus der italienischen Serie A und der dänischen Erstliga. Das Leistungsniveau dieser beiden Ligen wird grundsätzlich als unterschiedlich hoch betrachtet. Die Untersuchung von Mohr, Krustup & Bangsbo (2003) bestätigt diese Annahmen in einer Spielanalyse. Es zeigen sich höhere Sprintdistanzen relativiert an der Gesamtlauflänge (1,4% zu 0,9%) und auch eine höhere Gesamtlauflänge bei den Spielern der Serie A. Bezüglich der Zweikampfstatistik werden hier starke positionsbedingte Unterschiede deutlich. Zentrale Spieler absolvieren demnach eine höhere Anzahl an Zweikämpfen als Außenbahnspieler. Dies ist nachvollziehbar, da der Raum für einen Spieler im Zentrum oftmals geringer ist als auf der Außenbahn, bedingt durch den spielerischen Ansatz, den Gegner vom eigenen Tor weit entfernt zu halten. Daher ist anzunehmen, dass mit steigendem Leistungsniveau auch die Leistungsparameter in einem Spiel steigen. Rampinini et al. (2009) zeigen allerdings in ihrer Untersuchung zwischen Spielern der fünf Erstplatzierten und der fünf Letztplatzierten der Serie A, dass die vermeintlich schwächeren Spieler eine höhere Gesamtlauflänge und eine höhere Sprintdistanz besitzen. Dies scheint widersprüchlich zu den bisher dargestellten Ergebnissen zu sein. Allerdings zeigen die besseren Spieler in dieser Untersuchung höhere Lauflängen und auch höhere Sprintdistanzen bei Ballbesitz. Dies liegt möglicherweise an dem Gesamtballbesitz einer Mannschaft, der sich je nach Spielphilosophie stark unterscheiden kann. Weiterhin weisen die besseren Spieler mehr Pässe und auch mehr angekommene Pässe auf, die prozentuale Quote der angekommenen Pässe ist jedoch bei beiden gleich. Auch mehr Zweikämpfe und Torschüsse werden bei den besseren Spielern verzeichnet, jedoch nicht in Bezug auf prozentual gelungene Pässe und Zweikämpfe. Den Einflussfaktor taktische Ausrichtung auf die Gesamtsprintdistanzen untersucht Carling (2011) in einer Analyse mehrerer Spiele. Die Mannschaften der ersten französischen Liga zeigen für die Gesamtsprintdistanzen keine Unterschiede in Spielen gegen unterschiedliche Spielsysteme anderer Mannschaften. Dies ergibt sich auch in der Aufschlüsselung der jeweiligen Positionen gegen die diversen Spielsysteme. Nur in der Gesamtlauflänge zeigt sich ein Unterschied zwischen dem Spiel gegen ein 4-4-2 (10,5km) und ein 4-2-3-1 (10,8km). Allerdings ist dieser Unterschied als gering zu einzuordnen. Auch in den Leistungen zwischen den Halbzeiten und dem prozentualen Abfall der Leistungen zwischen den ersten 15 min und den letzten 15 min zeigt sich kein Unterschied. Für die technischen Komponenten werden Unterschiede zum Teil festgestellt. Gegen ein 4-4-2 kommt es zu mehr Pässen, und zu einer höheren Kontaktzeit mit

dem Ball als gegen ein 4-2-3-1. Hingegen wird gegen ein 4-2-3-1 öfter direkt gespielt als gegen ein 4-4-2 und ein 4-3-3. Weiterhin werden mehr Zweikämpfe am Boden und in der Luft gegen ein 4-2-3-1 geführt als gegen ein 4-4-2. Die Passlänge der zentralen Mittelfeldspieler ist gegen ein 4-4-2 länger als gegen ein 4-2-3-1 und ein 4-3-3. Diese Unterschiede resultieren aus der Anzahl der Spieler im Zentrum des Mittelfelds. Bei einem 4-2-3-1 ist der Raum im Zentrum und die Zeit zum Passspiel durch die beiden defensiven zentralen Mittelfeldspieler geringer als bei einem 4-3-3, was zur Folge hat, dass es zu einem schnelleren Passspiel kommen muss.

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass ein klares und einheitliches Anforderungsprofil im Fußball schwer zu definieren ist. Dies resultiert aus der hohen Anzahl an Einflussfaktoren wie Spielposition, Leistungsklasse, Ermüdungsgrad, Alter, Spielsystem, Leistungsniveau des Gegners, Spielkultur, Spielverlauf und Zeitpunkt in einer Saison, die die Anforderungen an einen Fußballspieler bestimmen. Dennoch zeigt sich, dass den Aktionen unter anaerober Energiebereitstellung aufgrund des anscheinend höheren Wertes für spielentscheidende Situationen ein immer höherer Stellenwert zukommt (vgl. Faude, Koch & Meyer 2012; Haugen, Tonnessen & Seiler 2013). Auch in der Betrachtung der Sprintlänge lässt sich ein wesentlicher Hinweis herausfiltern. Sprints über 5m bis 30m sind die am Häufigsten vorkommenden Distanzen in einem Spiel und demnach ist die Leistung in diesen Sprintdistanzen ein limitierender Faktor im konditionellen Profil eines Fußballspielers.

### 2.1.1 Einflussfaktoren im Linearsprint

Der Sprint ist ein koordinativ-anspruchsvolles, zyklisches Bewegungsmuster, das durch biomechanische (u.a. Schrittlänge und -frequenz), muskelphysiologische (u.a. Maximal- und Schnellkraft) und anthropometrische Eigenschaften (u.a. Körpergröße und -gewicht) determiniert wird (vgl. Korhonen et al. 2009).

Der Sprint wird allgemein in vier Phasen, die Startphase (initiale Beschleunigung), die Beschleunigungsphase, die Phase der maximalen Geschwindigkeit und die Phase der abnehmenden Geschwindigkeit unterteilt (vgl. Jones, Bezodis & Thompson 2009). Die Beschleunigungsphase kann je nach Sprinter bis zu 60m andauern (vgl. Lehmann & Voss 1997). DiPrampero et al. (2005) zeigen, dass die Beschleunigung beim Sprint auf die ersten Meter am höchsten ist. Bei mäßigen Sprintern kann diese nach 30m fast auf null abfallen.

Dies wird auch durch Berthoin et al. (2001) bestätigt, die bei Studenten nach maximal 50m, teilweise sogar nach 30m, keine Beschleunigung mehr erfassen. Gute Sprinter sind hingegen in der Lage, bis zur 15m-Marke auf über 8m/s zu beschleunigen. Die Beschleunigung fällt danach stetig ab (vgl. Delecluse et al. 2005). Der Beschleunigungsphase wird eine äußerst hohe Bedeutung zugesprochen, da sie die Grundlage für die weiteren Phasen bildet (vgl. Little & Williams 2005; Schiffer 2009). Dies zeigen auch Berthoin et al. (2001), die eine hohe Korrelation ( $r = -.79$  bis  $-.87$ ) der Beschleunigung in den ersten beiden Sekunden (s) eines Sprints mit den Zeiten bei 20m, 50m und 100m ermitteln. Auch die maximale Geschwindigkeit korreliert hoch ( $r = -.74$ ) mit der Zeit bei 20m. Coh, Milanovic & Kampmiller (2001) bestätigen diesen Ansatz ebenfalls und können zwischen Top-Sprintern und guten Sprintern Unterschiede in der Beschleunigung über 20m nachweisen.

Innerhalb eines Sprintschrittes kommt es zu einer weiteren Unterteilung. Ein Sprintschritt wird in „support phase“, „drive phase“ und „recovery phase“ unterteilt (siehe Abb. 2; vgl. Lehmann & Voss 1998). Die „support phase“ beschreibt die Zeit vom Ende des Vorschwungs des Unterschenkels bis zum Mittelstütz. Die „drive phase“ wird vom Mittelstütz bis zum Anfersen des Stützbeins deklariert. Die „recovery phase“ vollzieht sich vom Anfersen bis zum Ende des Unterschenkelvorschwungs und stellt die Flugphase dar.

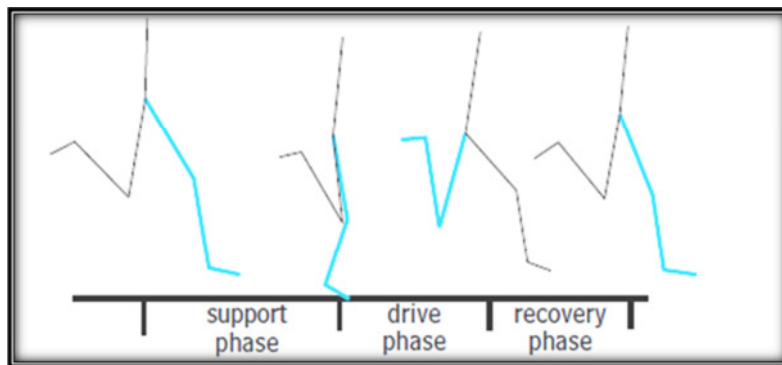


Abbildung 2: Unterteilung der Bewegungsphasen in einem Sprintschritt (nach Connolly 1991 in Lehmann & Voss 1998)

In einer Sprintbewegung haben die beanspruchten Muskeln zwei Hauptaufgaben, zum einen den Körper in horizontaler Richtung maximal zu beschleunigen, zum anderen vertikal gegen die Schwerkraft zu arbeiten (vgl. Wiemann & Tidow 1995). Demnach ist eine gute Sprintleistung von einer hohen horizontalen Körperschwerpunkt(KSP)-Geschwindigkeit abhängig (vgl. Lehmann & Voss 1998). Für eine Kraftwirkung in horizontaler und vertikaler Richtung benötigt ein Sportler beim Sprint den Bodenkontakt. Es bedarf mindestens 80ms



Bodenkontakt, um eine entsprechende Beschleunigung zu erzielen (vgl. Wiemann & Tidow 1995). Den Knie- und Hüftextensoren wird dabei in der Druckphase am Ende des Bodenkontakts ein hoher Einfluss auf den horizontalen Vorwärtsschub zugesprochen. Demnach sind diese Muskeln gerade in der Beschleunigungsphase nach dem Start durch den nach vorne gebeugten Oberkörper von hoher Bedeutung, da sie in dieser Phase die höchste Wirkung erzielen. Dies zeigen auch Ilbeigi & VanGheluwe (2011) in einer Elektromyogramm(EMG)-Untersuchung, in der zu Beginn des Sprints sowohl der m. rectus femoris als auch der m. gastrocnemius stark erhöhte Frequenzmuster aufweisen. Wichtig für die Druckphase ist dabei eine Vermeidung der kompletten Streckung im Knie, da es aufgrund des geringen Beschleunigungsweges durch den schon sehr offenen Kniewinkel kaum noch Vorwärtstrieb gibt (vgl. Schiffer 2009). Hier soll der Fokus darauf gelegt werden, mit dem Bein frühzeitig in die Vorwärtsbewegung zu kommen. Je aufrechter der Oberkörper im Sprint wird, desto weniger Kraft können die Knieextensoren entfalten. Dies resultiert aus dem Verschieben des KSP nach hinten und damit verbunden einer geringeren Druckphase (siehe Abb. 3). In der Phase des Bodenkontakts spielen die Knieextensoren in Höhe des KSP dennoch bei einem aufrechten Oberkörper eine nicht unbedeutende Rolle. Dies können Chumanov et al. (2012) über eine erhöhte EMG-Aktivität des m. rectus femoris nachweisen. In der Phase des Sprints, in der der Oberkörper eine aufrechte Stellung einnimmt, obliegt den Knieflexoren und Hüftextensoren eine höhere Bedeutung, da sie mit dem Aufsatz des Fußes auf den Untergrund wirken, wenn der Fuß nach hinten gezogen wird (vgl. Wiemann & Tidow 1995). Dies zeigen auch Ilbeigi & VanGheluwe (2011) in einer erhöhten EMG-Aktivität des m. biceps femoris und des m. gluteus maximus. Demnach sind die Knie- und Hüftextensoren sowie die Knie- und Hüftflexoren von entscheidender Bedeutung für die Sprintleistung. Bei der Analyse auffälliger Unterschiede in den Bewegungsausführungen zwischen Top-Athleten und mittelmäßigen Sprintern zeigen sich bei den Top-Athleten eine höhere Hüftstreckgeschwindigkeit sowie eine geringere Kniewinkelveränderung in der Stützphase (vgl. Lehmann & Voss 1997). Dies erweisen schon Analysen der 200m-Sprints bei den Olympischen Spielen 1984. Höhere Geschwindigkeiten der unteren Extremitäten beim Bodenkontakt führen zu höheren Laufgeschwindigkeiten (vgl. Mann & Heman 1985). Hierbei wird der Effekt des Dehnungsverkürzungs-Zyklus (DVZ) genutzt, bei dem durch hohe Bewegungsgeschwindigkeiten und Vorinnervation der Muskulatur zusätzliche Energie eingesetzt werden kann, um höhere Kraftwerte in einem geringeren Zeitraum generieren zu können (siehe Kap. 2.2.4). Diesen Effekt des DVZ können auch Chumanov et al. (2012) zeigen, die mittels EMG-Messung eine erhöhte Muskelaktivität der Hüftextensoren in der

Phase vom Schwingen des Beins nach vorne bis zum Bodenkontakt ermitteln. Der DVZ-Effekt erhöht sich mit der Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit. Schache et al. (2011) zeigen in einer Untersuchung ebenfalls mit steigender Geschwindigkeit einhergehende höhere Belastungen auf die Muskulatur. Dies resultiert unter anderem aus dem DVZ. Für die Hüftflexoren und –extensoren können höhere Belastungen während des Beinschwingens gezeigt werden, für die Knieextensoren und Fußextensoren wiederum während des Bodenkontakts (vgl. Schache et al. 2011).

Der Zeitraum des Bodenkontakts ist die einzige Möglichkeit der aktiven Beschleunigung während des Sprints und damit der horizontalen Geschwindigkeitszunahme des KSP (siehe Abb. 4, vgl. Schiffer 2009). In der Flugphase hingegen kann der Athlet nicht aktiv beschleunigen. Dadurch kommt es zu einem Abfall der horizontalen Geschwindigkeit des KSP. Für Coh, Tomazin & Stuhec (2006) ist das Verhältnis des Zeitraums zwischen Bodenkontaktphase und Flugphase daher entscheidend für den Geschwindigkeitszuwachs bei einem Sprint. Kippt das Verhältnis zu Ungunsten der Bodenkontaktphase, kommt es zu einer nur noch geringen oder zu keiner horizontalen Geschwindigkeitssteigerung des KSP. Daher ist ein positives Verhältnis für die Bodenkontaktphase während eines Sprints möglichst lange aufrecht zu erhalten (vgl. Coh & Tomazin 2006).

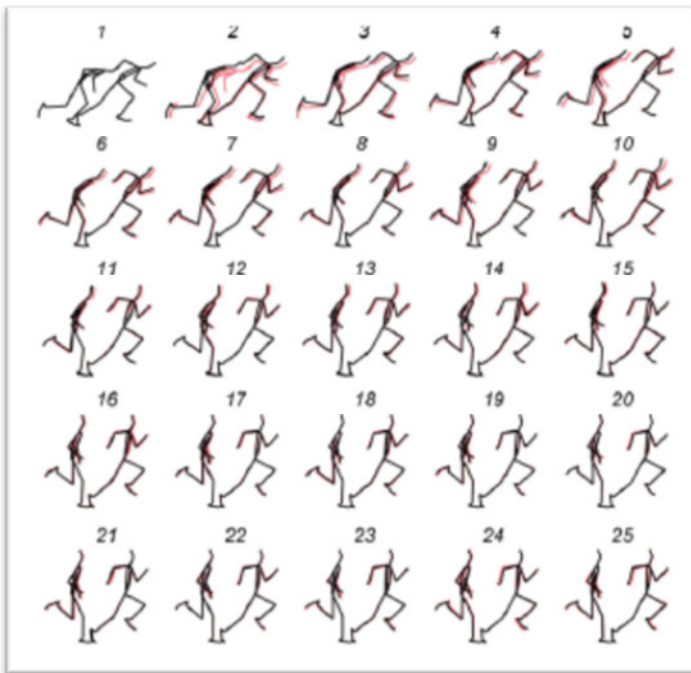


Abbildung 3: KSP-Verschiebung auf die ersten 25 Schritte bei einem Sprint (nach Nagahara et al. 2014)

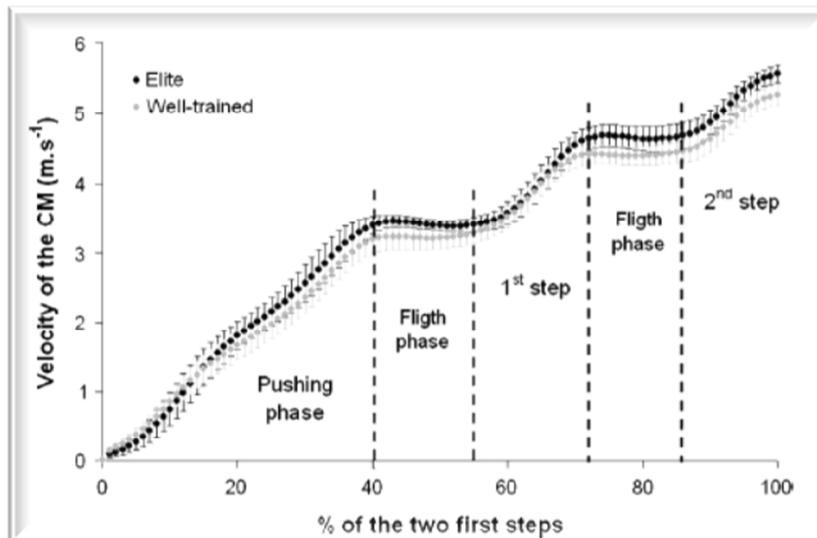


Abbildung 4: Horizontaler Geschwindigkeitsverlauf des KSP (CM) während der ersten Phase im Sprint (nach Slawinski et al. 2010)

Trotz der nur geringen Möglichkeit des Beschleunigungszeitraums während des Bodenkontakts können Ciacci, DiMichele & Merni (2010) zeigen, dass es in der Stützphase erst nach etwa 50% des Zeitraums zu einer positiven Beschleunigung des horizontalen KSP kommt. Dies resultiert aus der Bremsphase, da der Fuß beim Aufsetzen meist kurz vor dem KSP liegt, bevor durch die Zugsbewegung des Beines ein Beschleunigungsimpuls erzeugt wird. Wird der Fuß zu weit vor dem KSP aufgesetzt, wirkt dies leistungslimitierend (vgl. Nagahara et al. 2014). Daher ist das Verhältnis zwischen Bremsimpuls und Beschleunigungsimpuls ebenfalls ein wesentlicher Faktor für den Sprint. Mero & Komi (1994) bestätigen diesen Ansatz, in dem sie neben der hohen Bedeutung eines horizontalen Impulses im Sprint auch einen geringen abbremsenden Impuls beim Aufsetzen des Fußes nennen. Der Beschleunigungsimpuls, der durch die Geschwindigkeit der unteren Extremitäten und die Höhe des Kraftstoßes erzeugt wird, sollte immer größer sein als der Bremsimpuls während des Bodenkontakts. Kawamori, Nosaka & Newton (2013) zeigen diesbezüglich, dass der horizontale Beschleunigungsimpuls, nicht jedoch der vertikale Impuls, mit der Sprintzeit korreliert. Für die Beschleunigungsphase über die ersten 10m wird ein Koeffizient von  $r = -0.52$  zwischen dem Beschleunigungsimpuls und der Sprintzeit ermittelt. Für den Bremsimpuls wird hingegen kein Zusammenhang mit der Sprintzeit erfasst. Als objektiver Parameter für eine vertikale Beschleunigung wird die Distanzveränderung zwischen der Hüfte des Sportlers und dem Bodenuntergrund herangezogen (vgl. Myer et al. 2007). Diese sollte beim Sprint so gering wie möglich ausfallen.

Ausgehend von der Tatsache, dass nur der Zeitraum des Bodenkontakts für eine Beschleunigung des KSP gegeben ist, könnte die Annahme folgen, eine lange Bodenkontaktzeit für einen möglichst hohen Kraftstoß und damit verbunden einen hohen Beschleunigungsimpuls sei beim Sprint anzustreben. Kunz & Kaufmann (1981) konstatieren jedoch, dass kurze Kontaktzeiten wichtig für eine gute Sprintleistung sind. Eine Analyse der 200m-Sprints bei den Olympischen Spielen 1984 bestätigt diese Annahme, da die topplatzierten Sprinter neben höheren horizontalen Geschwindigkeiten geringere Kontaktzeiten aufweisen (vgl. Mann & Herman 1985). In einer Untersuchung von Lockie et al. (2011) wird diese Beobachtung ebenfalls bestätigt. Die besseren Sprintleistungen bei kürzeren Bodenkontaktzeiten liegen in den höheren Kraftanstiegen während des Bodenkontakts sowie dem kürzeren Zeitfenster bis zum maximalen Kraftanstieg begründet (vgl. Lockie et al. 2014). Demnach ist von einem besseren reaktiven Kraftverhalten auszugehen. Das reaktive Kraftverhalten kann daher als hohe Einflussgröße auf die Bodenkontaktzeit und die horizontale Beschleunigung während des Bodenkontakts eingestuft werden. Mehrere Untersuchungen zeigen, dass eine hohe horizontale Bodenreaktionskraft eine höhere Laufgeschwindigkeit zu einem gesetzten Zeitpunkt innerhalb des Sprints generiert (vgl. Hunter, Marshall & McNair 2005; Lockie et al. 2011; Mero & Komi 1986; Ricard & Veatch 1994; Sleivert & Taingahue 2004). Horizontale Bodenreaktionskräfte werden als wichtiger für die Geschwindigkeitsentwicklung eingestuft als vertikale Bodenreaktionskräfte (vgl. Randell et al. 2010). Auch Hunter, Marshall & McNair (2004) sind dieser Überzeugung und geben an, dass hohe horizontale Bodenreaktionskräfte für hohe Schrittfrequenzen sowie Schrittlängen notwendig und vertikale Bodenreaktionskräfte zu vermeiden sind. Demnach ist auch die Höhe der horizontalen Bodenreaktionskraft als leistungslimitierend einzustufen.

Die Bodenkontaktzeit steht im engen Zusammenhang mit der Schrittlänge und der Schrittfrequenz als Einflussgrößen auf eine Sprintleistung. Daher wird diesen technischen Elementen des Sprintverhaltens eine hohe Bedeutung für die koordinativ anspruchsvolle motorische Aufgabe beigemessen, gerade im Verlauf eines Sprints nach der ersten Beschleunigungsphase. Mit steigender Geschwindigkeit kommt es zu kürzeren Bodenkontaktzeiten mit der Folge geringerer erzeugter Kraftstöße auf den Untergrund (vgl. Coh & Tomazin 2006; Farley & Gonzalez 1996). Es wird gezeigt, dass sich die Bodenkontaktzeit vom ersten Schritt mit 0,18s bis zum zehnten Schritt mit 0,09s um etwa 50% reduziert (vgl. Coh & Tomazin 2006). Um bei geringerer Bodenkontaktzeit in der

Summe der vortriebswirksamen Leistung eine Steigerung zu erzielen, muss die Anzahl der Bodenkontakte auf einer definierten Strecke erhöht werden (vgl. Farley & Gonzalez 1996). Gute Sprinter erhöhen daher die Schrittfrequenz bei Erhöhung der Geschwindigkeit und kürzeren Kontaktzeiten, schwächere Sprinter hingegen zeigen höhere Kontaktzeiten bei geringerer Schrittfrequenz und geringerer Bewegungsgeschwindigkeit im Hüftgelenk (vgl. Coh, Milanovic & Kampmiller 2001; Nagahara et al. 2014). Chatzilazaridis, Panoutsakopoulos & Papaiakevou (2012) zeigen zwischen der Laufgeschwindigkeit und der Schrittfrequenz sogar Zusammenhänge von  $r = .86$ . Neben der Schrittfrequenz steigt bei Erhöhung der Laufgeschwindigkeit auch die Schrittlänge an (vgl. Coh & Tomazin 2006). Nagahara et al. (2014) zeigen bei einem 60m Sprint über die komplette Distanz eine Steigerung der Schrittlänge. Dass sowohl die Schrittlänge als auch die Schrittfrequenz einen hohen Einfluss auf die Sprintleistung nimmt, zeigen Myer et al. (2007) mit hohen Korrelationen zwischen der Sprintzeit über 10m und der Schrittfrequenz bzw. der Schrittlänge von  $r = -.82$  bzw.  $-.79$  bei einer 67%igen Varianzaufklärung. Da beide Faktoren nicht gleichzeitig bis zum Maximum zu erhöhen sind, weil sie bei hoher Geschwindigkeit äquivalent verlaufen (vgl. Hunter, Marshall & McNair 2004), wird in diesem Zusammenhang von einem individuellen Optimum gesprochen (vgl. Kunz & Kaufmann 1981; Randell et al. 2010). Salo et al. (2011) zeigen bei Elitesprintern, dass sowohl die Schrittfrequenz als auch die Schrittlänge mit der Endzeit in einem Sprint korreliert. Der wichtigere Faktor der beiden kann allgemein nicht genannt werden. Hier spielt vielmehr die individuelle Gestaltung des Sprints eine Rolle. Einige Sprinter beschleunigen über höhere Schrittfrequenzen, andere über höhere Schrittlängen. So zeigt die Analyse von Mann & Herman (1985) bei den topplatzierten Sprintern höhere Schrittfrequenzen. Lockie et al. (2011) stellen hingegen fest, dass sich schnelle Sprinter von langsamen Sprintern nicht in der Schrittfrequenz oder Schrittlänge unterscheiden. Wichtig bei der Betrachtung dieser beiden Parameter ist letztlich ein Anstreben einer stetigen Steigerung einer der beiden Faktoren ohne Abfall des jeweils anderen Faktors (vgl. Randell et al. 2010). Dies zeigen Kobayashi et al. (2007) bei Top-Sprintern, die durch eine Erhöhung der Schrittlänge bei gleicher Schrittfrequenz eine Erhöhung der Laufgeschwindigkeit generieren. Allerdings ist darauf zu achten, dass es nicht zu einer Überdimensionierung einer der beiden Parameter kommt, da sich dies leistungslimitierend auswirken kann. Schiffer (2009) beschreibt gleiches für die Schrittlänge, die den sogenannten Stemmschritt mit einer hohen Bremswirkung auslösen kann, wenn sie zu groß gewählt wird. Sowohl die Schrittfrequenz als auch die Schrittlänge wird von zahlreichen biomechanischen

## 2 Theoretische Grundlagen

Einflussfaktoren bestimmt (siehe Abb. 5 und Abb. 6), die wiederum von muskelphysiologischen und anthropometrischen Parametern beeinflusst werden.

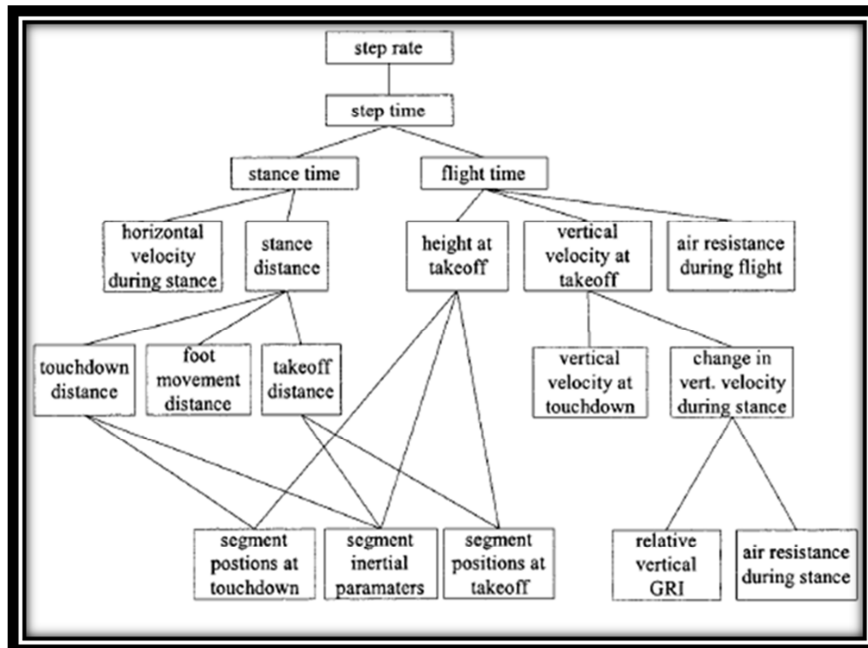


Abbildung 5: Biomechanische Einflussfaktoren der Schrittfrequenz bei einem Sprint (nach Hunter, Marshall & McNair 2004)

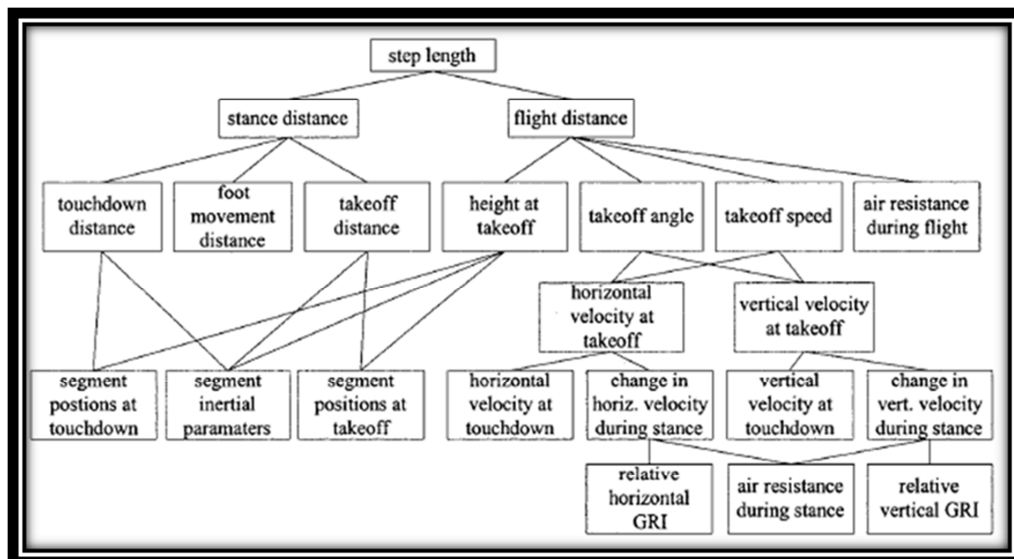


Abbildung 6: Biomechanische Einflussfaktoren der Schrittlänge bei einem Sprint (nach Hunter, Marshall & McNair 2004)

Die muskelphysiologischen und anthropometrischen Eigenschaften eines Sprinters sind von hoher Bedeutung für die Technikgestaltung im Sprint. Eine Steigerung der Schrittlänge kann durch eine Erhöhung der horizontalen und vertikalen Bodenreaktionskräfte impliziert werden (vgl. Hunter, Marshall & McNair 2004). Diese wiederum werden nach Kale et al. (2009)

durch muskelphysiologische Eigenschaften eines Sportlers beeinflusst. Entscheidend für die positive Gestaltung des Geschwindigkeitsverlaufs ist unter anderem die vertikale Steifigkeit des Beins. Diese erhöht sich mit der Erhöhung im Geschwindigkeitsbereich, da die Bodenreaktionskräfte ebenfalls steigen (vgl. Arampatzis, Brüggemann & Metzler 1999; Ross, Leveritt & Riek 2001). Kobayashi et al. (2007) können nachweisen, dass eine erhöhte vertikale Steifigkeit des Beines und die Laufgeschwindigkeit einen mittleren bis hohen Zusammenhang bilden. Von außen betrachtet ist in der Phase des Bodenkontakts ein Nachgeben im Knie- oder Sprunggelenk ein deutlicher Hinweis auf eine nicht ausreichende vertikale Steifigkeit des Beines, was sich leistungsmindernd auswirkt (vgl. Nagahara et al. 2014). Die Steifigkeit wird durch die morphologischen und neurophysiologischen Eigenschaften des Muskel-Sehnen-Apparats bestimmt. Kumagai et al. (2000) zeigen in einem Vergleich von langsamen ( $> 11s$ ) und schnellen ( $< 11s$ ) Sprintern, dass schnellere Sprinter höhere Muskelquerschnitte der Oberschenkel- und Wadenmuskulatur aufweisen. Weiterhin können bei schnelleren Sprintern längere Fibrillenbündel sowie geringere Fiederungswinkel in der Muskulatur nachgewiesen werden (vgl. auch Lee & Piazza 2009). Dabei ergibt sich ein hoher positiver Zusammenhang ( $r = .70$  bis  $.77$ ) zwischen dem Muskelquerschnitt und der Fibrillenlänge in den jeweiligen Muskeln. Hingegen können Karamanidis et al. (2011) in einer homogenen Sprintergruppe keine Unterschiede in der Fibrillenlänge und dem Fiederungswinkel der Oberschenkelmuskulatur nachweisen. Dennoch zeigt sich ein mittlerer Zusammenhang ( $r = .42$ ) zwischen der Laufgeschwindigkeit und dem Fiederungswinkel der Wadenmuskulatur. Auch Stafilidis (2006) stellt bei homogenen Sprintergruppen keine Unterschiede in Fiederungswinkel, Dehnungsfähigkeit des Muskels oder Muskel- und Sehnenstärkung fest. Sogar in der EMG-Aktivität ist kein Unterschied zu erkennen. Nimphius, McGuigan & Newton (2012) beobachten, dass der Muskelumfang des Oberschenkels und die Sprintzeit über 17m ( $r = -.80$ ) und über 35m ( $r = -.55$ ) mittel bis hoch korrelieren. Auch Kubo et al. (2011) bestätigen dies in einer Untersuchung anhand einer ermittelten mittleren Korrelation ( $r = -.61$ ) zwischen Muskelquerschnitt im Oberschenkel und der Sprintzeit über 100m. Kumagai et al. (2000) zeigen zusätzlich eine mittlere Korrelation ( $r = -.42$ ) zwischen Muskelumfang der Wadenmuskulatur und der Sprintzeit. Neben dem Muskelquerschnitt wird auch der Muskelfaserverteilung ein leistungslimitierender Charakter für den Sprint zugesprochen. Ein hoher Anteil an Typ II Fasern ist bei Sprintern von Vorteil, da sie die Fähigkeit besitzen, schneller zu kontrahieren (vgl. Schiffer 2009). Demnach sind die morphologischen Eigenschaften Muskelquerschnitt und Sehnensteifigkeit als leistungslimitierend für eine Sprintleistung zu betrachten. Für die strukturellen Ausprägungen

innerhalb eines Muskels kann hingegen keine eindeutige Aussage getroffen werden. Auch für den leistungslimitierenden Charakter der Muskelfaserverteilung auf die Sprintleistung fehlen evidente empirische Belege.

Zu den muskelphysiologischen, leistungslimitierenden Faktoren für die Erzeugung von horizontalen und vertikalen Bodenreaktionskräften zählt auch das Maximal- und Schnellkraftniveau. Dies bestätigen Slawinski et al. (2010), die bei Top-Sprintern höhere Maximal- und Explosivkraftwerte beobachten als bei guten Sprintern. Gerade in der Beschleunigungsphase sind die Maximalkraft und die Explosivkraft als Schnellkraftparameter von hoher Bedeutung (vgl. Young et al. 2001). Dies resultiert aus den längeren Bodenkontaktzeiten auf den ersten Metern gegenüber späteren Sprintphasen (vgl. Babic, Coh & Dizdar 2011; Young et al. 2001). Durch die längeren Bodenkontaktzeiten kann eine Kraftübertragung auf den Untergrund besser gewährleistet werden, da sich die Kraft, mit der der Sportler auf den Boden wirkt, erhöht. Demzufolge werden für die Beschleunigungsphase zur Geschwindigkeitsentwicklung höhere Bodenkontaktzeiten benötigt, um entsprechende horizontale Kräfte erzeugen zu können. Dies zeigt sich schon während der ersten beiden Schritte in einem Sprint. Top-Sprinter sind in der Lage, schon nach zwei Schritten höhere Geschwindigkeiten durch höhere Kraftimpulse zu generieren als gute Sprinter (vgl. Slawinski et al. 2010). Dies wird auf das Schnellkraftniveau zurückgeführt. Auch Chaouachi et al. (2009) zeigen mit einem mittleren bis hohen Zusammenhang zwischen dem horizontalen 5er-Sprungtest und dem Linearsprint, dass das Schnellkraftniveau für die horizontalen Kraftimpulse wichtig ist. Den hohen Einfluss der Schnellkraft auf die Sprintleistung zeigen ebenso Marques et al. (2011) mit einem mittleren bis hohen Zusammenhang zwischen der 5m Sprintleistung und der Beschleunigungszeit beim Countermovement Jump (CMJ), der als Indikator für das Schnellkraftverhalten gilt. Cronin & Hansen (2005) beobachten mittlere Korrelationen zwischen dem Sprint über 5m, 10m sowie 30m und der vertikalen Sprunghöhe (vgl. auch Chaleh, Fatemi & Shahasavar 2012; Nesser et al. 1996). In einer Untersuchung von Lockie et al. (2011) werden sogar Korrelationen von  $r = .71$  zwischen der Laufgeschwindigkeit über 10m und der vertikalen Sprungleistung ermittelt. Auch für den maximalen Geschwindigkeitsbereich hat die Schnellkraft einen Einfluss auf die Leistung. Dies zeigen Kale et al. (2009) in einer Untersuchung, in der mittlere Korrelationen zwischen der 100m Sprintleistung und dem vertikalen Sprung beobachtet werden. Meylan & Malatesta (2009) führen weiter in einer Längsschnittuntersuchung an, dass ein schnellkraftorientiertes Sprungtraining über acht Wochen die Sprintleistung in der Beschleunigungsphase steigern



kann. Nach der Intervention zeigen die Sportler eine verbesserte Sprintleistung über 10m. Daher muss die neuronale Ansteuerung der Muskulatur optimal ausgebildet sein, um das vorhandene muskuläre Potential im Sprint vollständig nutzen zu können. Schiffer (2009) und Ross, Leveritt & Riek (2001) erörtern die neuronale Ansteuerung als limitierend für die Schrittfrequenz und die Schrittlänge bei einem Sprint. Dies wird durch eine Untersuchung von Chumanov et al. (2012) bestätigt, die eine erhöhte Muskelaktivität bei einer Erhöhung der Schrittfrequenz zeigt. Ein hohes Niveau der neuronalen Ansteuerungsmechanismen ist für den Sprint daher von hoher Bedeutung (vgl. Ross, Leveritt & Riek 2001). Der DVZ ist in Bezug auf die neuronale Ansteuerung beim Sprint der leistungslimitierende Faktor. Während der Geschwindigkeitszunahme erhöht sich die Aktivierung der Muskulatur, die maßgeblich durch die Geschwindigkeit der Reizweiterleitung des Nervs bestimmt wird. Daher wird im Rahmen der neuronalen Ansteuerung vermutet, dass die nervale Reizweiterleitung bei sehr guten Sprintern höher ist (vgl. Ross, Leveritt & Riek 2001). Neben dem Schnellkraftniveau muss auch das Maximalkraftniveau und damit eine gut entwickelte Muskulatur vorhanden sein (vgl. Young et al., 2001). Lockie et al. (2011) ermitteln diesbezüglich bei schnelleren Sprintern höhere Kraftwerte in den unteren Extremitäten. Den Einfluss der Maximalkraft auf die Sprintleistung verdeutlichen mehrere Untersuchungen, in denen ein mittlerer bis hoher Zusammenhang zwischen verschiedenen Kraftmessungen und Sprintleistungen zu finden ist. Bissas & Havenetididis (2008) stellen mittlere bis hohe Zusammenhänge ( $r = .73$ ) zwischen einer isometrischen Kraftmessung und der maximalen Laufgeschwindigkeit über 35m fest (vgl. auch Young, McLean & Ardagna 1995). Lockie et al. (2011) weisen dies für die Sprintstrecke von 10m nach. Dowson et al. (1998) kommen zu ähnlichen Ergebnissen mit konzentrischen Maximalkraftmessungen und Sprintzeiten über 15m ( $r = .51$ ) bzw. 30m ( $r = .68$ ) (vgl. auch Kukolj et al. 1999). In Untersuchungen mit konzentrischen Maximalkraftmessungen zeigen sich sogar Korrelationen von bis zu  $r = .80$  mit der Startleistung über die ersten 30m (vgl. Cotte & Chatard 2011). Hori et al. (2008) weisen zwischen dem Einer-Wiederholungs-Maximum (1RM) der Frontkniebeuge und der 20m Sprintzeit ebenfalls mittlere bis hohe Zusammenhänge ( $r = .60$ ) nach. Auch zwischen dem 1RM der Nackenkniebeuge und der Sprintleistung über 5m, 15m und 30m werden mittlere Zusammenhänge ( $r = .45$  bis  $.94$ ) gezeigt (vgl. Chaouachi et al. 2009; McBride et al. 2009; Requena et al. 2009; Sleivert & Taingahue 2004; Wisloff et al. 2004). Nimphius, McGuigan und Newton (2010) zeigen in einem Dreier-Wiederholungs-Maximum (3RM) hohe Korrelationen ( $r = .84$  bis  $.87$ ) zu Sprintzeiten über 20m und 30m. Brechue, Mayhew & Piper (2010) untersuchen den Parameter des am Körpergewicht relativierten 1RM in der Kniebeuge

mit dem Sprint über 20m, da beim Sprint das Körpergewicht beschleunigt werden muss. Sie ermitteln einen mittleren Zusammenhang von  $r = -.57$ . Auch Baker & Nance (1999) finden mittlere bis hohe Korrelationen ( $r = -.39$  bis  $-.66$ ) zwischen dem 3RM in der Tiefkniebeuge am Körpergewicht relativiert und der Sprintleistung über 10m bzw. 40m. Comfort et al. (2014) weisen bei krafttrainingserfahrenen 17-jährigen Fußballspielern, die vier bis fünf TE Fußball und zwei TE Krafttraining absolvieren, Korrelationen von  $r = -.60$  zwischen der 5m Sprintleistung und dem 1RM in der Kniebeuge sowie Korrelationen von  $r = -.65$  zwischen der 20m Sprintleistung und dem 1RM in der Kniebeuge nach. Diese Untersuchungen zeigen demnach einen deutlichen Einfluss der Maximalkraft auf die Beschleunigungsphase im Sprint.

In Bezug auf die Sprintleistung haben anthropometrischen Faktoren ebenso einen Einfluss. Die Beinlänge wird als leistungslimitierender Faktor für die Schrittfrequenz und für die Schrittlänge bezeichnet (vgl. Schiffer 2009). Weiter zeigen Chatzilazaridis, Panoutsakopoulos & Papaiaikovou (2012) zwischen der Schrittlänge bezogen auf die Körpergröße und der Sprintzeit schon auf den ersten 10m Zusammenhänge von  $r = -.64$  bis  $-.72$ . Ostojic (2003) weist zudem eine hohe Korrelation ( $r = .98$ ) zwischen Sprintzeiten über 50m und dem Körperfettanteil nach. Auch Brechue, Mayhew & Piper (2010) beobachten mittlere bis hohe positive Zusammenhänge ( $r = .70$  bis  $.74$ ) zwischen dem Körpergewicht und der Sprintzeit. Im Sprintbereich der Beschleunigungsphase sind zwischen dem Körpergewicht und der Geschwindigkeit im 10m Sprint bzw. 20m Sprint Zusammenhänge von  $r = .56$  bzw.  $.57$  erkennbar. Perez-Gomez et al. (2008) zeigen den höchsten Einfluss des Körpergewichts auf die 30m Sprintzeit mit  $r = .80$  bei einer Varianzaufklärung von 63%. Da diese Querschnittsuntersuchung mit 123 Frauen und Männern durchgeführt worden ist, kann sogar von einer hohen Aussagekraft gesprochen werden. Demnach ist ein hohes Körpergewicht, bedingt durch einen hohen Körperfettanteil, ungünstig für die Sprintleistung. Weiter führen entwicklungsbedingte Körpergrößenveränderungen zu Verbesserungen von Sprintleistungen im Altersverlauf vom Kindes- bis zum Erwachsenenalter (vgl. Papaiaikovou et al. 2009). Dies wird unter anderem durch die Längenzunahme der unteren Extremitäten begründet, wodurch höhere Schrittlängen gewährleistet sind. Demnach gilt es, die Sprintleistung unter Bezug des Kindes- und Jugendalters besonders zu betrachten, da neben den bereits aufgeführten Einflussfaktoren zusätzlich eine entwicklungsbedingte Komponente einen Einfluss ausübt (vgl. Malina et al. 2004). Oliver, Lloyd & Rumpf (2013) zeigen diesbezüglich einen hohen Einfluss der biologischen Entwicklung auf die Sprintleistung. Erklärt wird dies mit dem

Einsetzen der Pubertät. Gravina et al. (2008) stellen diesbezüglich bei jungen Fußballspielern im Alter von 10 bis 14 Jahren einen mittleren Zusammenhang ( $r = -.34$ ) zwischen einem 30m Sprint und dem Testosteronspiegel fest. Demnach wird die Leistung durch die biologische Entwicklung auf hormoneller Ebene positiv beeinflusst. Einen Hinweis darauf geben auch Ilbeigi & VanGheluwe (2011), die bei jugendlichen Sprintern zwischen 13 Jahren, 15 Jahren und 17 Jahren stark abweichende Muskelmassenverhältnisse beobachten. Dies zeigt sich vor allem bei den Umfängen des Oberschenkels und der Wade. Auch die vertikale Beinsteifigkeit, die einen hohen Einfluss auf horizontale Bodenreaktionskräfte hat und damit vortriebswirksam ist, steigt entwicklungsbedingt in der Pubertät kontinuierlich an (vgl. Lloyd et al. 2011). Malina et al. (2007) beobachten einen positiven Einfluss der Körpergrößenentwicklung auf die Sprintleistung bei 14-jährigen Fußballspielern. Allerdings können durch die hohen Wachstumsraten im pubertären Altersbereich die koordinativen Muster, die für den Sprint wichtig sind, auch gestört werden (vgl. Philippaerts et al. 2006). Hingegen beeinflusst das Längenwachstum der unteren Extremitäten die Schrittlänge positiv. Hier zeigen Chatzilazaridis, Panoutsakopoulos & Papaiakevou (2012) in einer vergleichenden Analyse zwischen 12-, 17- und 23-jährigen Sprintern, dass es in den jeweiligen Altersbereichen große Unterschiede in der Lauftechnikgestaltung gibt. Die 12-jährigen Sprinter zeigen gegenüber den anderen beiden Altersgruppen geringere Schrittfrequenzen und -längen. Dies ist auf die geringere Körpergröße und das geringere Kraftniveau zurückzuführen, das letztlich einen starken Leistungsabfall nach 20m generiert. Auch zwischen den 17-jährigen und den 23-jährigen Sprintern kommt es zu Unterschieden. Diese zeigen sich lediglich in der Schrittlänge nach 20m, in der Schrittfrequenz hingegen werden keine Unterschiede beobachtet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die 17-jährigen Sprinter kaum noch Unterschiede in der Körpergröße zu den 23-jährigen Sprintern aufweisen. Jedoch ist das Kraftniveau zwischen diesen beiden Altersklassen unterschiedlich hoch. Für die Lauftechnik ist das vorhandene Kraftniveau demnach ein enorm wichtiger Faktor. Deshalb wird dem Krafttraining im pubertären Alter neben den entwicklungsbedingten Einflüssen zur Entwicklung des Sprints eine hohe Bedeutung zugesprochen (vgl. Oliver, Lloyd & Rumpf 2013). Da für den langfristigen Leistungsaufbau einer guten Sprintleistung etwa zehn bis zwölf Jahre Training mit unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten angesetzt werden müssen (siehe Abb. 7), erscheint ein Krafttraining zu einem früheren Zeitpunkt sinnvoll, um die bestmöglichen Rahmenbedingungen für die Sprinttechnik zu gewährleisten.

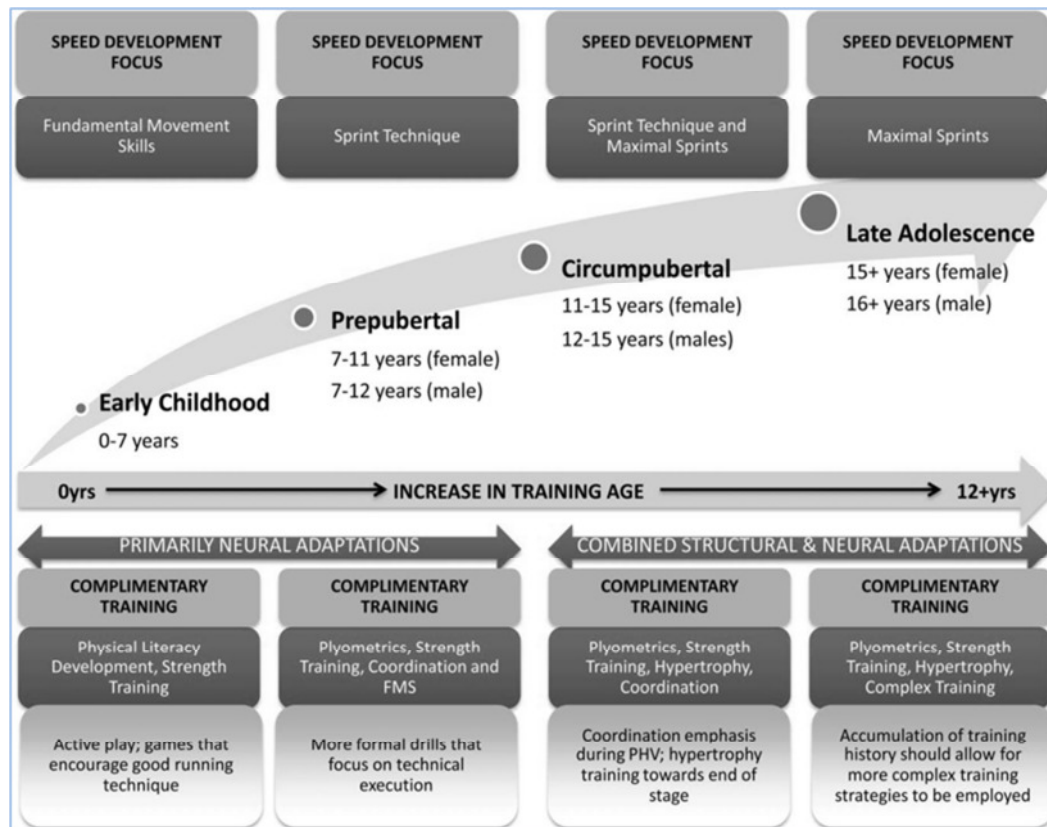


Abbildung 7: Etappen und Zeitintervalle für einen langfristigen Leistungsaufbau im Sprint (nach Oliver, Lloyd & Rumpf 2013)

Aufgrund der unterschiedlichen Sprintdistanzen (5m bis 105m) ist sowohl das Sprintantritsverhalten als auch die maximale Sprintgeschwindigkeit im Fußball ein leistungsdeterminierender Faktor (vgl. Schlumberger 2006). Dennoch gilt dem Antritt und der Beschleunigungsphase eine besondere Aufmerksamkeit, da es im Fußball meist zu kurzen Sprintdistanzen kommt und in einem Zweikampf oder Laufduell schon 30 Zentimeter (cm) bis 50cm Vorsprung ausreichen, um sich mit der Schulter oder dem Körper vor den Gegner zu setzen (Haugen et al. 2013). Dieser Vorsprung sollte so früh wie möglich erreicht werden. Auch wegen der ständigen Richtungswechsel durch Dribblings oder Passstafetten und damit verbunden des sofortigen Abbremsens und wieder Beschleunigens ist das Antritts- und Beschleunigungsverhalten von hoher Bedeutung. Für leistungsdiagnostische Maßnahmen im Sprint werden für Fußballspieler daher Empfehlungen für Tests bis 30m gegeben (vgl. Rehhagel 2011; Svensson & Drust 2005). Diese sollten mit 10m Abstufungen durchgeführt werden (vgl. Cone 2012). Svensson & Drust (2005) geben außerdem an, dass für den Fußball der fliegende Sprint ebenfalls als sinnvoll erachtet wird, da häufig aus dem Laufen heraus gesprintet wird.

Für den Sprinter gelten gegenüber dem Fußballspieler nahezu standardisierte Bedingungen bei der Ausführung der Sportart. Der Fußballspieler muss beim Sprint zusätzlich auf den Gegner und die Spielsituation achten. Demnach ist zwischen Spielsportlern und Sprintern von leichten Unterschieden beim Sprint auszugehen. So zeigen Brechue, Mayhew & Piper (2010), dass Fußballspieler gegenüber Sprintern schon nach 20m einen Abfall in der Geschwindigkeit verzeichnen. Damit ist eine weitere Beschleunigung nicht mehr gegeben. Sprinter hingegen können bis zu 60m beschleunigen. Weiter spricht Schlumberger (2006) von einem niedrigeren KSP bei Fußballspielern durch eine immer leicht gebeugte Haltung, die der sich ständig ändernden Spielsituationen geschuldet ist. Auch ist der Kniehub, der für eine große Schrittlänge notwendig ist, im Vergleich zu einem Sprinter wesentlich geringer. Lockie et al. (2013) zeigen bei Spielsportlern weiterhin, dass bei einem Sprint auf den ersten 5m bis 10m kürzere Bodenkontaktzeiten vorhanden sind als bei Sprintern. Auch zeigt sich, dass kürzere Bodenkontaktzeiten zu höherer Geschwindigkeit führen. Dies bestätigt die Untersuchung von Murphy, Lockie & Coutts (2003), die bei schnellen Spielsportlern kürzere Kontaktzeiten auf die ersten Meter finden als bei langsamen Spielsportlern. Bei Lockie et al. (2013) ergeben sich keine Korrelationen zwischen der Geschwindigkeit und der Schrittfrequenz sowie geringe Korrelationen zwischen der Geschwindigkeit und der Schrittlänge. Allerdings zeigen Murphy, Lockie & Coutts (2003), dass schnellere Spieler höhere Schrittfrequenzen aufweisen. Ebenso werden keine Korrelationen zwischen vertikalen bzw. horizontalen Bodenreaktionskräften und der Geschwindigkeit bzw. der Schrittlänge gefunden. Allerdings zeigen sich mittlere negative Korrelationen zwischen der vertikalen Bodenreaktionskraft und der Bodenkontaktzeit. Weiter stellen Murphy, Lockie & Coutts (2003) keine Unterschiede in Gelenkwinkeln zwischen schnellen und langsamen Spielern fest. Die horizontale Hüftgeschwindigkeit ist bei schnellen Spielern allerdings höher als bei langsamen Spielern. Treten im Fußball während eines Spiels Ermüdungserscheinungen auf, werden die koordinativen Laufparameter jedoch maßgeblich beeinflusst. Der Kniehub sowie die Winkelgeschwindigkeiten werden geringer, die Bodenkontaktzeiten länger (vgl. Trezise, Bartlett & Bussey 2011). Diese Ermüdungserscheinungen zeigen sich oft schon im Bereich von 80m bei einem 100m Sprint. In dieser Phase können Schrittfrequenz und Schrittlänge aufgrund der eintretenden Ermüdungserscheinungen nicht aufrechterhalten werden (Ross, Leveritt & Riek 2001). Das Resultat ist eine Abnahme der Geschwindigkeit. Hier hat das Leistungsniveau einen großen Einfluss auf den Zeitpunkt des Eintretens von Ermüdungserscheinungen. Der Leistungsunterschied zwischen Fußballspielern wird auch in der Sprintleistung über die ersten 10m, 20m bzw. 30m zwischen den Alters- und Spielklassen

durch das unterschiedliche Kraftniveau der Knieflexoren und –extensoren deutlich (vgl. Cometti et al. 2001). Hier weisen unter anderem Spieler aus Amateurlklassen geringere Kraftwerte als Profispieler auf. In Tabelle 1 (Tab.) sind exemplarisch Richtwerte aus der Literatur aufgeführt, die diese Unterschiede verdeutlichen. Gerade die Untersuchung von LeGall et al. (2010) zeigt bezüglich der Altersklassen Unterschiede, die bei 10m und 20m erkennbar sind. Auch Jakovljevic et al. (2012) zeigen zwischen 12-jährigen und 14-jährigen Basketballspielern altersbezogene Unterschiede im Linearsprint über 20m, 30m und 50m. Russell & Tooley (2011) bestätigen dies ebenfalls für den Altersbereich U16 bis U18. Im Hinblick auf die Unterschiede bezüglich der Spielklasse können einige Untersuchungen jedoch keine Unterschiede in verschiedenen Altersbereichen beobachten (vgl. Baker & Newton 2008; LeGall et al. 2010). Demnach ist in der Literatur nicht eindeutig zu erkennen, dass Profispieler im Fußball prinzipiell bessere Sprintwerte aufweisen. Hingegen ist der Einfluss des Alters auf die Sprintwerte deutlicher zu erkennen.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass sowohl Kraftkomponenten als auch technische Elemente eine wichtige Rolle in der Ausprägung der Sprintleistung einnehmen. Unter der Betrachtung des Anforderungsprofils im Fußball sind die Einflussfaktoren der Beschleunigungsphase als wichtig zu erachten. Demnach nimmt die Kraftkomponente einen höheren Stellenwert ein (vgl. Harrison 2010). Dabei sind sowohl morphologische als auch neuronale Einflussparameter von Bedeutung. Der Fokus beim Krafttraining sollte auf Übungen gelegt werden, die die gluteale und ischiocrurale Muskulatur sowie den m. rectus femoris trainieren, wie z.B. die Tiefkniebeuge oder das Kreuzheben (vgl. Schiffer 2009). Im Juniorenfußball kommt der entwicklungsbedingte Einfluss des Wachstums hinzu. Daher könnte neben dem Krafttraining die Durchführung eines Sprung- und Sprinttrainings zum besseren Transfer des erhöhten Kraftniveaus auf die Sprintleistung hilfreich sein (vgl. Harrison 2010; Lockie et al. 2014; Schiffer 2009; Turner & Stewart 2014). Dies beinhaltet jedoch keine Trainingsvarianten mit Zusatzlasten, da Bewegungsmuster im Sprint leistungsmindernd verändert werden können (vgl. Ropret et al. 1998). Auch Szymanski et al. (2010) weisen einen höheren Effekt bei Wurffleistung von Baseballspielern nach, wenn eine Kombination aus Krafttraining und Wurftraining durchgeführt werden. Dies zeigt, dass ein Krafttraining nicht durch ein sportartspezifisches Training zu ersetzen ist, sondern mit diesen Inhalten begleitet werden sollte.

## 2 Theoretische Grundlagen

Tabelle 1: Darstellung unterschiedlicher Sprintwerte aus den Sportsportarten bezüglich der Spielklasse und dem Altersbereich

Autoren	Klasse/Alter	Spielklasse	Sprintdistanz	Zeit (Sekunden)	Testdesign
Baker & Newton (2008)	Senioren (Rugby)	Profis	10m	1,61	k. A.
Baker & Newton (2008)	Senioren (Rugby)	Amateure	10m	1,60	k. A.
Boone et al. (2012)	Senioren	Profis	5m	1,43 – 1,48	Reaktionsstart
Cotte & Chatard (2011)	Senioren	Profis	10m	1,69	Stand, Fuß an Startlinie
			20m	2,94	
			30m	4,10	
LeGall et al. (2010)	C / 13 Jahre	Leistungszentrum	10m	1,95	Stand
			20m	3,32	
LeGall et al. (2010)	C / 14 Jahre	Leistungszentrum	10m	1,89	Stand
			20m	3,20	
LeGall et al. (2010)	B / 15 Jahre	Leistungszentrum	10m	1,85	Stand
			20m	3,12	
LeGall et al. (2010)	C / 13 Jahre	Amateure	10m	1,96	Stand
			20m	3,33	
LeGall et al. (2010)	C / 14 Jahre	Amateure	10m	1,89	Stand
			20m	3,22	
LeGall et al. (2010)	B / 15 Jahre	Amateure	10m	1,85	Stand
			20m	3,11	
Malina et al. (2004)	C / 14,3 Jahre	Leistungszentrum	30m	4,88	Stand
Rehagel (2011)	Senioren	Profis	10m	1,67	Stand, 50cm hinter Startlinie
			20m	2,94	
			30m	4,12	
Rehagel (2011)	C / 13 Jahre	Leistungszentrum	10m	2,00	Stand, 50cm hinter Startlinie
			20m	3,51	
			30m	4,98	
Russell & Tooley (2011)	C / 13 Jahre	Leistungszentrum	15m	2,45	Stand, Fuß an Startlinie
			30m	4,36	
Russell & Tooley (2011)	B / 15 Jahre	Leistungszentrum	15m	2,41	Stand, Fuß an Startlinie
			30m	4,22	
Russell & Tooley (2011)	A / 17 Jahre	Leistungszentrum	15m	2,37	Stand, Fuß an Startlinie
			30m	4,16	
Silva et al. (2013)	Senioren	Profis	5m	1,02	Stand, 30cm hinter Startlinie
			30m	4,2	
Vaeyens et al. (2006)	C / 13 Jahre	Leistungszentrum	30m	4,4	Stand
		Amateur	30m	4,7	
Vaeyens et al. (2006)	C / 14 Jahre	Leistungszentrum	30m	4,3	Stand
		Amateur	30m	4,5	
Vaeyens et al. (2006)	C / 15 Jahre	Leistungszentrum	30m	4,1	Stand
		Amateur	30m	4,4	
Vaeyens et al. (2006)	C / 16 Jahre	Leistungszentrum	30m	3,9	Stand
		Amateur	30m	4,0	

m = Meter; k.A. = keine Angaben

### 2.1.2 Einflussfaktoren im Sprint mit Richtungswechseln

Der Richtungswechselsprint ist ein Teil der im anglo-amerikanischen Raum beschriebenen „Agility“. Im Deutschen ist darunter die Wendigkeit, Flinkheit oder Gewandtheit zu verstehen

(vgl. Berschin & Hartmann 2011). Unter Agility wird allgemein eine Bewegung mit einer Geschwindigkeitsänderung oder Richtungsänderung verstanden, die als Antwort auf einen äußeren Reiz erfolgt (vgl. Brughelli et al. 2008). Der Richtungswechselsprint wird von einigen wichtigen Faktoren beeinflusst (siehe Abb. 8). Dabei spielen technische und anthropometrische Parameter sowie Kraftfähigkeiten und Schnelligkeitsparameter eine große Rolle (vgl. Sheppard & Young 2006). Der zweite Part der beschriebenen Agility, die Aktionen mit Entscheidungsfindung und Reaktionsbewegungen, soll an dieser Stelle vernachlässigt werden, ungeachtet davon, dass diese Aktionen eine Rolle im Fußball spielen. Allerdings gilt es in dieser Arbeit zu untersuchen, inwiefern der konditionelle Parameter des Richtungswechselsprints beeinflusst werden kann.

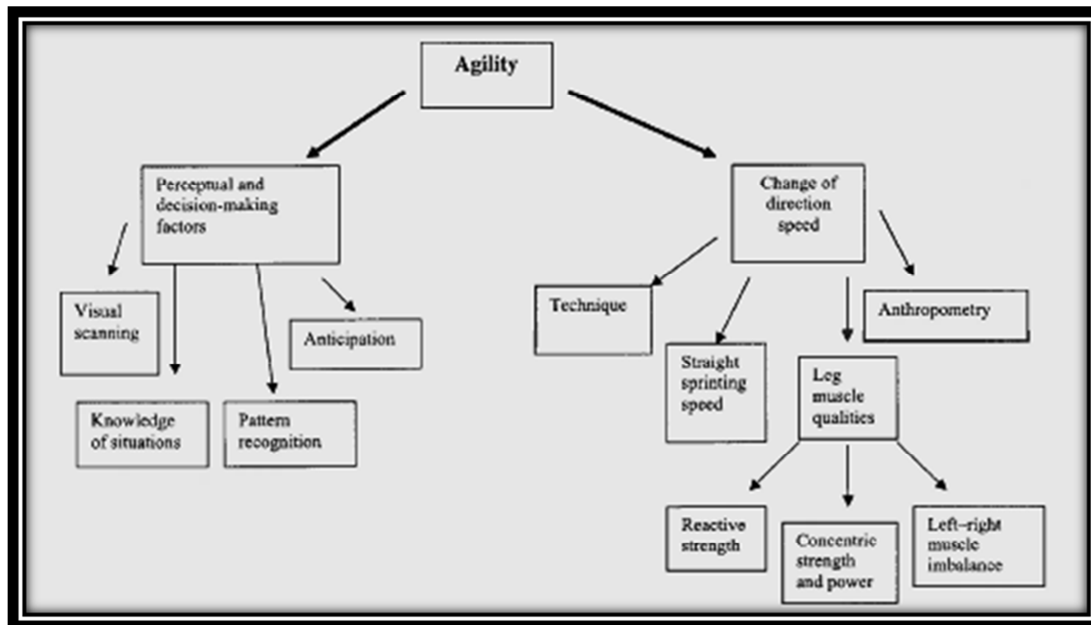


Abbildung 8: Einflussfaktoren des Richtungswechselsprints als ein Faktor des Überbegriffs „Agility“ (nach Sheppard & Young 2006)

Da das Sprintverhalten ein leistungslimitierender Faktor im Richtungswechselsprint ist, stellt sich die Frage, warum sich die Forschung und die Praxis gesondert mit diesem Thema beschäftigen. Dies erklärt sich durch die Annahme, dass der Linearsprint und der Richtungswechselsprint zwei unterschiedliche konditionelle Faktoren sind, die gesondert trainiert werden müssen. Hierzu zeigen diverse Untersuchungen, dass die Varianzaufklärung bei Zusammenhangsanalysen zwischen Richtungswechselsprints und Linearsprints geringer als 50% ist. Damit scheinen beide Faktoren unabhängig voneinander zu sein (vgl. Brughelli et al. 2008; Little & Williams 2005). Auch Rehhagel (2011) findet bei Fußballspielern unterschiedlicher Spielklassen nur geringe Korrelationen ( $r = .28$ ) zwischen dem Linearsprint



über 30m und einem Richtungswechselsprint über 10m mit einem Richtungswechsel (45°). Hingegen ermittelt er für den 10m Linearsprint und dem Richtungswechselsprint bei Spielern aller Alters- und Spielklassen mittlere Korrelationen bis  $r = .46$ . Dabei werden die höchsten Korrelationen bei den Juniorenspielern erfasst. Kapidzic et al. (2011) ermitteln bei einem 30m Linearsprint mit einem Zick-Zack Kurs bei sechs Richtungswechseln auf einer Strecke von 30m ebenfalls geringe Korrelationen. Auch Nimphius, McGuigan & Newton (2012) können nur geringe bis mittlere Korrelationen zwischen dem 505-Agility und dem Linearsprint über 18m ( $r = .13$ ) und 35m ( $r = .41$ ) finden. Hingegen können sie bei einem 20m Linearsprint mittlere Korrelationen ( $r = .55$  bis  $.57$ ) zum Richtungswechselsprint aufzeigen (vgl. auch Young, Miller & Talpey 2015). Swinton et al. (2014) ermitteln zwischen dem Linearsprint über 5m, 10m und 30m und dem 505-Agility-Test Korrelationen von  $r = .44$  bis  $.67$ . Wong, Chan & Smith (2012) beobachten sogar hohe Korrelationen ( $r = .70$ ) zwischen einem Linearsprint über 20m und einem Zick-Zack Kurs bei vier Richtungswechseln bei einem Winkel von 100° (vgl. auch Pettersen & Mathisen 2012). Demnach wäre die Annahme einer vom Linearsprint getrennten konditionellen Fähigkeit nicht zu halten. Da die Literatur eine evidente Aussage nicht zulässt, müssen die Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse erörtert werden. Bei der Testung eines Richtungswechsels werden auf internationalem Gebiet unzählige Varianten durchgeführt (vgl. Cone 2012). Es gibt viele sogenannte sportartspezifische und allgemeine Richtungswechseltests, mit und ohne Zusatzaufgaben, mit und ohne Reaktionszeit sowie mit verschiedenen Laufrichtungen. Unterscheiden lassen sich die Tests in der Anzahl der Richtungswechsel, der Laufrichtung und der zu absolvierenden Zeit (vgl. Brughelli et al. 2008). Dabei spiegeln einige Tests nicht nur die konditionellen Leistungsparameter wider, sondern beachten die gesamte Leistungsanforderung wie Reaktionsvermögen oder Entscheidungsfindungen über Zeitdruck. Ein Beispiel dafür geben Bullock et al. (2012), die in einem Agility-Test nicht nur das Reaktionsvermögen, sondern auch eine Zusatzaufgabe in Form eines Passes mit dem Innenriss integrieren. Mit einem solchen Test wird die Faktorenanzahl der leistungslimitierenden Parameter weit über die rein konditionellen Parameter erweitert. Svensson & Drust (2005) kommen zu dem Ergebnis, dass durch die hohe Anzahl an unterschiedlichen Tests eine Vergleichbarkeit nicht möglich ist. Manche Tests korrelieren mit Laufgeschwindigkeiten, andere hingegen mit der Beschleunigung. Selbst bei einem Vergleich zweier Agility-Tests (T-Test vs. ZigZag Agility Drill), die auf die konditionellen Faktoren reduziert sind, können nur mittlere Korrelationen von  $r = .56$  bis  $.71$  erfasst werden (vgl. Jakovljevic et al. 2012). Hachana et al. (2013) zeigen sogar nur geringe Korrelationen ( $r = .39$ ) zwischen dem T-Test und dem Illinois-Agility-Test.

Dies zeigt, dass selbst Testbatterien, die auf den ersten Blick das gleiche erfassen sollen, anscheinend nicht die gleichen konditionellen Parameter messen. Demnach muss im Vorfeld einer Untersuchung klargestellt werden, welches Ziel eine Testung des Richtungswechselsprints verfolgt. Sheppard & Young (2006) geben trotz widersprüchlicher Ergebnisse der Zusammenhangsanalysen zwischen dem Richtungswechselsprint und dem Linearsprint an, dass die Geschwindigkeit und damit die Leistungsfähigkeit im Linearsprint ein Einflussfaktor für die Leistung im Richtungswechselsprint ist. Dieser Einfluss ist stark von der Anzahl und der Winkelgröße der Richtungswechsel abhängig (vgl. Brughelli et al. 2008). Auch die Höhe der zu sprintenden Strecke kann als Einflussfaktor gelten (vgl. Sheppard & Young 2006). Es ist anzunehmen, dass der Einfluss der Linearsprintleistung höher ist, wenn der Richtungswechseltest ebenfalls über eine ähnliche Distanz absolviert wird (vgl. Kapidzic et al. 2011; Rehhagel 2011). Die Ergebnisse von Jones, Bampouras & Marrin (2009) zeigen mittlere bis hohe Korrelationen zwischen dem 505-Agility-Test und dem 5m Linearsprint. Hierbei ist die Sprintdistanz im Linearsprint zwar nicht hoch, aber der Richtungswechseltest ist aufgrund seines Aufbaus mit einem Richtungswechsel (180°) bei jeweils 5m Sprintdistanz dem Linearsprint ähnlich. Beide Testungen sind stark abhängig von Schnellkraftparametern, da die Distanzen sehr kurz sind (vgl. Young et al. 2001).

Eine weitere Einflussgröße des Richtungswechselsprints stellt die Technik in der Bewegungsausführung dar (vgl. Sheppard & Young 2006). Hier soll im Wesentlichen auf die Grundtechnik eingegangen werden, die notwendig ist, um eine gute Leistung im Richtungswechselsprint zu absolvieren. Prinzipiell wird dem Richtungswechselsprint aufgrund der hohen Beschleunigungen und Abbremsungen eine Ähnlichkeit zum Sprintstart zugesprochen (vgl. Sheppard & Young 2006). Entscheidend bei einem Test für den Richtungswechselsprint ist die Körpervorlage beim Antritt und während des Richtungswechsels. Beim Richtungswechsel ist ein tiefer KSP von Vorteil, um explosiv nach dem Abbremsen durch das Abdrücken des hinteren Fußes und der Körpervorlage einen vortriebswirksamen (horizontalen) Impuls zu erzeugen (vgl. Haugen et al. 2013; Sheppard & Young 2006). Beim Richtungswechsel soll darauf geachtet werden, dass der Oberkörper möglichst schnell in die Richtung gelegt wird, in die nach dem Richtungswechsel gesprintet wird. Gleichzeitig wird der gegenüberliegende Fuß in die neue Laufrichtung gesetzt (vgl. Haugen et al. 2013). Dabei spielt die Zeit für das Setzen des Fußes in Laufrichtung für die Leistung beim Richtungswechselsprint eine große Rolle (vgl. Bradshaw et al. 2011). Weiterhin ist die Schrittlänge geringer als bei einem Linearsprint, abhängig von der Länge der

Strecke bis zum Richtungswechsel. Zudem zeigen Hewitt, Cronin & Hume (2013) in einer Untersuchung, dass sich schnelle Sportler im Richtungswechselsprint von langsamen Sportlern in der Schrittfrequenz und der Schrittlänge unterscheiden. Dabei ist bei den schnellen Sportlern die Schrittfrequenz höher und die Schrittlänge geringer als bei den langsamen Sportlern. Dies zeigen auch Murphy, Lockie & Coutts (2003) bei Spielsportlern im Linearsprint. Die Technik wirkt sich gerade in der Betrachtung zwischen der dominanten und nicht dominanten Seite aus. Diesbezüglich zeigen Hart & Spiteri (2013) Leistungsdefizite von bis zu 8%. Allerdings gibt es für den Unterschied zwischen der dominanten und nicht dominanten Seite im Richtungswechselsprint kaum empirische Untersuchungen.

Sheppard & Young (2006) geben weiterhin ein hohes Kraftverhalten der Beinmuskulatur als Einflussfaktor für die Leistung im Richtungswechselsprint an. Dabei ist die Länge des Sprints vor dem Richtungswechsel entscheidend für die Höhe des Maximalkrafteinflusses auf die Leistung. Barnes et al. (2007) bestätigen den hohen Einfluss der Maximalkraft, da sie um ein Drittel höhere Kräfte beim Richtungswechsel als bei einer willkürlich erzeugten Maximalkraftleistung ermitteln. Auch Spiteri et al. (2013) zeigen bei stärkeren Spielsportlern (gemessen in der Kniebeuge) gegenüber schwächeren Mitspielern, dass bei einem Richtungswechselsprint mit einem Winkel von  $135^\circ$  höhere vertikale Kräfte in der Beschleunigung und höhere horizontale Kräfte beim Bremsverhalten erzeugt werden. Weiterhin werden durch die Sportler mit dem höheren Maximalkraftniveau größere Gesamtimpulse (vertikal und horizontal) beim Abbremsen und Beschleunigen erzeugt. Auch höhere Geschwindigkeiten sowie eine höhere Schrittfrequenz nach dem Richtungswechsel werden bei den schnelleren Sportlern ermittelt. Beim Abbremsen vor dem Richtungswechsel wirken hohe Kräfte auf den Bewegungsapparat (vgl. Spiteri et al. 2013). Kovacs, Roetert & Ellenbecker (2008) stellen abbremsende Bewegungen nochmal explizit in den Vordergrund, da diese oft unterschätzt werden. Hier spielen die Kraftfähigkeiten eine besondere Rolle. Als wesentliche Einflussfaktoren für abbremsende Bewegungen werden die Rumpfstabilität, die exzentrische Maximalkraft, die Schnellkraft und die Reaktivkraft genannt (siehe Abb. 9). Demnach sind die verschiedenen Formen der Kraft in einem Gesamtkomplex zu trainieren.

Ein hoher Zusammenhang zwischen Maximalkraftmessungen und dem Richtungswechselsprint kann bisher nicht eindeutig gezeigt werden. In Tab. 2 sind verschiedene Untersuchungen mit Zusammenhangsanalysen zwischen der Maximalkraft und der Leistung im Richtungswechselsprint angeführt. Es zeigt sich eine hohe Korrelation zu den

am Körpergewicht relativierten Maximalkraftwerten (vgl. Nimphius, McGuigan & Newton 2012; Swinton et al. 2014). Des Weiteren wird eine mittlere Korrelation zur exzentrischen Arbeitsweise festgestellt (vgl. Jones, Bampouras & Marrin 2009). Dies bestätigen auch Chaouachi et al. (2012), die einen hohen Einfluss der exzentrischen Maximalkraft auf den Richtungswechselsprint nachweisen. Dies ist zum einen durch die abbremsenden Kräfte kurz vor einem Richtungswechsel, zum anderen durch den erzeugten DVZ beim Sprinten bedingt. Deutlich wird der Einfluss auf Belägen wie einem Kunstrasen der älteren Generation, auf dem schnellere Zeiten gesprintet werden können und dadurch die Kräfte beim Abbremsen zur Einleitung des Richtungswechsels höher sind (vgl. Gains et al. 2010). Neben den hohen Zusammenhängen zwischen der Maximalkraft und der Leistung im Richtungswechselsprint zeigen Chaouachi et al. (2009) jedoch zwischen dem T-Test und dem 1RM in der Kniebeuge einen geringen Zusammenhang bei Basketballspielern. Demnach kann ein hoher Einfluss der Maximalkraft auf die Leistung im Richtungswechselsprint auf Basis der vorhandenen Untersuchungen noch nicht herausgestellt werden. Lediglich Tendenzen lassen sich erkennen, die einen möglichen Einfluss der Maximalkraft auf den Richtungswechselsprint nahe legen.

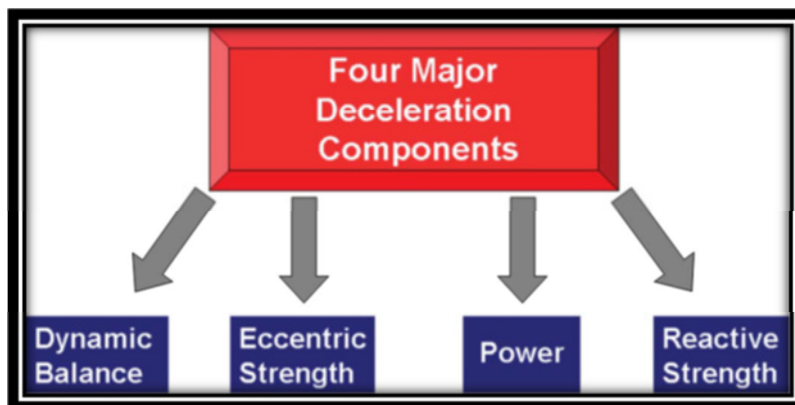


Abbildung 9: Einflussfaktoren abbremsender Bewegungen in einem Richtungswechselsprint (nach Kovacs, Roetert & Ellenbecker 2008)

Tabelle 2: Zusammenhänge zwischen der Leistung im Richtungswechselsprint und Maximalkraftleistungen

<b>Autoren</b>	<b>RWT</b>	<b>MKT</b>	<b>Korrelation</b>
Chaouachi et al. (2009)	T-Test	1RM Kniebeuge	.18
Hori et al. (2008)	505-Agility	1RM Umsetzen	.41
Jones, Bampouras & Marrin (2009)	505-Agility	1RM Leg press	.37
Jones, Bampouras & Marrin (2009)	505-Agility	1RM Leg extension exzentrisch	.53
Nimphius, McGuigan & Newton (2012)	505-Agility	1RM Kniebeuge/BW	.70
Swinton et al. (2014)	505-Agility	1RM Kniebeuge/BW	.72

RWT = Richtungswechselstest; MKT = Maximalkrafttest; 1RM = Einer-Wiederholungsmaximum; BW = Körpergewicht

Svensson & Drust (2005) geben an, dass der Richtungswechselsprint durch neurophysiologische Einflussfaktoren bestimmt wird. Demnach müsste auch das Schnellkraftverhalten die Leistung beim Richtungswechselsprint beeinflussen. Hinweise dafür geben mehrere Untersuchungen, die den Zusammenhang zwischen der vertikalen Sprungleistung im CMJ und der Leistung im Richtungswechselsprint ermittelt haben. Chaleh, Fatemi & Shahasavar (2012) zeigen zwischen der Leistung im CMJ und im Agility-Test (9x4m) eine hohe Korrelation von  $r = .89$ . Jones, Bampouras & Marrin (2009) ermitteln zwischen dem CMJ und dem 505-Agility hingegen nur mittlere Korrelationen ( $r = -.50$ ). Dies trifft ebenso auf die Untersuchungsergebnisse von Barnes et al. (2007) zu, die zwischen dem CMJ und einem Agility-Test mit einem Winkel von  $180^\circ$  im Richtungswechsel eine Korrelation von  $r = .58$  beobachten. Auch Castillo-Rodriguez et al. (2012) zeigen mittlere Korrelationen zwischen der Leistung im CMJ und im Richtungswechselsprint mit unterschiedlichen Winkeln  $90^\circ$  rechts ( $r = .50$ ),  $90^\circ$  links ( $r = .64$ ) und  $180^\circ$  ( $r = .49$ ). Chaouachi et al. (2009) zeigen ebenfalls mittlere Zusammenhänge ( $r = .61$ ) zwischen dem horizontalen 5er-Sprungtest und dem T-Test. Ausgehend von den dargestellten Ergebnissen kann von einem Einfluss der Schnellkraft auf den Richtungswechselsprint ausgegangen werden. Auch dem Reaktivkraftverhalten wird eine hohe Bedeutung für die Leistung im Richtungswechselsprint beigemessen (vgl. Chaouachi et al. 2012; Jones, Bampouras & Marrin 2009; Sheppard & Young 2006). Diesbezüglich zeigen Castillo-Rodriguez et al. (2012) eine mittlere Korrelation ( $r = .40$  bis  $.53$ ) zwischen dem reaktiven Kraftverhalten und der Leistung im Richtungswechselsprint. Demnach ist das Kraftverhalten für die Leistung im Richtungswechselsprint als leistungslimitierender Faktor zu berücksichtigen.

Ein weiterer Aspekt, der Beachtung beim Richtungswechselsprint bezogen auf die Kraftfähigkeiten finden sollte, ist das Verletzungsrisiko. Besier et al. (2001) zeigen bei einem Richtungswechsel eine gegenüber dem Linearsprint um mindestens zweifach bis sechsfach erhöhte Varusstellung im Kniegelenk. Auch Greig (2009) zeigt in einer kinematischen Analyse von Richtungswechselsprints, dass es im Verlauf der Belastung zu einer erhöhten Instabilität im Kniegelenk kommt. Er beobachtet beim Richtungswechsel eine erhöhte Varusstellung innerhalb des Belastungsverlaufs im äußeren Bein. Da die interne bzw. externe Rotation im Kniegelenk einen wesentlichen Faktor für Verletzungen am vorderen Kreuzband darstellt, ist auch aus präventiver Sicht ein hohes Kraftniveau erforderlich. Dieses Kraftniveau muss neurophysiologisch auf einem hohen Niveau ausgebildet sein, um eine entsprechende

Stabilität im Kniegelenk gewährleisten zu können. Da die Kniewinkel beim Abbremsen sehr niedrig sind, ist diesbezüglich ein erhöhtes Kraftpotential auch in geringen Kniewinkeln erforderlich (vgl. Greig 2009).

Sheppard & Young (2006) bezeichnen neben der Technik, dem Kraftverhalten und der Schnelligkeit ebenfalls anthropometrische Parameter als leistungslimitierend für den Richtungswechselsprint. Eine geringere Körpergröße ist bei einem Richtungswechselsprint nach Sheppard & Young (2006) von Vorteil, da ein schnelleres Absenken des KSP möglich ist. Daraus wird gefolgert, dass ein Richtungswechsel schneller eingeleitet werden kann. Gravina et al. (2008) zeigen bei jugendlichen Fußballspielern im Alter von 10 bis 14 Jahren gegenteilige Ergebnisse. Mit ermittelten Korrelationen von  $r = -.36$  zwischen der Körpergröße und der Zeit beim Richtungswechselsprint können die größeren Spieler gleichwertige Ergebnisse zu den kleineren Spielern erzielen. Weiterhin ist eine Gruppe in diesem Altersbereich aufgrund der wachstumsbedingten Faktoren allgemein heterogen zusammengesetzt, was eine höhere Korrelation begünstigt. Demnach hat die Körpergröße möglicherweise keinen Einfluss auf die Leistung im Richtungswechselsprint. Neben der Körpergröße wird auch dem Körpergewicht ein leistungslimitierender Einfluss auf den Richtungswechselsprint eingeräumt (vgl. Sheppard & Young 2006). Wong, Chan & Smith (2012) ermitteln zwischen dem Körpergewicht und dem Richtungswechselsprint einen mittleren Zusammenhang von  $r = .41$ . Swinton et al. (2014) beobachten sogar Korrelationen von  $r = .56$ . Dies deutet daraufhin, dass ein geringeres Körpergewicht eine bessere Leistung im Richtungswechselsprint ermöglicht. Zusätzlich wird von Wong, Chan & Smith (2012) eine Zusammenhangsanalyse zwischen dem Body-Mass-Index (BMI) und der Zeit im Richtungswechselsprint durchgeführt. Es zeigt sich eine mittlere Korrelation von  $r = .57$ , die darauf zurückschließen lässt, dass ein hoher BMI leistungsmindernd wirkt. Dies können Chaouachi et al. (2012), die einen hohen Körperfettanteil ebenfalls als einen leistungslimitierenden Faktor für die Leistung im Richtungswechselsprint ermitteln, bestätigen (vgl. Chaouachi et al. 2009). Weiterhin wird über den Einfluss der Beinlänge diskutiert, da diese gerade im Jugendalter eine große Rolle für den Linearsprint spielt (vgl. Schiffer 2009). Chaouachi et al. (2012) zeigen, dass die Beinlänge beim Richtungswechselsprint im Gegensatz zum Linearsprint eher eine untergeordnete Rolle einnimmt (vgl. Swinton et al. 2014). Schlussfolgernd sind das Körpergewicht sowie der Körperfettanteil wichtige anthropometrische Einflussfaktoren auf die Leistung im Richtungswechselsprint.

Da der Richtungswechselsprint eine spezifische Bewegungsform ist, stellt sich die Frage nach dem Einfluss des Fußballspiels auf die Leistung. Chaouachi et al. (2009) zeigen diesbezüglich in einer Längsschnittbetrachtung eine Steigerung im Richtungswechselsprint durch das Fußballspielen. Unterschiede in der Leistung im Richtungswechselsprint bezüglich der Spiel- und Altersklassen beim Fußball kann Rehhagel (2011) beobachten. Er zeigt Leistungsunterschiede zwischen Profis, Amateuren und Jugendlichen. Da sich auch die Trainingsumfänge zwischen Junioren und Senioren sowie zwischen den Spielklassen unterscheiden, ist dies auch ein Hinweis auf einen möglichen Leistungseinfluss des Fußballspiels. Wong, Chan & Smith (2012) zeigen bei Fußballspielern gegenüber sportlich aktiven Personen bessere Leistungen im Richtungswechselsprint, was ebenfalls den Einfluss des Fußballspiels bestätigt. Allerdings wird kein Unterschied zwischen College-Fußballspielern und Profis ermittelt. Auch Baker & Newton (2008) beobachten keinen Unterschied in der Leistung des Richtungswechselsprints zwischen Profispielern und Amateuren im Rugby, obwohl das Kraftniveau bei den Profispielern höher ist. Allerdings wird hier ein Richtungswechseltest angewendet, der etwa 40m mit zwei Richtungswechseln (Winkel von 90° und 135°) beträgt, wodurch das Kraftverhalten einen geringeren Einfluss auf die Leistung hat. Demnach ist bei Sportlern aus der gleichen Sportart nicht mehr von einem Unterschied in der Richtungswechselsprintleistung auszugehen. Ähnlich zum Linearsprint zeigen sich keine eindeutigen Hinweise dafür, dass Spielklassen einen Einfluss auf das Leistungsniveau im Richtungswechselsprint haben. Tendenziell wird jedoch festgehalten, dass das Fußballspielen an sich einen Einfluss auf die Leistung im Richtungswechselsprint haben kann. Weiterhin ist zu prüfen, ob es einen Einfluss des Alters auf die Leistung im Richtungswechselsprint gibt. Hierzu beobachten Dellal & Wong (2013) einen altersbezogenen Unterschied zwischen U15, U17 und U19 in der Leistung des Richtungswechselsprints bei Fußballspielern. Auch Jakovljevic et al. (2012) zeigen zwischen 12- und 14-jährigen Basketballspielern altersbezogene Unterschiede im Richtungswechselsprint. Diese Ergebnisse sind offensichtlich auf wachstumsbedingte Faktoren im Juniorenalter zurückzuführen. Demnach spielt auch das Alter im Juniorenbereich eine bedeutende Rolle für die Richtungswechselsprintleistung.

### **2.2 Strukturierung der konditionellen Fähigkeit Kraft**

Bei der Strukturierung der konditionellen Fähigkeit Kraft existieren unterschiedliche Forschungsansätze und Interpretationen. So lässt sich die Kraft in eine physikalische Größe

und eine motorische Eigenschaft unterteilen (vgl. Schmidtbleicher 1984; Zaciorskij 1972). Dabei stellt die physikalische Größe  $F$  ein Maß für die Einwirkung eines Körpers auf einen Gegenstand oder auf einen anderen Körper dar, die konditionelle Fähigkeit Kraft hingegen die Fähigkeit der Muskulatur, gegen einen Widerstand zu kontrahieren. Die dabei entscheidende Größe ist ein erzeugter Kraftimpuls, der auf Gegenstände oder Körper wirkt (vgl. Schmidtbleicher 1984). Letzelter (1978) und Letzelter & Letzelter (1986) beschreiben die Schnellkraft als eine Klassifizierung von Bewegungsfertigkeiten, in denen ein Krafteinsatz benötigt wird, wie z.B. die Zug-, Stoß-, Sprung-, Schuss-, Wurf- und Sprintkraft. Diese Klassifizierung ist jedoch sowohl für die Theorie als auch für die Praxis ungeeignet, da sie eine Unterscheidung in koordinative und konditionelle Fähigkeiten nicht zulässt. „Beim Praktiker entsteht dadurch eine gewisse Verunsicherung, da er annehmen muss, dass jede dieser Erscheinungsformen selektiv trainiert werden soll. Dies trifft zwar für die koordinativen, nicht aber für die konditionellen Einflussgrößen zu“ (Schmidtbleicher 1984, S.1785). Nach wie vor hat die Unterteilung der Fähigkeit Kraft in Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer ihre Gültigkeit in der Trainingslehre (siehe Abb. 10; vgl. Schmidtbleicher 2003).

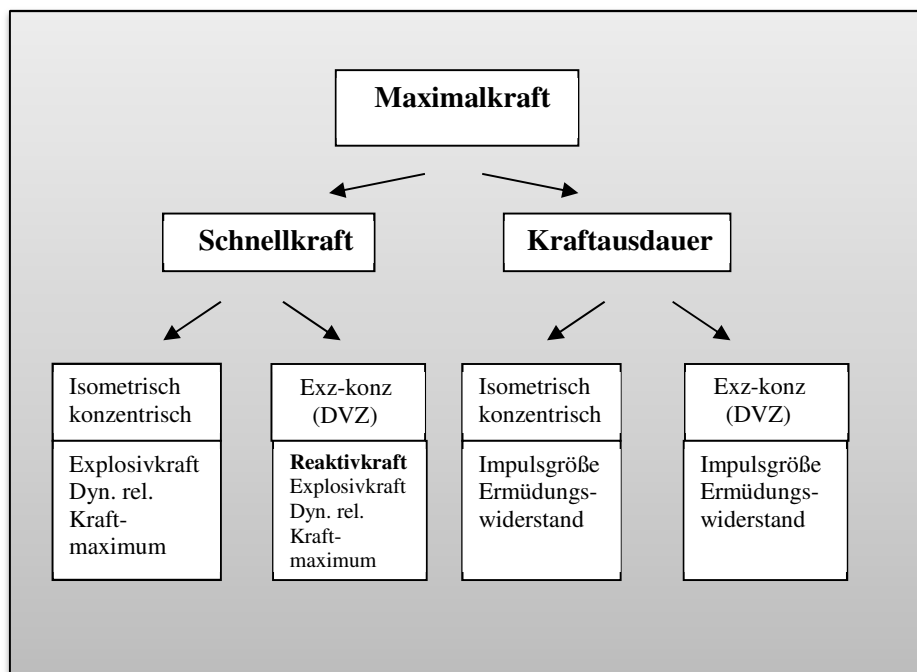


Abbildung 10: Strukturanalyse der konditionellen Fähigkeit Kraft mit ihren einzelnen Komponenten (modifiziert nach Schmidtbleicher 2003)

Die Maximalkraft bildet die Basisfähigkeit für die Schnellkraft (vgl. Bührle 1985, 1989; Heyden, Droste & Steinhöfer 1988) und für die Kraftausdauer (vgl. Frick 1993; Rachor,



Güllich & Schmidtbleicher 1998). Die Schnellkraft und die Kraftausdauer mit ihren einzelnen Komponenten lassen sich weiterhin in ihre Kontraktionsformen unterscheiden. Dies sind die isometrischen, konzentrischen und exzentrischen Kontraktionsformen sowie eine Kombination aus exzentrisch-konzentrischen Kontraktionen, die als DVZ bezeichnet wird und den Zustand der Reaktivkraft beschreibt. In welcher Form sich die Kontraktionen vollziehen, hängt von der Relation der zu generierenden Muskelkraft und dem äußeren Widerstand ab. Es kommt zu einer konzentrischen Kontraktion, wenn die Muskelkraft größer ist als der äußere Widerstand und der Widerstand überwunden werden kann. Dabei nähern sich Ansatz und Ursprung des Muskels an. Eine isometrische Kontraktion herrscht dann vor, wenn der äußere Widerstand so groß ist, dass er durch die Muskelkraft nicht mehr überwunden werden kann (statischer Zustand). Der Abstand zwischen Ansatz und Ursprung des Muskels bleibt unverändert. Ist der äußere Widerstand größer als die zu generierende Muskelkraft, nimmt der Abstand zwischen Ansatz und Ursprung des Muskels zu. In diesem Fall wird von einer exzentrischen Kontraktion gesprochen. Beim DVZ schließt sich eine explosiv konzentrisch ausgeführte Kontraktion einer exzentrischen Kontraktion an.

Im Weiteren wird auf die Komponenten Maximalkraft, Schnellkraft und Reaktivkraft genauer eingegangen. Die Kraftausdauer soll an dieser Stelle nur oberflächlich beschrieben werden, da sie für den Fußballspieler kaum eine Rolle spielt. Dies ergibt sich aus der Definition der Kraftausdauer, die durch die Höhe der Impulssumme gegen eine Last in einem definierten Zeitabschnitt charakterisiert ist (vgl. Schmidtbleicher 2003; siehe Kap. 2.1.3). Im Fußball geht es allerdings darum, einen möglichst großen Impuls in möglichst kurzer Zeit zu entwickeln, um eine gute Sprint- bzw. Sprungleistung abrufen zu können (vgl. Stolen et al. 2005).

### 2.2.1 Maximalkraft

Unter der Maximalkraft wird der höchste Kraftwert verstanden, der durch das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion (MVC) entfaltet werden kann (vgl. Schmidtbleicher 2003). Beeinflusst wird die Maximalkraft durch tendomuskuläre Faktoren (Muskelquerschnitt, Muskelfaserzusammensetzung; vgl. Bührle & Werner 1985; Fukunaga 1976; Izquierdo et al. 1999; Moss et al. 1997), neuronale Faktoren (willkürliche Aktivierungsfähigkeit; vgl. Del Olmo et al. 2006; Izquierdo et al. 1999) und anthropometrisch-biomechanische Faktoren (Hebelverhältnisse; vgl. Güllich & Schmidtbleicher 2000). So können unter anderem Moss et al. (1997) zwischen dem

Muskelquerschnitt und der Maximalkraft Korrelationen von  $r = .88$  ermitteln, Akima et al. (2000) hingegen Korrelationen von  $r = .61$ , was auf einen mittleren bis hohen Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren hinweist (vgl. auch Häkkinen et al. 2000). Es wird festgestellt, dass untrainierte Personen bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion etwa 70% der Fasern eines Muskels aktivieren können (vgl. Ikai & Steinhaus 1961). Weiterhin wird durch Elektrostimulation eine Steigerung der Maximalkraftwerte um 30% bis 40% über der willkürlichen Innervation gezeigt (vgl. Ikai, Yabe & Ishii 1967; Schmidtbleicher et al. 1978). Dieses Grenzmaß der Maximalkraft wird als Absolutkraft bezeichnet. Darunter wird das durch den Muskelquerschnitt gesamte Kraftpotenzial verstanden, welches durch eine hohe Elektrostimulation, durch eine zusätzliche reflektorische Aktivierung oder bei Stressreaktionen erreicht werden kann (vgl. Bührle, Schmidtbleicher & Ressel 1983; Ikai & Steinhaus 1961). Die Differenz zwischen maximaler willkürlicher Kontraktion und der Absolutkraft wird als Kraftdefizit bezeichnet. Dieses Kraftdefizit ist abhängig vom Trainingszustand eines Menschen. Trainierte Kraftsportler können nachweislich ein Kraftdefizit von 10% erreichen (vgl. Ikai & Steinhaus 1961). Bührle & Schmidtbleicher (1981) erreichen eine Minimierung des Kraftdefizits bei Sportstudenten um 11%. Daraus wird geschlussfolgert, dass das Kraftdefizit trainierbar ist (vgl. Ahtiainen et al. 2003).

In der Literatur wird von zwei bzw. drei Dimensionen der Maximalkraft ausgegangen. Die Unterteilung erfolgt in die statische (isometrische) und die dynamische (konzentrische oder exzentrische) Maximalkraft (vgl. Ehlenz, Grosser & Zimmermann 2003; Letzelter & Letzelter 1986; Weineck 2007). Die isometrische Maximalkraft stellt den höchsten Wert bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion dar und wird dynamometrisch erfasst. Die konzentrische Maximalkraft wird gegen diejenige Last entfaltet, die gerade noch bewegt werden kann, und anhand des 1RM bestimmt. *„Die exzentrische Maximalkraft tritt dann auf, wenn ein willkürlich maximal kontrahierter Muskel entgegen seiner Arbeitsrichtung gedehnt wird“* (Schmidtbleicher 1987, S.357). Nach Schmidtbleicher (1987) liegen konzentrische Maximalkraftwerte in Abhängigkeit vom Messverfahren um 10% bis 15% niedriger als isometrische Maximalkraftwerte. Dies ergibt sich aus der erhöhten intermuskulären koordinativen Beanspruchung bei konzentrisch ausgeführten Bewegungen (vgl. Müller 1987). Die exzentrischen Maximalkraftwerte variieren zwischen 5% und 40% höher als die isometrischen Maximalkraftwerte in Abhängigkeit von den verschiedenen Muskeln der oberen oder der unteren Extremitäten sowie vom individuellen Trainingszustand, der durch das Kraftdefizit und den gemessenen synergistisch arbeitenden Muskelgruppen beschrieben

wird (vgl. Schmidtbleicher 1987). Der hauptsächliche Grund für die im Vergleich mit den isometrischen Maximalkraftwerten höheren exzentrischen Maximalkraftwerte liegt nach Schmidtbleicher (1987) zum einen in der durch die Dehnung des Muskel-Sehnen-Systems addierten passiven Elastizitätskräfte mit dem Kraftbetrag der Willkürkontraktion, zum anderen in den durch die Dehnung der Muskelspindel ausgelösten Dehnungsreflexe, die eine höhere Innervationsaktivität bewirken.

### 2.2.2 Schnellkraft

Die meisten Leistungen in den verschiedenen Sportarten sind vom Niveau der Schnellkraft der Sportler abhängig. Die Schnellkraft tritt sowohl in einer azyklischen Form (Speerwurf, Diskuswurf, Kugelstoßen, Hochsprung, Gewichtheben) als auch in einer zyklischen Form (Sprint, Boxen, Sportspiele) auf. Schmidtbleicher (1984) bezeichnet die Schnellkraft als *„die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen möglichst großen Impuls in der zur Verfügung stehenden Zeit zu produzieren“* (vgl. auch Pampus 1992; Martin, Carl & Lehnertz 2001). Nötig ist die Fähigkeit, sowohl große Kraftwerte pro Zeiteinheit ( $K_{\max} / T_{\max}$ ) zu entwickeln als auch aus der Wirkung der Kraftentfaltung hohe Bewegungsgeschwindigkeiten des eigenen Körpers oder eines Sportgerätes zu erzeugen. Daraus resultiert die Fähigkeit, einen möglichst großen Impuls (Kraftstoß,  $F \times dt$ ) in der zur Verfügung stehenden Zeit zu entfalten. Der Impuls ist charakterisiert durch den Steilheitsgrad des Kraftanstieges, das realisierte Kraftmaximum und die Impulsdauer. Mehrere Komponenten beeinflussen die Schnellkraft bei dynamischen und statischen Muskelaktionen. Bei einer statischen Muskelkontraktion wird die Schnellkraft durch die isometrische Maximalkraft und die Explosivkraft (Startkraft) bestimmt, wohingegen bei einer dynamischen Muskelkontraktion die Schnellkraft durch das relative dynamische Kraftmaximum, die Explosivkraft und die Impulsdauer charakterisiert wird. Die Einflussfaktoren lassen sich anhand von Kraft-Zeit-Kurven darstellen (siehe Abb. 11 und Abb. 12). Der Begriff der Explosivkraft wird nach Schmidtbleicher (1984) als *„die Fähigkeit des neuromuskulären Systems bezeichnet, einen bereits begonnenen Spannungsanstieg maximal schnell weiterzuentwickeln“*. Sie wird durch die erzeugte Impulshöhe bei einer Kontraktion in einem gewissen Zeitraum definiert (vgl. Baechle & Earle 2000; Schmidtbleicher 2003). Diese Fähigkeit lässt sich in den Kraft-Zeit-Kurven als der maximale Steigungswinkel erfassen (vgl. Mirkov et al. 2004; Wang 1999; siehe Abb. 11), was die wohl gebräuchlichste Anwendung darstellt. Die Explosivkraft wird vom Maximalkraftverhalten stark beeinflusst (vgl. Bührle 1985; Müller 1987) und zwar umso stärker, je höher die zu

bewältigende Last ist (vgl. Verchoshanskij 1995) und je weiter sich die Zeitintervalle einer Kraft-Zeit-Kurve vom Kontraktionsbeginn entfernen (vgl. Andersen & Aagaard 2006). Auch die Elastizität der tendomuskulären Strukturen während einer Kontraktion (vgl. Bojsen-Moller et al. 2005) sowie das Fasertypenverhältnis in der Muskulatur (vgl. Aagaard & Andersen 1998) und damit verbunden die Kontraktionsgeschwindigkeit (vgl. Bührle & Schmidtbleicher 1981; Freund & Büdingen 1978) nehmen einen Einfluss auf die Explosivkraft. Ebenfalls wird der Testosteronkonzentration im Muskel und im Blut ein Einfluss auf das Explosivkraftverhalten zugeschrieben (vgl. Baechle & Earle 2000). Grund hierfür ist die Eigenschaft des Testosterons, eine Phänotypisierung der schnellen Muskelfasern und eine Potenzierung der Aktivität des Nervensystems zu unterstützen (vgl. Fleck & Kraemer 1997; Kraemer 1994). Die Startkraft kennzeichnet nach Schmidtbleicher (1984) „*die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, von Beginn der Anspannung an eine möglichst große Kraft in kürzester Zeit zu entwickeln*“. Dieser Parameter lässt sich ebenfalls mit Hilfe der Kraft-Zeit-Kurven ermitteln und wird durch den Quotienten erfasst, der in den ersten 30ms (siehe Abb.11; vgl. Bührle 1985; Freund & Büdingen 1978) bis 50ms (vgl. Gollhofer 1987; Holtermann et al. 2007; Müller 1987; Wang 1999) des Kontraktionsvorgangs gemessen wird. Als Einflussgrößen der Startkraft werden in der Literatur die Kontraktionsgeschwindigkeit, die Synchronisation der motorischen Einheiten zu Beginn der Kontraktion und die Höhe der Frequenzierung der motorischen Einheiten genannt (vgl. Andersen & Aagaard 2006). Weiterhin spielt die Muskelfaserzusammensetzung ähnlich wie bei der Explosivkraft eine große Rolle, da diese auch die Kontraktionsgeschwindigkeit beeinflusst. Die Startkraft gilt als ein Einflussfaktor der Explosivkraft. In der Literatur kommt es zu unterschiedlichen Angaben der Startkraftdefinition (30ms bis 50ms). Es muss hinterfragt werden, inwiefern die Startkraft von der Explosivkraft abzugrenzen ist, da die Höhe von 50ms schon im Zeitfenster der Explosivkraft liegen kann. Weiterhin wird in der Literatur angegeben, dass die Startkraft dann leistungsbestimmend wird, wenn mit hoher Beschleunigung bei leichten Lasten gearbeitet werden muss, wie dies unter anderem bei Boxern, Fechtern (vgl. Bührle & Schmidtbleicher 1981; Bührle, Schmidtbleicher & Ressel 1983) oder Diskuswerfern (vgl. Werchoschanski 1988) der Fall ist. Allerdings fehlen hier die empirischen Daten, die dies belegen. Demnach ist vorerst davon auszugehen, dass die Startkraft und die Explosivkraft als derselbe Einflussfaktor der Schnellkraft einzuordnen ist und nicht getrennt betrachtet werden können.

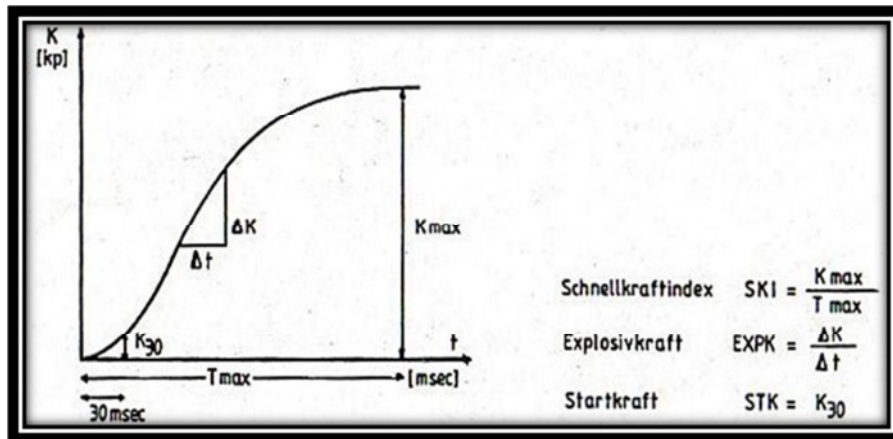


Abbildung 11: Darstellung einer isometrischen Kraft-Zeit-Kurve mit verschiedenen Schnellkraftparametern (modifiziert nach Bührle 1989)

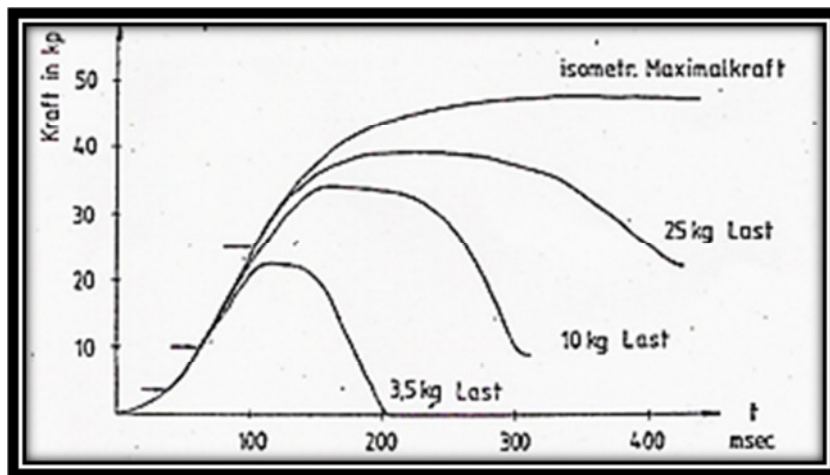


Abbildung 12: Kraft-Zeit-Kurven einer Person gegen unterschiedlich schwere Lasten. Die Pfeile markieren den Zeitpunkt des Abhebens der Hantel (nach Bührle & Schmidtbleicher 1981)

### 2.2.3 Kraftausdauer

Die Kraftausdauer wird als die Fähigkeit des neuromuskulären Systems beschrieben, eine möglichst große Impulssumme in einem definierten Zeitraum gegen höhere Lasten zu produzieren (vgl. Schmidtbleicher 1984). Dieser Definition schließt sich Frick (1993 S.14) unter Einbezug des Stoffwechselsystems an: „Mit Kraftausdauer wird die Fähigkeit des neuromuskulären Systems bezeichnet, eine möglichst große Kraftstoßsumme unter vorwiegend anaeroben Metabolismus und ermüdenden Bedingungen zu produzieren.“ Die Kraftausdauer ist abhängig von der Maximalkraft und der Ermüdungswiderstandsfähigkeit, da sie sich aus den beiden Komponenten Höhe des Einzelkraftstoßes und Reduktion der Kraftstoßsumme zusammensetzt.

In der Literatur wird erst dann von einem Kraftverhalten gesprochen, wenn Lasten bewältigt werden, die größer als 30% der individuellen Maximalkraft sind (vgl. Hollmann & Hettinger 2000). Dies resultiert aus der Maximalkraftsteigerung, die bei einem Training von mindestens 30% der individuellen Maximalkraft auftritt. Intensitäten unterhalb der 30% führen nicht zu einer Maximalkraftsteigerung. In der Trainingspraxis zeigt sich sogar, dass Maximalkraftsteigerungen erst bei äußeren Widerständen ab 50% der individuellen Maximalkraft erreicht werden können (vgl. Schmidtbleicher 2003). Da die Maximalkraft ein Einflussfaktor der Kraftausdauer ist, sollte ein Krafttraining zur Steigerung der Kraftausdauer eine Erhöhung der Maximalkraft beinhalten. Demnach ist ein Krafttraining mit einer Intensität von mindestens 50% der individuellen Maximalkraft durchzuführen. Bei einer Intensität von etwa 50% kommt es durch die fast vollständige Verschließung der Kapillare zu einer nahezu rein anaeroben Stoffwechsellage (vgl. Hollmann & Hettinger 2000). Demnach wird bei einem Kraftausdauertraining von einem anaeroben Metabolismus ausgegangen (vgl. Güllich & Schmidtbleicher 2000). Da der Übergang von anaerober zu aerober Energiebereitstellung bei einer Belastungsdauer von etwa 2min liegt, darf eine Kraftausdauerbelastung diese 2min nicht überschreiten (vgl. Frick 1993; Güllich & Schmidtbleicher 2000). Die Kraftausdauerleistungen im DVZ nehmen eine gesonderte Rolle ein. Nicht die Ermüdungsresistenz stellt hierbei den limitierenden Faktor dar, sondern die reaktive Schnellkraft, die einen bedeutenden Einfluss hat (vgl. Frick 1993). Dementsprechend bilden die neuronalen Ansteuerungsgrößen die limitierenden Faktoren.

### 2.2.4 Reaktivkraft

Bei der Reaktivkraft handelt es sich um Kontraktionen, die im DVZ ausgeführt werden, und im Bereich der Schnellkraft und der Kraftausdauer eine relativ eigenständige Dimension darstellen (vgl. Gollhofer 1987; Komi 1994; Schmidtbleicher & Gollhofer 1982), wobei die reaktive Schnellkraft die Kraftausdauerleistungen im DVZ stark beeinflusst (vgl. Frick 1993). Bewegungen im DVZ sind in etwa 90% der Sportarten gegeben, wie Lauf-, Sprung-, Sprint-, Wurf- und Stoßbewegungen, sodass der Aspekt der Reaktivkraft in der Trainingspraxis nicht außer Acht gelassen werden darf. Durch die Kombination der exzentrischen und konzentrischen Kontraktion beim DVZ kommt es aufgrund der Vordehnung der elastischen Strukturen des Muskel-Sehnen-Apparates in der exzentrischen Phase zu einer zusätzlich freigesetzten Energie (vgl. Komi 1989) und damit verbunden einer erhöhten Krafterzeugung in der konzentrischen Phase, was als elastische Potenzierung beschrieben wird (vgl. Gollhofer

1987). Dabei wird die Bindezeit der Aktin-Myosin-Brückenverbindungen genutzt, die höchstens 200ms beträgt. Erfolgt der DVZ innerhalb dieses Zeitfensters, kann die in den Brücken gespeicherte Energie in Kontraktionskraft umgesetzt werden, was als „short range elastic stiffness“ bezeichnet wird (vgl. Bührle 1989). Dies wird gerade im Bereich von Schnellkraftbewegungen im DVZ deutlich. Können die Aktin-Myosin-Brücken sich innerhalb dieses Zeitraums nicht aufrechterhalten, geht die gespeicherte Energie verloren. Als Einflussgrößen gelten neben der willkürlichen neuronalen Aktivierung in Abhängigkeit der Dehnungsgeschwindigkeit in der exzentrischen Phase auch Elastizitätskräfte der Sehnen und Muskeln sowie eine zusätzlich erzeugte neuronale Aktivierung der Muskulatur durch den zusätzlich aufgeschalteten Dehnungsreflex (vgl. Bubeck 2002; Gollhofer 1987; Schmidtbleicher & Gollhofer 1982; Sialis 2004). Bei einem Drop Jump ist die kortikospinale Erregbarkeit bzw. die Vorinnervation vor dem Sprung stark erhöht (vgl. Schmidtbleicher & Gollhofer 1982) und nimmt bis zum Kontakt mit dem Boden stetig ab. Entgegen der kortikospinalen Erregbarkeit verläuft die spinale Erregbarkeit, die ihren Höhepunkt beim Kontakt mit dem Boden aufweist und bei etwa 90ms bis 120ms nach dem Bodenkontakt stark abnimmt. Nach dem Bodenkontakt nimmt die supraspinale Erregbarkeit im Bereich von 100ms bis 120ms stark zu. Dies zeigt, dass sowohl supraspinale als auch spinale Aktivierungsfähigkeiten einen großen Einfluss auf die Kontraktionen im DVZ zu unterschiedlichen Zeitpunkten haben (vgl. Schmidtbleicher & Gollhofer 1982). Gollhofer, Bubeck & Sialis (2003) können unter anderem zeigen, dass ein intensives Training mit Drop Jumps zu einer Verbesserung der Vorinnervation in der ersten Phase des Drop Jumps und damit zu einer Leistungssteigerung führt. Dies spricht für die enorme Bedeutung der Vorinnervation bei einem kurzen DVZ. Schnellkraftleistungen mit dem Charakter eines DVZ werden in zeitlich kurze und lange DVZ unterschieden. Schnellkraftleistungen im kurzen DVZ beinhalten eine Kontraktionsdauer von weniger als 200ms (z.B. Drop Jumps), Schnellkraftleistungen im langen DVZ von mehr als 200ms (z.B. CMJ). Die Leistungen im langen DVZ werden überwiegend vom dynamisch realisierten Kraftmaximum und damit von der Maximalkraft bestimmt (vgl. Izquierdo et al. 1999).

### **2.3 Physiologische Anpassungen an ein Krafttraining**

#### 2.3.1 Neuronale Anpassungen an ein Krafttraining

Neuronale Anpassungen werden anhand der intermuskulären und intramuskulären Koordination beschrieben. Unter der intermuskulären Koordination wird das Zusammenspiel

von mehreren Muskeln bzw. Muskelschlingen, die als Agonisten, Synergisten und Antagonisten arbeiten und dementsprechend aktiviert bzw. gehemmt (co-aktiviert) werden, verstanden (vgl. Fry & Newton 2002; Gabriel, Kamen & Frost 2006). Dieses Zusammenspiel von verschiedenen Muskeln ist von mehreren Einflussgrößen bestimmt. Diese sind unter anderem die Höhe der Intensität und die Art der Kontraktion, die Bewegungsgeschwindigkeit, der Grad der Ermüdung sowie der Leistungsstand (vgl. Duchateau, Semmler & Enoka 2006; Pucci, Griffin & Cafarelli 2005; Tax et al. 1989). Die Koordination der einzelnen Muskeln untereinander wird durch das Zentralnervensystem (ZNS) gesteuert, das je nach Bewegungsmuster spezifische Muskeln aktiviert (vgl. Sale 1994; Tax et al. 1990). Dabei wird der Automatisierungsgrad einer Bewegung umso höher, je konstanter die Ablaufbedingungen sind (vgl. Bührle & Schmidtbleicher 1981). Solche Automatisierungen sind hochspezifisch und eine Übertragung auf andere Bewegungsabläufe kann nicht ohne weiteres angenommen werden. Der Grad der Aktivierung einzelner Muskeln ist abhängig von den mechanischen Ausgangsbedingungen, die von der Gelenkstellung bestimmt werden. Neben den synergistisch arbeitenden Muskeln werden auch die Antagonisten bei jeder Bewegung in gewissem Maße aktiviert. Sie dienen der Stabilisierung von Gelenken und der Bewegungskoordination bei Muskeln, die mehrgelenkige Aufgaben besitzen (z.B. der m. brachioradialis als Oberarmflexor und Unterarmsupinator). Die intermuskuläre Koordination gilt wie die intramuskuläre Koordination (IK) als trainierbar (vgl. Moritani 1994; Sale 1994) und geht im Rahmen eines Krafttrainings über mehrere Wochen mit Maximalkraftsteigerungen einher (vgl. Andersen et al. 2006; Häkkinen et al. 2003; Rutherford & Jones 1986). Die durch eine verbesserte intermuskuläre Koordination gesteigerte Maximalkraft wird auf neu erlernte Bewegungsmuster und damit eine verbesserte kortikospinale und spinale Aktivierung einzelner Muskeln zurückgeführt (vgl. Adkins et al. 2006). Jensen, Marstrand & Nielsen (2005) können hingegen keine Steigerung der kortikospinalen Aktivität nach einem Krafttraining über vier Wochen feststellen, obwohl es zu einer Maximalkraftsteigerung kommt, was jedoch auf die in der Untersuchung koordinativ nicht anspruchsvolle Übung „biceps-curls“ zurückzuführen ist. Hier liegt die Vermutung nahe, dass sich Anpassungen ausschließlich auf spinaler Ebene eingestellt haben. Wird eine koordinativ anspruchsvolle Übung durchgeführt, ist mit einer Adaptation im Bereich der intermuskulären Koordination bei Personen, die diese Übung vorher nicht durchgeführt haben, zu rechnen. Im Krafttraining hat sich gezeigt, dass sich die intermuskuläre Koordination effektiv durch konzentrisch-exzentrisch ausgeführte Übungen schulen lässt (vgl.



Gabriel, Kamen & Frost 2006). Übungen, die hingegen isometrisch ausgeführt werden, schulen die intermuskuläre Koordination nur geringfügig.

Die IK und ihre Adaptionen auf verschiedene Trainingsreize werden von mehreren Faktoren bestimmt. Einflussgrößen sind die Rekrutierung von motorischen Einheiten, die Höhe der Entladungsfrequenzen dieser aktivierten Einheiten und die Synchronisation der motorischen Einheiten bei verschiedenen Kontraktionsvorgängen. Diese drei Einflussgrößen werden im Folgenden näher beschrieben, da sie für die Trainingspraxis in Bezug auf die Höhe der Adaptionen des Kraftverhaltens bei verschiedenen Trainingsmethoden von großer Bedeutung sind. Die Rekrutierung von motorischen Einheiten beinhaltet das Einbeziehen von nicht aktiven Einheiten in den Kontraktionsvorgang. Dieser Vorgang erfolgt nicht willkürlich, sondern nach einem bestimmten Schema, welches von Henneman anhand verschiedener Tierversuche und Versuche am menschlichen Muskel gezeigt wird. Die motorischen Einheiten werden nach dem Henneman'schen Rekrutierungsprinzip immer in der gleichen Reihenfolge aktiviert (vgl. Henneman, Somjen & Carpenter 1965; Henneman 1981; Mendell 2005). Demnach werden die Motoneuronen nach ihrer Größe in den Kontraktionsvorgang eingebunden (siehe Abb. 13). Bei niedrigen Kraftwerten werden hauptsächlich die kleinen Einheiten eingebunden, wodurch eine feine Regulierung der Muskelkontraktion vorgenommen werden kann. Bei stärkeren Kontraktionen erfolgt zunehmend auch die Einbindung der großen Einheiten, weshalb die Modulationsfähigkeit der Muskelkontraktion geringer wird und eine feine Regulation bei starken Muskelkontraktionen nicht mehr möglich ist (vgl. Dietz 1985; Young & Mayer 1981). Beim Rekrutierungsprinzip zählt das „Alles oder Nichts“ Gesetz, welches aussagt, dass eine motorische Einheit nur dann aktiviert wird, wenn der Reiz hoch genug ist, um die Reizschwelle zu überschreiten (vgl. Borg 1981; Grimby, Hannerz & Hedman 1979). Ist dies nicht der Fall, wird die motorische Einheit auch nicht in den Kontraktionsvorgang eingebunden (vgl. Fleck & Kraemer 1997). Zahlreiche Untersuchungen bestätigen dieses Prinzip mit Hilfe von langsamen und ballistischen Kontraktionen an verschiedenen Muskeln (vgl. Büdingen & Freund 1976; DeLuca et al. 1982, 1982a; Desmedt & Godaux 1975, 1977a, 1978, 1978a; Grimby 1984; Milner-Brown, Stein & Yemm 1973, 1973a; Pastor & Gonzalez-Forero 2003; Yemm 1977).

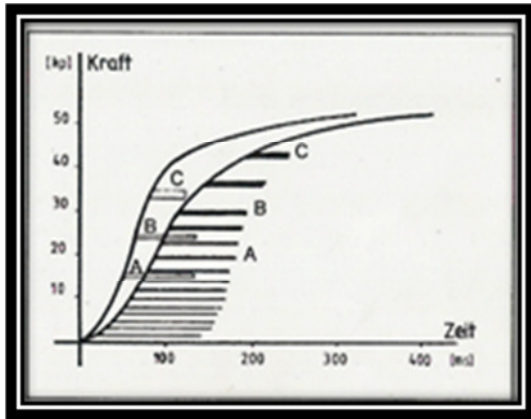


Abbildung 13: Das Henneman'sche Rekrutierungsprinzip (nach Bührle 1993)

Weiterhin wird festgestellt, dass große Motoneurone die schnell ermüdenden Muskelfasern innervieren, kleine Motoneurone hingegen die ermüdungsresistenten Muskelfasern (vgl. Burke 1967; Desmedt 1981; Eccles, Eccles & Lundberg 1958; Noth 1994; Saltin & Gollnick 1983; Young & Mayer 1981; Zajac 1990). Dabei entstehen Kontraktionszeiten, die je nach Größe des Motoneurons zwischen 20ms und 140ms variieren (vgl. Chan, Doherty & Brown 2001; Eccles, Eccles & Lundberg 1958; Grimby, Hannerz & Hedman 1979; Yemm 1977). Demnach werden die Eigenschaften der Muskelfasern durch den Typ des innervierenden  $\alpha$ -Motoneurons bestimmt (vgl. Buller, Eccles & Eccles 1960; Burke 1990; Young & Mayer 1981). Alle motorischen Einheiten sind rekrutiert, wenn die maximale Spannung etwa 80% der Maximalkraft erreicht (vgl. Borg, Grimby & Hannerz 1979). Bis zu diesem Wert von etwa 80% der MVC stellt die Rekrutierung von zusätzlichen Motoneuronen den entscheidenden Faktor neben der Frequenzierung dar (vgl. DeLuca et al. 1982a). Die motorischen Einheiten lassen sich über eine Rekrutierungsschwelle definieren, die eng mit der Größe des Motoneurons, den histochemischen Eigenschaften des Motoneurons, der Leitungsgeschwindigkeit des Axons und der Zuckungskraft der Einheit korreliert (vgl. Andreassen & Arendt-Nielsen 1987; Arendt-Nielsen, Mills & Forster 1989; Bigland-Ritchie et al. 1982; Borg 1981; Borg, Grimby & Hannerz 1979, 1983; Büdingen & Freund 1976; Burke 1990; Burke et al. 1973; Calancie & Bawa 1990; Chan, Doherty & Brown 2001; Desmedt 1981; Desmedt & Godaux 1977a; Garnett & Stephens 1980; Grimby 1984; Hainaut, Duchateau & Desmedt 1981; Henneman 1981). Die Rekrutierungsschwelle wird als der Kraftwert bei einer langsam ansteigenden isometrischen Kontraktion definiert, bei dem die Einheit zum ersten Mal aktiviert wird (vgl. Dietz 1985; Müller 1987). Motorische Einheiten mit einer hohen Rekrutierungsschwelle liefern dementsprechend mehr Kraft als Einheiten mit einer niedrigen Schwelle (vgl. Dietz 1985), der relative Kraftzuwachs ist hingegen relativ

gleich ausgeprägt (vgl. Müller 1987). Gemäß den Ergebnissen sind alle motorischen Einheiten bei ungefähr 80% der isometrischen Maximalkraft aktiviert, dabei 50% der motorischen Einheiten schon zu einem viel früheren Zeitpunkt, was einem Kraftwert von ca. 20% der Maximalkraft entspricht (vgl. DeLuca et al. 1982; Milner-Brown, Stein & Yemm 1973). Eine weitere Erhöhung der Kraft kann dann nur noch über eine erhöhte Entladungsfrequenz der aktiven Einheiten erfolgen. Die Rekrutierungsschwelle der motorischen Einheiten ist bei explosiv isometrischen Kontraktionen nicht mehr konstant, sondern weist eine Variabilität auf. Diese kann unabhängig von der Größe der motorischen Einheiten sein, und wird umso größer, je explosiver die Kontraktion ausgeführt wird (vgl. Tanji & Kato 1981). Dabei wird die Rekrutierungsschwelle mit wachsender Kraftentfaltung niedriger. *„Dies ist vom physiologischen Ablauf her einsichtig, da von der elektrischen Aktivität einer Muskelfaser bis zum Erreichen der vollen mechanischen Wirkung ein Zeitraum von ca. 30ms bis 60ms (elektromechanische Kopplung) vergeht“* (Müller 1987, S.10). Desmedt & Godaux (1977, 1977a, 1978a) definieren in einer ihrer Arbeiten eine ballistische Rekrutierungsschwelle für Kontraktionen mit explosiven Kraftanstiegen. Demnach ist die ballistische Rekrutierungsschwelle das niedrigste ballistische Kraftmaximum, bei dem eine motorische Einheit aktiviert wird (vgl. Desmedt & Godaux 1977, 1977a, 1978a). Weiterhin kann Desmedt (1981) einen hohen Zusammenhang von  $r = .92$  zwischen isometrischen und ballistisch isotonischen Kontraktionen in Bezug auf ihre Rekrutierungsschwelle zeigen (vgl. Desmedt & Godaux 1978a). Müller (1987, S.12) stellt fest, dass *„bei explosiven Kontraktionen alle motorischen Einheiten des Muskels in sehr kurzer Zeit aktiviert werden, selbst wenn nur geringe Kraftwerte erreicht werden“*. Die Frage nach dem Zeitfenster der Rekrutierung der verschiedenen motorischen Einheiten bei explosiven Kontraktionen ist in der Literatur bis heute nicht eindeutig geklärt. Tanji & Kato (1981) beschreiben sogar ein nahezu gleichzeitiges Aktivieren der Motoneurone bei schnellen Kraftanstiegen. Auch die Frage nach der universellen Anwendung des Henneman'schen Rekrutierungsprinzips für verschiedenartige Kontraktionen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. So wird in verschiedenen Untersuchungen festgestellt, dass es zu einer Vertauschung der Rekrutierungsreihenfolge entweder bei willkürlich versuchtem Ausschalten durch visuelles oder auditives Feedback oder durch Variation verschiedener afferenter Einflüsse auf den Motoneuronenpool bzw. bei verschiedenen Kontraktionsarten kommt. Grimby & Hannerz (1981) kommen zu dem Ergebnis, dass keine Vertauschungen der Rekrutierungsreihenfolge bei isometrischen Kontraktionen auftreten, unabhängig von der Kontraktionsgeschwindigkeit. Dennoch finden sie in einer Untersuchung mit ballistischen isotonischen Kontraktionen

Vertauschungen in der Rekrutierungsreihenfolge (vgl. Grimby & Hannerz 1977). Angaben über die Rekrutierungsschwelle dieser beteiligten Einheiten werden in den Arbeiten allerdings nicht gemacht. Eine weitere Schwierigkeit für eine evidente Aussage sind die geringen Probandenzahlen, die von den beiden Autoren untersucht worden sind. Gemessene Rekrutierungsvertauschungen einzelner Motoneurone lassen weiterhin darauf schließen, dass diese sich in ihrer Rekrutierungsschwelle gleichen bzw. benachbarte Einheiten bilden (vgl. Bawa et al. 2006). Diese Behauptungen werden in weiteren Untersuchungen bei langsamen Maximalkontraktionen bestätigt (vgl. Adam & DeLuca 2005), die bei ballistischen Kontraktionen ebenso Vertauschungen der Rekrutierung feststellen und letztlich zu dem Ergebnis kommen, dass dies ebenfalls an einer ähnlichen Rekrutierungsschwelle benachbarter Einheiten liegt (vgl. Desmedt & Godaux 1977, 1978; Heckmann & Binder 1990). Feiereisen, Duchateau & Hainaut (1997) beobachten bei willkürlichen Kontraktionen Vertauschungen von zwei benachbarten Einheiten nur dann, wenn der Unterschied der Rekrutierungsschwellen beider Einheiten weniger als 12% beträgt. Dieser Vertauschungseffekt wird teilweise damit begründet, dass die Spannungsbeiträge der kleineren tonischen Einheiten im Kontraktionsverlauf gegenüber den großen phasischen Einheiten mechanisch später wirksam werden, da letztere schnellere Kontraktionszeiten aufweisen (vgl. Buller, Eccles & Eccles 1960; Burke 1967). Garnett & Stephens (1980) zeigen anhand einer Elektrostimulation Vertauschungen der Rekrutierungsreihenfolge, da eine Elektrostimulation die Rekrutierungsschwellen von motorischen Einheiten herabsetzen oder erhöhen kann (vgl. Stephens, Garnett & Buller 1978). Demnach kann das Henneman'sche Rekrutierungsprinzip vorerst bei isometrischen Kontraktionen und explosiven konzentrischen Maximalkontraktionen als geltend anerkannt werden, solange es keine Untersuchungen gibt, die frei von Methodenfehlern gegenteilige Ergebnisse erbringen. Weiterhin kann eine Vertauschung der Rekrutierung benachbarter Einheiten in vereinzelt Situationen vorkommen, wenn diese eine ähnliche Rekrutierungsschwelle aufweisen. Nur durch Elektrostimulation lassen sich Vertauschungen der Rekrutierungsreihenfolge von mehreren motorischen Einheiten erzwingen. Dies widerlegt jedoch nicht das Henneman'sche Rekrutierungsprinzip der motorischen Einheiten beim Kraftverhalten der Muskulatur unter normalen physiologischen Bedingungen. Des Weiteren kann die Rekrutierung von motorischen Einheiten durch ein Krafttraining positiv beeinflusst werden. Studien zeigen, dass trainierte Sportler mehr Einheiten als untrainierte Personen rekrutieren können, was mit einer Steigerung der Maximalkraft einhergeht (vgl. Akima et al. 2000; DeLuca et al. 2006).

Der zweite wichtige intramuskuläre Faktor, der eine Kraftzunahme bewirkt, ist die Höhe der Entladungsfrequenz von rekrutierten Einheiten (vgl. Duchateau, Semmler & Enoka 2006; Petajan 1981). Ein Aktionspotential, welches auf ein Motoneuron trifft, bewirkt eine Einzelzuckung der zugehörigen Muskelfasern. Diese Einzelzuckung lässt sich durch die Merkmale Kontraktionskraft, Kontraktionszeit und Relaxationszeit beschreiben. Bei einer Reizfrequenz von 6 bis 8 Herz (Hz) lassen sich noch Einzelkontraktionen erkennen. Kommt es zu einer Erhöhung der Reizfrequenz, verschmelzen die Einzelkontraktionen (Tetanus) und es entsteht ein Kraftanstieg (vgl. Burke et al. 1973; Dietz 1985; Grimby, Hannerz & Hedman 1981; Kernell 1990; Milner-Brown, Stein & Yemm 1973a). Anhand der Abb. 14, die verschiedene Entladungsfrequenzen zeigt, ist dies nachvollziehbar. Schon bei einer Frequenz von 25Hz, die in etwa 60% der Maximalkraft entspricht (vgl. Andreassen & Rosenfalck 1980), lassen sich keine Einzelzuckungen mehr erkennen. Eine Einheit, die erstmals bei einem langsamen Kraftanstieg rekrutiert wird, innerviert je nach Muskel mit einer Frequenz von anfänglich 5Hz bis 15Hz (vgl. Dietz 1985; Duchateau, Semmler & Enoka 2006).

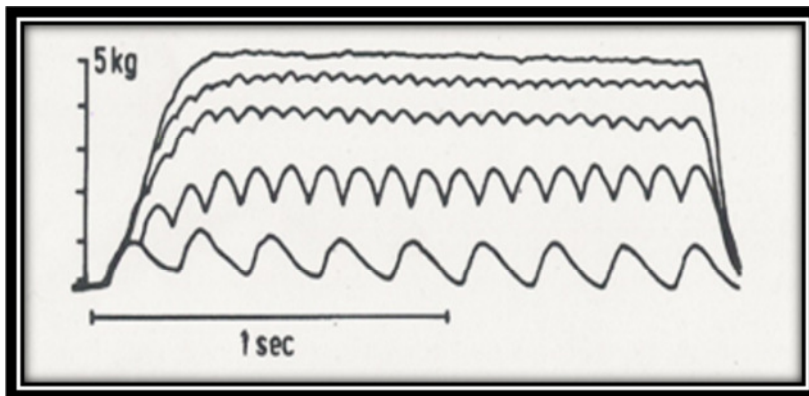


Abbildung 14: Kontraktionskurven mit unterschiedlich hohen Reizfrequenzen von 5, 10, 16, 20 und 25Hz/s (nach Dietz 1985)

Wie beobachtet werden kann, entladen sich kleine Motoneurone (slow resistance), die die langsamen Fasern innervieren, bei einem Entladungsfrequenzbereich von 10Hz bis 32Hz, große Motoneurone (fast fatigue), die die schnellen Muskelfasern innervieren, wiederum bei einem Frequenzbereich von 25Hz bis 60Hz. Weiterhin wird noch ein intermediärer Motoneuronentyp (fast resistance) beschrieben, der im Bereich von 10Hz bis 40Hz innerviert (vgl. Borg 1981; Borg, Grimby & Hannerz 1979; Burke et al. 1973). Grimby, Hannerz & Hedman (1979) können dies mit einem hohen gemessenen Zusammenhang zwischen der Höhe der Frequenzierung und den Kontraktionszeiten der einzelnen motorischen Einheiten bestätigen. Maximale Frequenzen, die während einer willkürlichen Kontraktion bei einem

Menschen gemessen worden sind, sind unter anderem abhängig vom Typ des Muskels und der Art der Aktivierung. Die Art der Kontraktion spielt dabei kaum eine Rolle. Dies können Petersen et al. (2006) in ihrer Untersuchung untermauern, da sie unter anderem keinen signifikanten Unterschied zwischen konzentrischen und exzentrischen Kontraktionen in Bezug auf die Frequenzierung motorischer Einheiten beobachten. Bei einer maximal willkürlichen Kontraktion wird eine Entladungsfrequenz von etwa 50Hz bis 60Hz erreicht (vgl. Clamann 1990; Connelly et al. 1999; DeLuca et al. 1982; Grimby, Hannerz & Hedman 1981; Ikai, Yabe & Ishii 1967, Moritani & Muro 1987; Sale 1994). Bei einer weiteren Steigerung der Entladungsfrequenz kann kaum ein weiterer Zuwachs der Maximalkraft, jedoch ein höherer Kraftanstieg festgestellt werden (siehe Abb. 15; vgl. Bührle 1993; Desmedt & Godaux 1977; Grimby, Hannerz & Hedman 1981; Milner-Brown, Stein & Yemm 1973a; Sale 1994). Auch Tanji & Kato (1981) können in ihrer Untersuchung konstatieren, dass eine explosiv ausgeführte Kontraktion zu einem schnellen Anstieg der Entladungsfrequenzen am Anfang der Kontraktion führt. Dabei werden Frequenzen von weit über 100Hz erreicht (vgl. Desmedt & Godaux 1977; Kernell 1990; Petrofsky 1979). Hier spielen die Fast-Twitch (FT)-Fasern eine große Rolle, die nur bei hohen Frequenzen rekrutiert werden. Demnach ist ein hoher Anteil an FT-Fasern für eine hohe Explosivkraft erforderlich (vgl. Moritani & Muro 1987). Dies können auch Grimby, Hannerz & Hedman (1981) zeigen, da sie bei einer hohen Entladungsfrequenz und demnach einem hohen Kraftanstieg einen schnellen und hohen Ermüdungsgrad erkennen. Diese Beobachtungen sprechen für einen hohen Anteil an schnellen motorischen Einheiten, die innerviert werden.

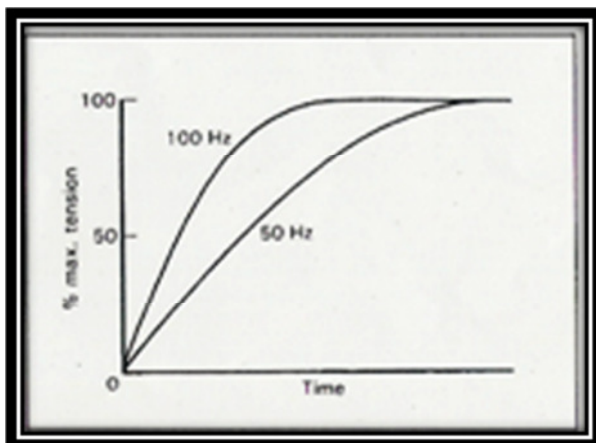


Abbildung 15: Der Einfluss verschiedener Innervationsfrequenzen auf die Kraftanstiegskurve und die Maximalkraft (nach Sale 1990 in Bührle 1993)

Es kann gezeigt werden, dass bei langsam ausgeführten Maximalkontraktionen ein Anstieg der Frequenzierung bis zu einem Plateau stattfindet (vgl. Desmedt & Godaux 1975; Milner-Brown, Stein & Yemm 1973a). Dieses Plateau wird nicht überschritten und fällt nach einiger Zeit wieder ab. Der Grund dafür wird in den schnell ermüdenden, großen phasischen Motoneuronen gesehen, die eine höhere Frequenz nicht über längere Zeit in hohe Kraftwerte umsetzen können. Dies wird zum Teil auf eine Einschränkung der axonalen Leitungsgeschwindigkeit der aktivierten Motoneurone zurückgeführt (vgl. Arendt-Nielsen, Mills & Forster 1989). Adam & DeLuca (2005) können beobachten, dass es nach einem Plateauabfall der Entladungsfrequenzen zu einer Rekrutierung neuer Einheiten kommt, um diesen Frequenzabfall zu kompensieren. Dies beschreibt den Vorgang der Ermüdung auf neuronaler Ebene recht eindeutig, da bei Ausfall anderer Einheiten so lange neue Einheiten bei Kontraktionen der Muskelfasern rekrutiert werden, bis es keine zu rekrutierenden Einheiten mehr gibt. Dies führt schließlich zu einem Aktivitätsabfall der Motoneuronen und damit einhergehend zu einem Kraftverlust (vgl. Fallentin, Jorgensen & Simonsen 1993).

Es kann als bestätigt gesehen werden, dass die Frequenzierung einen hohen Einfluss auf den Kraftanstieg und damit auf die Explosivkraft bei einer explosiv ausgeführten Maximalkontraktion haben muss. Dem widersprechend kann Hemmling (1994) feststellen, dass trotz einer Erhöhung der Frequenzierung nach einem Krafttraining mit maximalen Lasten die Explosivkraft nicht gesteigert werden kann. Dies wird unter anderem darauf zurückgeführt, dass in der Untersuchung keine explosiven Krafteinsätze durchgeführt worden sind. Demnach scheint ein explosives Arbeiten von hoher Bedeutung für die Ausprägung der Explosivkraft zu sein (vgl. Bührle & Schmidtbleicher 1981). Weiterhin wird auf supraspinale Regulationsmechanismen hingewiesen, die möglicherweise für ein hochfrequentes Entladen von Motoneuronen über einen längeren Zeitraum verantwortlich sind. Eine weitere Beobachtung im Zusammenhang mit hohen Entladungsfrequenzen bei explosiven Kontraktionen sind sogenannte Doppelentladungen (Doublets) (vgl. Aagaard & Mayer 2007; Awiszus & Feistner 1994; Bigland-Ritchie et al. 1983; Büdingen & Freund 1976; Desmedt 1981; Desmedt & Godaux 1975; Grimby & Hannerz 1981; Milner-Brown, Stein & Yemm 1973a; Müller 1987; Strojnik & Komi 1998; VanCutsem, Duchateau & Hainaut 1998; Zajac 1990). Andreassen & Rosenfalck (1980 S.900f) definieren diese Doublets wie folgt: „[...] *the criterion for a double discharge being that the interspike interval is less than half the mean interval*“. Diese Doublets sind meist am Anfang der Kontraktionen zu beobachten. Andreassen & Rosenfalck (1980) beobachten auch bei langsamen maximalen Kontraktionen

Doublets, die in etwa 30% der Kontraktionen über einen Zeitraum von 20ms auftreten (vgl. Kuchler 1983). Der zeitliche Abstand der beiden Amplituden bei einer Doppelentladung liegt zwischen 8ms und 15ms (vgl. Andreassen & Rosenfalck 1980). Jedoch sind auch schon kürzere Zeitabstände beobachtet worden, bei denen die Doppelentladungen in einem Abstand von 3ms auftreten (vgl. Awiszus & Feistner 1994). In verschiedenen Untersuchungen wird weiterhin gezeigt, dass diese Doppelentladungen zu einer Steigerung des Kraftanstiegs und der Maximalkraft führen, und dass ein längeres Halten der Maximalkraft durch niedrigere Frequenzen möglich ist (vgl. Aagaard & Mayer 2007; Andreassen & Rosenfalck 1980; Carroll et al. 2006; Strojnik & Komi 1998; Tanji & Kato 1981). Ein weiterer Mechanismus im Zusammenhang mit der Frequenzierung motorischer Einheiten, der hier beschrieben werden soll, ist die posttetanische Potenzierung. Mit der posttetanischen Potenzierung wird eine Erhöhung der Kraftentfaltung, demnach der Explosivkraft, nach einer Periode hochfrequenter Erregungen beschrieben (vgl. Güllich 1996; Hutton 1989; Müller 1987; Strojnik & Komi 1998). Dies wird durch willkürlich erzeugte Maximalkontraktionen bestätigt, bei denen eine erhebliche Steigerung der Erregbarkeit des  $\alpha$ -Motoneuronen-Pools und damit verbunden eine Explosivkraftsteigerung beobachtet wird (vgl. Güllich & Schmidtbleicher 1997). Dieser Effekt lässt sich mehrere Minuten lang nachweisen und wird bis 20min nach willkürlich ausgeführten Maximalkontraktionen festgestellt. Der Grund der posttetanischen Potenzierung wird in der synaptischen Effizienz gesehen, die nach einer an den synaptischen Verbindungen mit höchster Frequenz ausgeführten Innervation für längere Zeit erhalten bleiben kann (vgl. Güllich & Schmidtbleicher 2000). Dieser Effekt wirkt sich hauptsächlich in den schnellen FT-Fasern aus. Die posttetanische Potenzierung wird im Hochleistungssport, speziell im Bereich von azyklischen und zyklischen Schnellkraftsportarten, während einer Aufwärmphase für eine kurzfristige Erhöhung der Wettkampfleistung genutzt. Dennoch scheinen die Anpassungen bezüglich der Länge der posttetanischen Potenzierung individuell unterschiedlich zu sein.

Die Synchronisation ist der dritte Mechanismus der intramuskulären Koordination. Unter der Synchronisation wird das nahezu gleichzeitige Aktivieren der motorischen Einheiten verstanden (vgl. DeLuca et al. 1982; Güllich & Schmidtbleicher 2000; Semmler et al. 2002; Tihanyi 1987). Durch diesen Vorgang werden die Muskelfasern ebenfalls nahezu gleichzeitig kontrahiert, wodurch die schnellen Fasern die maximale Spannung zu einem früheren Zeitpunkt erreichen können (vgl. Büdingen & Freund 1976). Dabei kann der Bereich, in dem die Aktivierung der motorischen Einheiten zusammengeschoben wird, bei 20ms liegen (vgl. Bührle 1993; Buller, Eccles & Eccles 1960; Buller, Garnett & Stephens 1980; Desmedt



1981). Dieser Vorgang läuft unter dem Henneman'schen Rekrutierungsprinzip ab und es kommt zu keinen Vertauschungen der Rekrutierungsreihenfolge. Dieser Synchronisationseffekt wird vor allem bei explosiv ballistischen Kontraktionen beobachtet (vgl. Desmedt 1981; VanCutsem, Duchateau & Hainaut 1998). Die Synchronisation wirkt sich eher gering in einer Steigerung der Maximalkraft aus, viel mehr und vor allem in der Steigerung der Explosivkraft. Ein Sportler mit einer hohen Synchronisation von motorischen Einheiten besitzt demnach ein hohes Explosivkraftvermögen (vgl. Tihanyi 1987). Die Höhe der Synchronisation von motorischen Einheiten ist abhängig von der Art des Kontraktionstyps (vgl. Tax et al. 1989), der Spezifität der Bewegung (vgl. Duchateau, Semmler & Enoka 2006; Semmler et al. 2002) und dem Leistungsstand des Sportlers (vgl. Semmler & Nordstrom 1998). So zeigen Semmler & Nordstrom (1998), dass Sportler mit Krafttrainingserfahrung eine höhere Synchronisation aufweisen als untrainierte Personen (vgl. Moritani & Muro 1987). Weiterhin kann ein Krafttraining zu einer verbesserten Synchronisation von motorischen Einheiten führen (vgl. VanCutsem, Duchateau & Hainaut 1998). Die Höhe der Synchronisation von motorischen Einheiten wird von der kortikospinalen Aktivität während der Kontraktion beeinflusst und spiegelt sich im Oberflächen- oder integrierten EMG wider (vgl. Carroll et al. 2006; Kim et al. 2001; Moritani 1994; Semmler et al. 2002; Semmler & Nordstrom 1998). Kim et al. (2001) können nachweisen, dass verschiedene Muskeln unterschiedliche Synchronisationen von motorischen Einheiten aufweisen. Mit Hilfe eines Synchronisationsindex zeigen sie, dass die motorischen Einheiten distaler Muskeln eine höhere Synchronisation als die der proximalen Muskeln besitzen. Die gemessenen Synchronisationseffekte an den Muskeln werden jedoch mit niedrigen Entladungsfrequenzen bis 15Hz beobachtet. Diese bei nicht ballistisch ausgeführten Kontraktionen niedrigen Frequenzen rekrutieren nur langsame tonische Fasern und sagen nichts über das mögliche Zusammenschieben der Rekrutierung bei schnell ausgeführten Kontraktionen aus. Weiterhin muss beachtet werden, dass bei der Methode des Synchronisationsindex sehr hohe Standardabweichungen verzeichnet werden. Weiterhin kann festgestellt werden, dass bei submaximalen Innervationsfrequenzen eine asynchrone Ansteuerung der Motoneurone zu höheren Kraftwerten führt als eine synchrone Ansteuerung, was bei maximalen Kontraktionen anscheinend eine eher untergeordnete Rolle spielt (vgl. Rack & Westbury 1969). Dies lässt darauf schließen, dass die Synchronisation von motorischen Einheiten bei Willkürkontraktionen keinen oder einen nur geringen Einfluss auf die Maximalkraftleistung hat (vgl. Behm 1995).

Zusammenfassend kann angenommen werden, dass eine Erhöhung der Rekrutierung, Frequenzierung und Synchronisation von motorischen Einheiten zu einem verbesserten Explosiv- und Maximalkraftvermögen führen. Der Ablauf dieser Prozesse kann diesbezüglich durch ein geeignetes Krafttraining verbessert werden.

### 2.3.2 Morphologische Anpassungen an ein Krafttraining

Zu den morphologischen Anpassungen wird in erster Linie die Muskelquerschnittsvergrößerung über ein Dickenwachstum der beanspruchten Muskelfasern gezählt (vgl. Baechle & Earle 2000). Dieser Mechanismus wird als Hypertrophie bezeichnet. Unter der Hypertrophie der Muskulatur wird eine Steigerung des Gehalts der Myofibrillenzahl, die die kleinsten Einheiten im Muskel darstellen und den Vorgang durch eine Längsaufspaltung in zwei bis drei Untereinheiten vollziehen, verstanden (vgl. Goldspink 1994). Durch diesen Vorgang kommt es zum einen zu einer Vergrößerung des Myofibrillenquerschnitts und zum anderen zu einer Vergrößerung der Gesamtoberfläche. Die Veränderungen der Faserquerschnittsfläche der verschiedenen Muskelfasertypen verlaufen nicht gleich. Es hat den Anschein, dass die Typ II Fasern bevorzugt Hypertrophieanpassungen zeigen, hingegen die Typ I Fasern meist nur in geringem Maße hypertrophieren (vgl. Cristea et al. 2008; Goldspink 1994; MacDougall 1994; MacDougall et al. 1980; Staron et al. 1989). Die Begründung liegt darin, dass die Typ II Fasern, die unter Alltagsbelastungen kaum gefordert werden, bei einem Krafttraining mit submaximalen bzw. maximalen Lasten höher beansprucht werden als die Typ I Fasern. Weiterhin wird darüber diskutiert, inwiefern eine hohe Spannung auf die Muskulatur oder aber die Ausschöpfung der Energiespeicher der entscheidende Faktor ist für die Auslösung der Hypertrophiemechanismen ist (vgl. MacDougall et al. 1980; Wirth 2007). Als gesichert kann jedoch gelten, dass sowohl eine hohe Muskulaturspannung (vgl. Davies et al. 1988; Gondin et al. 2006) als auch eine Ausschöpfung der Energiespeicher zu einer Querschnittszunahme von Muskelfasern führen kann (vgl. Goto et al. 2005; Schott, McCully & Rutherford 1995). Ein weiterer Mechanismus, der mit hoher Sicherheit mit der Hypertrophie in Verbindung steht, ist die Traumatisierung einzelner Muskelfasern. Diese Traumatisierung kann nur durch hohe Spannungen erreicht werden, die bei exzentrischen Arbeitsweisen der Muskulatur am Höchsten sind (vgl. Clarkson, Nosaka & Braun 1992; Donnelly, Clarkson & Maughan 1992; Ebbeling & Clarkson 1990; Endoh et al. 2005; Friden & Lieber 1992; Heinemeier et al. 2007). Eine gesteigerte Proteinsynthese, die durch eine gesteigerte Calciumkonzentration im Sarkoplasma auftritt, da

das Calcium die Ribonukleinsäure-Synthese von Proteinen anregt, geht mit der Erzeugung von Traumatisierungen einher (vgl. Baechle & Earle 2000; Boonyarom & Inui 2006; Goldspink 1994; Kraemer et al. 2006; Saltin & Gollnick 1983; Tihanyi 1987). So können auch Kraemer et al. (1998) zeigen, dass ein Krafttraining im Hypertrophiebereich über acht Wochen zu einer Erhöhung von Wachstumshormonen führt. Durch eine Traumatisierung der Muskelfasern kommt es weiterhin zu einem Einsatz einer Art Stammzellen, die Satellitenzellen genannt werden (vgl. Liu et al. 2007). Diese befinden sich außerhalb des Sarkoplasmas und stammen aus Myoblasten. Die Satellitenzellen sorgen dafür, dass den Muskelfasern während ihrer Ausreifung die für das Längen- und Dickenwachstum erforderlichen Zellkerne zugefügt werden. Kommt es zu Zellschädigungen, wie dies bei einer Traumatisierung von Muskelfasern der Fall ist, werden die Satellitenzellen aktiviert, woraufhin sie proliferieren, zu der traumatisierten Stelle wandern und einen neuen Muskelschlauch bilden, der mit der geschädigten Muskelfaser verschmilzt. Kadi et al. (2004) beobachten während eines dreimonatigen Hypertrophietrainings ein Ansteigen der Satellitenzellenkonzentration um 19% nach 30 Tagen und um 31% nach 90 Tagen, was auf längere Umbauprozesse an der Muskulatur nach einer Trainingsintervention hindeutet. Als Regulatoren für die Aktivierung von Satellitenzellen dienen die Wachstumshormone wie z.B. Insulinlike growth factor-I (IGF-1) oder Testosteron, denen Hypertrophie auslösende Eigenschaften zugeschrieben werden und die nach einem Krafttraining in erhöhter Konzentration in der Muskulatur vorkommen (vgl. Adams et al. 2007; Boonyarom & Inui 2006; Heinemeier et al. 2007; Kraemer et al. 2006; Lee et al. 2004; Steinacker et al. 2002). IGF-1 zeigt eine stimulierende Wirkung auf die Satellitenzellenaktivierung, die sich jedoch nur lokal äußert (vgl. Liu et al. 2007). Ähnlich dem IGF-1 wirkt der mechano growth factor (MGF), welcher eine Variante des IGF-1 darstellt, jedoch auf eine körperliche Belastung schneller und kürzer reagiert. Darüber hinaus wirken aber auch die Myogene wie z.B. Myostatin. Das Myostatin kann als Gegenspieler des IGF-1 definiert werden, da es in einem atrophierten Muskel in erhöhter Konzentration vorkommt (vgl. Adams et al. 2007) und eine hemmende Wirkung auf die Satellitenzellenaktivierung ausübt sowie negativ mit dem IGF-1 korreliert (vgl. Liu et al. 2007). Ein Krafttraining, das auf einen Hypertrophieeffekt zielt, nimmt weniger Einfluss auf das zirkulierende IGF-1, sondern reduziert das im Plasma vorhandene Myostatin (vgl. Heinemeier et al. 2007). Dabei ist sowohl die Produktion des IGF-1 als auch die Reduktion von Myostatin nach einem Training mit exzentrischen Kontraktionen höher als bei isometrischen oder konzentrischen Kontraktionen (vgl. Heinemeier et al. 2007). Dies weist auf eine höhere Traumatisierung von Muskelfasern bei

exzentrischen Kontraktionen hin. Es wird weiter festgestellt, dass die Satellitenzellenanzahl mit dem Wachstumsprozess des Körpers abnimmt und bei einem gesunden erwachsenen Menschen in etwa 4% beträgt (vgl. MacDougall 1994). Eine genaue Erkenntnis darüber, wie sich die Satellitenzellenkonzentration im Muskel nach einer Proliferation wiederherstellt, ist derzeit noch nicht vorhanden. Nach der Erkenntnis durchgeführter Messungen kehrt jedoch ein Teil der proliferierten Satellitenzellen wieder in den Ruhezustand zurück. Neben den Satellitenzellen gibt es weitere Stammzellen, die in den Regenerationsprozess der Muskulatur eingreifen. Diese Stammzellen werden multipotente Muskelstammzellen genannt. Angenommen wird, dass sie neben den Eigenschaften beim Regenerationsprozess des Muskels auch die Eigenschaft besitzen, zu Nichtmuskelzellen zu differenzieren (vgl. Bloch & Brixius 2006). Weiterhin wird beobachtet, dass nicht nur die im Bereich des Muskels ansässigen Satellitenzellen am Regenerationsprozess teilnehmen, sondern auch Knochenmarkzellen eingreifen können. Dabei werden die Knochenmarkzellen in Satellitenzellen differenziert und führen somit zu einer Steigerung der Muskelregeneration (vgl. Bloch & Brixius 2006). Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es einige bekannte Varianten an Stammzellen gibt, die beim Prozess der Muskelregeneration beteiligt sind, jedoch noch keine klare Vorstellung über die genauen Abläufe der verschiedenen Teilprozesse besteht. Ein weiterer Effekt eines Hypertrophietrainings ist der Ermüdungsgrad der Muskulatur, der innerhalb einer TE abhängig vom Belastungsvolumen und der Belastungsintensität stetig zunimmt (vgl. Schott, McCully & Rutherford 1995). Es wird beobachtet, dass ermüdete Fasern ausgeschaltet und durch eine Aktivierung neuer Fasern ersetzt werden (vgl. Adam & DeLuca 2005). Ein Einsetzen eines großen Muskelfaserpools im Training setzt demnach einen hohen Ermüdungsgrad voraus. Innerhalb eines Trainings kommt es zu immer höheren Ermüdungszuständen, in denen stetig Muskelfasern durch hohe Spannungen zu Mikrotraumen gezwungen werden. Kurze Pausen zwischen den Sätzen dienen daher der Auffüllung der Kreatinphosphatspeicher, die als Energielieferant während einer Kontraktion fungieren. Die Kreatinphosphatspeicher sind nach intensiven Belastungen bei einer Pause von etwa 6min zu 80% gefüllt (vgl. Bogdanis et al. 1995). Ein komplettes Auffüllen der Speicher erfolgt nach etwa 7min bis 8min (vgl. Haseler, Hogan & Richardson 1999). Dieses Auffüllen ist nötig, um nach ermüdenden Sätzen weiterhin Kontraktionen in einem hohen Spannungsbereich ausführen zu können. Aus diesem Grund ist die Vorgabe des Belastungsvolumens und der Belastungsintensität eines Trainings in Bezug auf Hypertrophieeffekte nicht willkürlich zu wählen, sondern bedarf einer genauen Definition.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Hypertrophie der Muskelfasern durch mehrere Mechanismen bestimmt wird. Welcher Mechanismus den höheren Einfluss auf die Hypertrophieprozesse bewirkt, kann im aktuellen Forschungsstand nicht konkret definiert werden. Weiterhin sind Hypertrophieprozesse abhängig von Belastungsvolumen und Belastungsintensität, wobei festgehalten werden muss, dass das Optimum zwischen diesen beiden Parametern noch nicht genau bestimmt ist (vgl. Wirth 2007), sondern eher eine grobe Einschätzung erfolgen muss. Diese Schwierigkeit in der Abwägung des Optimums zeigt eine Studie von Häkkinen et al. (1987), in der finnische Gewichtheber ein Jahr lang in ihrem Training beobachtet werden, und in diesem Zeitraum kaum Verbesserungen der muskulären Eigenschaften und der Wettkampfleistungen zu verzeichnen sind.

ein weitaus häufiger diskutierter Aspekt im Krafttraining ist der mögliche Adaptationsmechanismus der Hyperplasie. Unter Hyperplasie wird eine Vergrößerung eines Gewebes bzw. Organs durch die Zunahme der Zellanzahl verstanden. Bezüglich des Krafttrainings betrifft dies die Faseranzahl in einem Muskel. Dieser mögliche Adaptationsvorgang ist beim Menschen nach einem Krafttraining bis zum heutigen Zeitpunkt nicht nachgewiesen. Zwar weisen Tesch & Larsson (1982) sowie MacDougall et al. (1982) darauf hin, dass einzelne Bodybuilder eine höhere Muskelfaseranzahl aufweisen als untrainierte Personen, dies jedoch auf genetische Determinierungen zurückzuführen ist. Weiterhin werden nach einem Krafttraining über sechs Jahre bei Bodybuildern keine signifikanten Unterschiede zwischen Bodybuildern und untrainierten Personen in Bezug auf die Muskelfaseranzahl beobachtet (vgl. MacDougall 1994), was darauf hinweist, dass ein Krafttraining beim Menschen nicht zu einer Vergrößerung der Muskelfaseranzahl führt. Dies können auch McCall et al. (1996) bestätigen, da nach einem Krafttraining im Hypertrophiebereich über acht Wochen keine Vermehrung von Muskelfasern erfasst worden ist. Der Unterschied zwischen Bodybuildern und untrainierten Personen liegt demnach in der Fläche der Muskelfasern begründet.

Neben den beiden Effekten der Hypertrophie und der Hyperplasie zählt auch die Verschiebung des Muskelfaserverhältnisses innerhalb eines Muskels zu den möglichen morphologischen Anpassungsmechanismen durch eine Krafttrainingsintervention. Anhand ihres Kontraktionsverhaltens werden die Muskelfasern in Slow-Twitch (ST) und FT-Fasern unterteilt (vgl. Grimby & Hannerz 1977; Saltin & Gollnick 1983). Die FT-Fasern können durch eine hohe Kontraktionsgeschwindigkeit viel Kraft entfalten, ermüden jedoch schnell,

während die ST-Fasern durch eine geringere Kontraktionsgeschwindigkeit nur geringe Kraftwerte entfalten, aber ermüdungsresistenter sind als die FT-Fasern (vgl. Borg 1981; Borg, Grimby & Hannerz 1979; Burke et al. 1973; Grimby & Hannerz 1977; Grimby, Hannerz & Hedman 1979). Weiterhin kann aufgrund des Kontraktionsverhaltens festgestellt werden, dass FT-Fasern zu differenzieren sind. In Untersuchungen kann ein Pool an FT-Fasern gemessen werden, der nicht so schnell ermüdet wie andere FT-Fasern. Dieser Fasertyp stellt einen intermediären Typ zwischen ST-Fasern und FT-Fasern dar (vgl. Borg 1981; Burke et al. 1973). Eine weitere Unterteilung der Muskelfasern lässt sich anhand von Charakteristika des Energiestoffwechsels vornehmen, die jedoch eine genaue Unterscheidung zwischen Muskelfasertypen nicht ermöglicht (vgl. Pette 1999). Diese Unterteilung unterscheidet zwischen slow-oxidative-Fasern, fast-oxidative-glycolytic-Fasern und fast-glycolytic-Fasern und gleicht der Einteilung auf der Basis des Kontraktionsverhaltens (vgl. Goldspink 1983; Noth 1994; Komi 1989). Diese Terminierung von Muskelfasern wird in der Literatur jedoch nicht einheitlich benutzt. So werden für die drei Fasertypen auch die Bezeichnungen I, IIA und IID angewandt. Anhand der ATPase Färbemethode zur Bestimmung der verschiedenen Muskelfaserkonzentrationen im Muskel sind weitere Muskelfasertypen zu beobachten, welche als Typ IC und IIC (auch als Typ I/IIA bekannt) bezeichnet werden und intermediäre Fasertypen (Hybridfasern) zwischen Typ I und Typ II, die mehr als nur eine MHC-Isoform zur Charakterisierung der Eigenschaften besitzen, darstellen (vgl. Andersen & Aagaard 2000; Campos et al. 2002; Goldspink 1983; Korhonen et al. 2006; Saltin & Gollnick 1983). Auch der Fasertyp IIAD ist erfasst worden, der einen intermediären Typ zwischen IIA und IID darstellt (vgl. Andersen & Aagaard 2000; Korhonen et al. 2006), jedoch eher dem Typ IID als dem Typ IIA gleicht (vgl. Staron et al. 1989). Die beiden Fasertypen IC und IIC stellen laut Korhonen et al. (2006) nur einen prozentualen Anteil von weniger als 1% dar (vgl. auch Campos et al. 2002; Staron et al. 1989). Dies ist womöglich der Grund, warum diese beiden Typen auf physiologischer Basis der Motoneurone nicht nachgewiesen sind (vgl. Goldspink 1983). Diese intermediären Typen tauchen meist bei Umwandlungsprozessen auf und bilden ein Zwischenprodukt während dieses Prozesses (vgl. Steinacker et al. 2002). Williamson et al. (2001) finden in einer Untersuchung hingegen einen hohen Anteil an Hybridfasern bei Männern und Frauen. Dabei stellen die Typ IIA/D Fasern den größten Anteil der Hybridfasern. Weiterhin zeigen sie nach dem durchgeführten Krafttraining eine erhebliche Reduktion der Hybridfasern. Der anfänglich hohe Anteil der Hybridfasern bei untrainierten Personen liegt möglicherweise im niedrigen Grad des Trainingszustands begründet. Bei trainierten Sportlern ist eine Anpassung an die spezifischen Voraussetzungen der Sportart

gegeben und dementsprechend sind schnelle oder langsame Fasern vorhanden und der Anteil der Hybridfasern daher gering (vgl. Campos et al. 2002). Letztlich muss festgehalten werden, dass es erhebliche interindividuelle Unterschiede in den histochemischen Eigenschaften gleicher Muskelfasertypen gibt und daher eine eindeutige Einteilung der verschiedenen Fasertypen schwierig ist. Demnach können die als reine Fasertypen bekannten I, IIA und IID definitiv als Einflussfaktoren in Bezug auf das Kraftverhalten angenommen werden. Die weiteren Typen (Hybridfasern) sind in ihrem prozentualen Anteil zu gering, um einen Einfluss auf die Krafteigenschaften zu nehmen, da sie nur durch Umbauprozesse in Erscheinung treten (vgl. Andersen & Aagaard 2000; Campos et al. 2002; Staron et al. 1989).

Die Muskelfasertypen werden in ihren kontraktiven Eigenschaften und ihrer Nomenklatur durch die verschiedenen Isoformen des Myosins bestimmt, welche sich nur geringfügig in ihrer biochemischen Struktur von dem eigentlichen Molekül unterscheiden. Diese Myosin-Isoformen (MHC) differenzieren untereinander in der Geschwindigkeit der ATPase Wirkung. Eine Problematik dieser Unterteilung der Muskelfasern in Bezug auf ihre MHC besteht darin, dass bei Skelettmuskeln von Säugetieren und Menschen bis zu sechs unterschiedliche MHC definiert werden können (vgl. Andersen & Aagaard 2000; Campos et al. 2002; Carroll et al. 1998; Dugaard & Richter 2001; Jürimäe et al. 1997; Korhonen et al. 2006; Lee et al. 2004; Liu et al. 2003; Paddon-Jones et al. 2001; Pette 1999; Shepstone et al. 2005; Steinacker et al. 2002; Williamson et al. 2001), die sich in ihrer Aminosäuresequenz innerhalb der Enden der Myosinketten ergeben. Dies sind unter anderem die MHC-Isoformen I, Iia, Iid und Iib, wobei die Isoform Iid in der englischen Literatur mit Iix beschrieben wird (vgl. Steinacker et al. 2002). Die MHC Iib kann neben der MHC Iix bei kleinen Säugetieren beobachtet werden, was beim Menschen laut Dugaard & Richter (2001) in hoch spezialisierten Muskeln ebenfalls vorkommen kann, wobei der Nachweis bisher fehlt. Demnach müsste neben der MHC Iix auch eine MHC Iib für den Menschen definiert werden. Pette (1999) hingegen stellt fest, dass das Vorkommen der MHC Iib und dem damit verbundenen Typ IIB mit der Größe des Körpers bzw. der Entwicklung des Organismus in Abhängigkeit von der Art der Säugetiere abnimmt. Dies bestätigt die Tatsache, dass es bis heute keinen Nachweis über den Typ IIB im menschlichen Muskel gibt. Ein Grund für die Behauptung von Dugaard & Richter (2001) könnte die Tatsache sein, dass es zu einer Fehlinterpretation bezüglich des Unterschieds zwischen Typ IID und Typ IIB kommt. Dies zeigt schon die Schwierigkeiten der genauen Einteilung verschiedener Muskelfasertypen und ihrer MHC Isoformen, da es bereits bei der Terminierung der verschiedenen Typen keine einheitlichen Angaben gibt. Als

gesichert gilt die Aussage, die sich auch in der Literatur am häufigsten findet, dass beim Menschen eine klare Unterteilung in MHC I, MHC IIa und MHC IIb/IIx vorliegt. Die Eigenschaften des Muskels bezüglich der Maximalkraft und der Schnellkraft werden durch das Fasertypenverhältnis mit bestimmt (vgl. Fry & Newton 2002; Güllich & Schmidtbleicher 2000; Saltin & Gollnick 1983). Ein Muskel mit einem hohen Anteil an Typ II Fasern führt zu einer höheren Maximal- und Schnellkraft aufgrund der verbesserten Kontraktionskraft und Kontraktionsgeschwindigkeit (vgl. Aagaard & Andersen 1998). Dies kann durch einen hohen Typ II Faseranteil bei Sportlern von Schnellkraftsportarten belegt werden (vgl. Howald 1985). So können bei 50m-Schwimmern im m. vastus lateralis bis zu 80% schnelle Fasern gefunden werden, bei Radfahrern hingegen bis zu 80% langsame Fasern im gleichen Muskel (vgl. Billeter & Hoppeler 1994). Tesch, Karlsson & Sjödin (1979) können dies in einer Untersuchung mit verschiedenen Hochleistungssportlern bestätigen. Sie finden im m. vastus lateralis von Mittel- und Langstreckenläufern die höchsten Typ I Faseranteile mit 67%, bei Eishockeyspielern und Kajakruderern die geringsten mit 41% bzw. 42%. Beim m. deltoideus können sie die höchsten Typ I Faseranteile bei Kajakruderern mit 73%, die geringsten bei Mittel- und Langstreckenläufern sowie Sportstudenten mit 50% messen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch Tesch & Larsson (1982), die bei Bodybuildern im m. vastus lateralis einen Anteil von 44% Typ II Fasern, bei Sportstudenten einen Anteil von 50% und bei Gewichthebern einen Anteil von bis zu 62% finden. Demnach passt sich der Muskel in Bezug auf die Muskelfaserverteilung an die verschiedenen Sportarten mit ihren spezifischen Voraussetzungen an. Wie zu beobachten ist, weisen gerade Sportler, die aus Schnellkraftsportarten kommen, einen hohen Anteil an schnellen Fasern auf (vgl. Tesch & Larsson 1982). Dies kann auch von Schele & Kaiser (1979) bestätigt werden, die einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit im 40m Sprint bzw. dem 2000m Lauf und dem Typ II Faseranteil von  $r = .73$  bzw.  $r = -.60$  beobachten. Weiterhin wird festgestellt, dass ein hoher Typ I Faseranteil im Muskel zu einer längeren Dauer der Kraftentwicklung bis zum Maximum führt (vgl. Viitasalo & Komi 1978).

Das numerische Verhältnis zwischen den schnellen und langsamen Fasern ist weitgehend genetisch determiniert (vgl. Güllich & Schmidtbleicher 2000). *„Experimentelle Umwandlungen von Muskelfasertypen durch Kreuzinnervation und Elektrostimulation haben gezeigt, dass neben der genetischen Disposition die Reizkonfiguration entscheidend ist. Eine Entwicklung hin zur Typ I Faser findet statt, wenn niederfrequente tonische Reize gesetzt werden und hochfrequente phasische Aktivierungen unterbleiben und umgekehrt“*



(Schmidtbleicher 1994, S.131). Liu et al. (2003) weisen nach, dass es durch ein Training mit maximalen Kontraktionen und ballistischen Bewegungen zu einer Verschiebung der MHC-Isoformen von MHC I zu MHC IIa kommt (vgl. Carroll et al. 1998; Schlumberger et al. 2001). Dies ist einer der wenigen Hinweise auf eine Verschiebung von langsamen hin zu schnellen Fasern durch Trainingsmaßnahmen (vgl. auch Häkkinen 1986; Kadi & Thornell 1999; Tesch, Komi & Häkkinen 1987). Auch Paddon-Jones et al. (2001) zeigen eine Verschiebung von langsamen hin zu schnellen Muskelfasern und können eine Zunahme der Typ IIX Fasern durch schnell ausgeführte exzentrische Kontraktionen in der Isokinetik beobachten. Der umgekehrte Weg kann hingegen in mehreren Studien beobachtet werden. So zeigen unter anderem Liu et al. (2003), dass ein Krafttraining mit submaximalen oder maximalen Kontraktionen zu einer Verschiebung von MHC IIX hin zu MHC IIa führt (vgl. auch Andersen & Aagaard 2000; Andersen et al. 2005; Carroll et al. 1998; Gillies, Putman & Bell 2006; Harber et al. 2004; Hather et al. 1991; Houston et al. 1983; Kadi & Thornell 1999; Schlumberger et al. 2001; Shepstone et al. 2005; Staron et al. 1989; Williamson et al. 2001; Willoughby & Rosene 2001). Campos et al. (2002) beobachten ebenfalls, dass es durch ein Krafttraining zu einer Reduktion der Typ IIX Fasern und einer Vermehrung der Typ IIX Fasern kommt (vgl. Boonyarum & Inui 2006). Auch Staron, Herman & Schuenke (2012) zeigen in ihrer Untersuchung eine signifikante Abnahme der Typ IIX Fasern sowie eine Zunahme der Typ IIX und IIA Fasern. Dies weist auf eine Verschiebung zu Typ IIA hin. Jürimäe et al. (1997) erfassen einen höheren MHC-IIX Anteil bei Untrainierten gegenüber Bodybuildern und Personen, die regelmäßig Krafttraining durchführen. Hingegen weisen sie einen weitaus geringeren Anteil an MHC-IIa auf. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Krafttraining zu einer Verminderung der Typ IIX Fasern führt, die als die schnellsten Fasern der menschlichen Muskeln gelten. Daraus resultieren praktische Probleme im Schnellkrafttraining, da das Ziel eigentlich im Steigern der Typ IIX Fasern bestehen sollte, weil diese Fasern die schnellsten kontraktile Eigenschaften besitzen. Steinacker et al. (2002) sehen den Grund für die Verminderung der schnellen Typ IIX Fasern in der Ermüdung, dem Glycogenmangel, dem Proteinabbau und der verminderten Expression von MHC-IIX durch ein Krafttraining. Weiterhin besteht die Annahme, dass die Expression der MHC-IIX stark von der Ernährungssituation abhängt (vgl. Steinacker et al. 2002). Komi et al. (1979) können sowohl durch ein Krafttraining mit hohen Lasten als auch durch ein Schnellkrafttraining keine signifikanten Veränderungen des Typ I Faseranteils beobachten (vgl. Häkkinen 1986; Tesch, Komi & Häkkinen 1987). Hier ist jedoch zu beachten, dass es bei der Messung der Biopsien zu hohen Standardabweichungen gekommen ist. Gillies, Putman & Bell (2006) können eine

kontraktionsspezifische Veränderung im Fasertypenverhältnis beobachten. So wird bei exzentrischen Kontraktionen eine prozentuale Steigerung der Typ I Fasern zu Ungunsten der Typ IIA Fasern gefunden, bei konzentrischen Kontraktionen hingegen nicht. Kyröläinen et al. (2005) können keine Veränderungen der Faseranteile verschiedener Typen und Isoformen nach einem reinen Sprungkrafttraining über 15 Wochen messen (vgl. Tesch, Komi & Häkkinen 1987). Hingegen beobachten Willoughby & Rosene (2001) nach einem Krafttraining mit hohen Lasten über zwölf Wochen eine Steigerung des Typ I Faseranteils. Hier muss jedoch der Einfluss von Kreatin berücksichtigt werden, welches die Probanden während der Trainingsphase eingenommen haben.

Eine Verschiebung der Muskelfasern erfolgt immer über den gleichen Weg, von IIX zu IIA zu I oder umgekehrt (vgl. Dagaard & Richter 2001; Tesch 1987). Ein nach einem Krafttrainingsblock eingesetztes Detraining zeigt unerwartete Ergebnisse bezüglich der Fasertypenverteilung. So können Tesch, Komi & Häkkinen (1987) zeigen, dass nach einer Detrainingsphase von drei Monaten nach einem Krafttraining von sechs Monaten die Typ II Fasern in Bezug auf die Anfangswerte immer noch signifikant höher sind als die Typ I Fasern. Auch Andersen et al. (2005a) können nach einer Detrainingsphase einen signifikant höheren Isoformanteil des MHC-IIx gegenüber dem Anfangswert beobachten (vgl. Andersen & Aagaard 2000). Dies weist daraufhin, dass es zu einer Rücktransformation von Typ IIA zu Typ IIX kommt, wenn keine Trainingsreize mehr gesetzt werden (vgl. Howald 1985). Weiterhin scheint es, dass die Typ IIX Fasern nicht in dem Maße wie die Fasertypen IIA und I atrophieren (vgl. Boonyarum & Inui 2006; Korhonen et al. 2006).

### **2.4 Krafttrainingsmethoden**

In der Sportpraxis werden zur Trainingssteuerung diverse Trainingsmethoden angewandt, die auf trainingswissenschaftlicher Basis aufbauen. Diese Methoden unterscheiden sich in fünf Belastungsnormativa, die charakteristisch für eine Trainingsmethode sind. Dazu zählen Belastungsdichte, -häufigkeit, -umfang, -dauer und -intensität. Die physiologischen Anpassungen an das Training resultieren aus der Variation dieser Belastungsnormativa. Im Krafttraining werden ebenfalls mehrere Trainingsmethoden (siehe Tab. 3) mit den unterschiedlichen Zielsetzungen in der Adaptation des Organismus unterschieden.

Tabelle 3: Krafttrainingsmethoden und Zielsetzungen (modifiziert nach Güllich & Schmidtbleicher 2000)

<b>Trainingsmethode</b>	<b>Zielsetzung</b>
<b>Methode der wiederholten submaximalen Krafteinsätze</b>	- Hypertrophie
<b>Methode der maximalen Kontraktionen</b>	- Steigerung der Maximalkraft - Ausschöpfung des neuronalen Potentials der Muskulatur
<b>Reaktivkrafttraining / Plyometrisches Training</b>	- Verbesserung des Innervationsverhaltens der Muskulatur
<b>Kraftausdauertraining</b>	- Erhöhung der Enzymaktivität - Erhöhung der Kapillarisierung - Verbesserung der Maximalkraft

### 2.4.1 Methode der wiederholten submaximalen Krafteinsätze

Die Methode der wiederholten submaximalen Krafteinsätze, die bis zur Erschöpfung der Muskulatur durchgeführt werden sollen, wirkt besonders effektiv auf die Muskelquerschnittsvergrößerung (vgl. Wirth 2007). Die Belastungsnormativa dieser Trainingsmethode (siehe Tab. 4) beinhalten 6 bis 20 WDH, wobei sich WDH von 15 bis 20 hauptsächlich für die Bauch- und Wadenmuskulatur eignen, da diese in der Regel einen höheren Anteil langsamer Muskelfasern aufweisen. Je nach Trainingszustand sind zwei bis mehr als sechs Serien pro Übung bzw. Muskelgruppe sowie 2min bis 5min Pausendauer, in Abhängigkeit von der arbeitenden Muskelmasse sowie den Kontraktionsgeschwindigkeiten von langsam bis zügig durchzuführen (vgl. Güllich & Schmidtbleicher 2000; Wirth 2007). Als besonders effektiv für ein Muskelwachstum werden Wiederholungsbereiche zwischen 6 und 10 WDH angegeben, da dieser Wiederholungsbereich eine hohe Spannung der Muskelfasern voraussetzt, die das Muskelwachstum am wirksamsten stimuliert (vgl. Güllich & Schmidtbleicher 2000), und das Nervensystem gezwungen ist, die Muskulatur auf ein hohes Aktivierungsniveau zu bringen (vgl. Wirth 2007). Dies kann mit zahlreichen Studien gefestigt werden, in denen in diesen Wiederholungsbereichen ein großer Muskelzuwachs zu beobachten ist. So können bei 6 bis 12 WDH in unterschiedlichen Muskelgruppen Zuwächse von unter anderem 17,8% (vgl. Bührle 1985), 13% (vgl. Conley et al. 1997; Goto et al. 2005), 10% (vgl. Aagaard et al. 2001; Andersen et al. 2005), 7% bis 9% (vgl. Seynnes, De Boer & Narici 2007; Shepstone et al. 2005) und 3,9% bis 7,4% (vgl. Wirth 2007; Wirth & Schmidtbleicher 2007) des Muskelquerschnitts je nach Kontraktionsform, Länge bzw. Umfang des Trainings und Leistungszustand der Personen beobachtet werden. Munn et al.

(2005) stellen ebenfalls nach einem siebenwöchigen Krafttraining mit 6 bis 8 WDH pro Satz bis zum Versagen der Muskulatur eine Steigerung des Oberarmumfangs fest. Zusätzlich finden sich auch Studien, die mit niedrigeren Wiederholungszahlen ebenfalls eine Verbesserung des Muskelquerschnitts erreichen. So können Campos et al. (2002) keine signifikanten Unterschiede im Muskelwachstum zwischen zwei Gruppen in den Übungen Kniebeuge, Beinpresse und Leg Extension beobachten, die über acht Wochen einmal mit 3 bis 5 WDH und einmal mit 6 bis 8 WDH trainiert haben. Dies bestätigt die Tatsache, dass die Spannung der Muskulatur eine entscheidende Rolle für das Muskelwachstum spielt. Weitere Einflussgrößen auf das Muskelwachstum werden einer weitgehend ausreichenden Erschöpfung der energiereichen Phosphate in der Muskelzelle zugeschrieben, was bedeutet, dass bei dieser Methode bis zum Muskelversagen trainiert werden sollte (vgl. Baechle & Earle 2000). Die Energiespeicher werden in den kurzen Pausen zwischen den Sätzen nicht komplett, sondern nur teilweise regeneriert, sodass der Muskel fähig ist, einige weitere Kontraktionen mit einer hohen Spannung auszuführen und dabei immer weiter ermüdet bis eine völlige Erschöpfung vorhanden ist.

Die Anpassungen an eine solche Trainingsmethode sind hauptsächlich in morphologischen Mechanismen zu erwarten (vgl. Schmidtbleicher 2003). Neuronale Anpassungsvorgänge werden bei einer solchen Krafttrainingsmethode fast ausschließlich Anfängern zugeschrieben (vgl. Andersen et al. 2005; Ahtiainen et al. 2003; Caserotti et al. 2008; Chilibeck et al. 1998; Higbie et al. 1996), die gerade in den ersten Wochen eines Krafttrainings zu einer verbesserten neuronalen Aktivität ohne bzw. nur mit geringen morphologischen Anpassungseffekten gelangen. Dennoch müssen Ahtiainen et al. (2003) in einer Untersuchung feststellen, dass Bodybuilder und Gewichtheber nach einem Krafttraining mit submaximalen Intensitäten über 21 Wochen ihre Maximalkraft ohne Muskelquerschnittsverbesserungen steigern, was auf Adaptationen im Bereich der neuronalen Strukturen schließen lässt. Bei Krafttrainingserfahrenen kann sich die Methode der wiederholten submaximalen Krafteinsätze jedoch negativ auf das Explosivkraftverhalten auswirken (vgl. Baker, Wilson & Carlyon 1994; Racher, Güllich & Schmidtbleicher 1998), welches gerade durch neuronale Mechanismen beeinflusst wird. In Tab. 4 sind die Belastungsnormativa und Adaptationen für diese Trainingsmethode nochmals beschrieben. Es ist hauptsächlich ein positiver Effekt auf die Muskelmasse und die Maximalkraft zu erwarten. Nebenbei kommt es zusätzlich zu einem positiven Effekt der Ausnutzung des Muskelpotenzials, wenn die WDH pro Serie etwas geringer gehalten werden.

Tabelle 4: Belastungsnormativa und Adaptionen eines Hypertrophietrainings (modifiziert nach Wirth 2007, S.144)

<b>Methode der submaximalen (wiederholten) Kontraktionen</b>				
<b>Belastungskonfiguration</b>			<b>Adaptationen (langfristig)</b>	
<b>Intensität</b>	60-90%		Muskelmasse	+++
<b>Wiederholungen pro Serie</b>	10	Anfänger	Ausnutzung des Muskelpotentials	++
	8-12	Fortgeschrittener		
	6-12 (20)	Leistungssportler	Kraftmaximum	+++
			Kraftanstieg	+
<b>Serien pro Übung</b>	1 – 3	Anfänger	Voraktivierung	+
	3 – 4	Fortgeschrittener	Reflexaktivität	
	> 3	Leistungssportler		
<b>Übungen pro Muskelgruppe</b>	2 – 3	Anfänger		
	2 – 3	Fortgeschrittener		
	> 3	Leistungssportler		
<b>Serienpausen</b>	2 – 5	Abhängig von involvierter Muskelmasse		
<b>Kontraktionsgeschwindigkeiten</b>		langsam bis zügig		
<b>Einheiten pro Woche</b>	2 – 3	pro Muskelgruppe		
<b>Trainingsperiode</b>	8 - ∞	Wochen		

#### 2.4.2 Methode der maximalen Kontraktionen

Mit der Methode der maximalen Kontraktionen, die möglichst explosiv ausgeführt werden sollten, wird eine Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit angestrebt (vgl. Schmidtbleicher 2003). Dazu werden die Mechanismen der IK angesteuert, um eine maximale Ausnutzung des Muskelpotenzials, das durch den Muskelquerschnitt definiert wird, zu erreichen (vgl. Ehlenz, Grosser & Zimmermann 2003; Häkkinen 2002; Schmidtbleicher 2003; Wirth 2007) und dadurch eine Maximalkraftsteigerung zu erlangen. Dies wirkt sich in einer gesteigerten Innervationsfrequenz, einer vermehrten und schnelleren Rekrutierung möglichst vieler Muskelfasern und einer verbesserten Synchronisation von Muskelfasern untereinander aus (vgl. Bührle & Schmidtbleicher 1981). Dazu sind Lasten nötig, die sich in sehr hohen Intensitätsbereichen bewegen. In Tab. 5 werden die Belastungsnormativa für ein solches Training dargestellt. Die Belastungsintensität liegt in etwa bei 90% bis 100%, wobei die WDH, die mit 1 bis 3 angegeben werden (vgl. auch Baechle & Earle 2000), eher zur Bestimmung von Trainingslasten geeignet sind. Die Serienanzahl wird mit drei bis fünf beschrieben und die interseriellen Pausen betragen 5min oder mehr, um eine Ermüdung der

Muskulatur zu vermeiden (vgl. Baechle & Earle 2000). Dieser Zeitraum wird zum einen für die Kreatinphosphat-Resynthese (vgl. Cramer 2008), zum anderen für die Wiederherstellung des Reizübertragungs- und Reizfortleitungsvermögens der neuronalen Strukturen benötigt (vgl. Häkkinen & Komi 1986; Schmidtbleicher 2003). Hierbei geht es vor allem um die Wiederherstellung der für maximale Kontraktionen benötigten Frequenzrate, mit der das zentrale Nervensystem bei einem maximalen Reiz antwortet.

Die Kontraktionsgeschwindigkeit sollte explosiv ausgeführt werden, um Adaptionen im Bereich der Explosivkraft zu erlangen, da es bei maximalen aber nicht explosiv ausgeführten Kontraktionen nicht zu Anpassungen des Kraftanstieges kommt (vgl. Hemmling 1994). Die größten Adaptionen durch ein IK-Training erfolgen anhand einer Steigerung der Maximalkraft (vgl. Bührle 1989; Bührle & Schmidtbleicher 1981; Campos et al. 2002; Ehlenz, Grosser & Zimmermann 2003; Hartmann et al. 2008; Liu et al. 2003; Moss et al. 1997) und einer Verbesserung des Explosivkraftvermögens (vgl. Bührle 1989; Bührle & Schmidtbleicher 1981; Ehlenz, Grosser & Zimmermann 2003), die durch eine Steigerung des willkürlichen Aktivierungspotenzials gegeben sind (vgl. Aagaard et al. 2002). Weiterhin kann es zu einer Erhöhung des schnellen Muskelfaseranteils (vgl. Liu et al. 2003), zu einer leichten Muskelquerschnittszunahme, die jedoch stark vom Leistungszustand abhängt (vgl. Wirth 2007) sowie zu einer Verbesserung der Kontraktionsgeschwindigkeit kommen (vgl. Allmann 1985).

Tabelle 5: Belastungsnormativa und Adaptionen eines IK-Trainings (modifiziert nach Wirth 2007, S.148)

<b>Methode der maximalen Kontraktionen</b>			
<b>Belastungskonfiguration</b>		<b>Adaptationen (langfristig)</b>	
<b>Intensität</b>	90 – 100%	Muskelmasse	+ <sup>1</sup>
<b>Wiederholungen pro Serie</b>	(1/2) 3 – 5	Ausnutzung des Muskelpotentials	+++
<b>Serienanzahl</b>	3 – 5	Kraftmaximum	+++ <sup>2</sup>
<b>Serienpausen</b>	> 5 min	Kraftanstieg	+++
<b>Kontraktionsgeschwindigkeiten</b>	explosiv	Voraktivierung	++
<b>Einheiten pro Woche</b>	1 – 3	Reflexaktivität	
<b>Wochen</b>	4 – 8		

<sup>1</sup> abhängig vom Trainingszustand; <sup>2</sup> kurzfristig

Ein IK-Training sollte nicht länger als vier bis sechs Wochen durchgeführt werden, da nach dieser Zeit die neuronale Aktivierungsfähigkeit ausgereizt zu sein scheint und es zu keinen weiteren Adaptionen in diesem Bereich kommt (vgl. Wirth 2007). Schmidtbleicher (1985)

gibt für die Durchführung eines IK-Trainings eine Empfehlung von sechs bis acht Wochen. Der Zeitraum eines IK-Trainings ist letztlich mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Trainingszustand der Personen abhängig, da ein Deckeneffekt bei untrainierten Personen aufgrund der Ausreizung neuronaler Anpassungsmechanismen später zu erwarten ist.

### 2.4.3 Reaktivkrafttraining (plyometrisches Training)

Das Reaktivkrafttraining bezeichnet eine Trainingsform, in der der DVZ im Vordergrund steht (vgl. DeVillareal et al. 2009). Dieses Training beinhaltet unter anderem Sprint- und Sprungübungen für die unteren Extremitäten sowie Wurfübungen für die oberen Extremitäten. Der DVZ beschreibt eine Kombination aus exzentrischer und explosiv ausgeführter konzentrischer Arbeitsweise. Die Besonderheit liegt in der Leistungssteigerung während der konzentrischen Phase durch eine erhöhte Energiespeicherung in den sehneneelastischen Bestandteilen des Muskels (vgl. Blazevich 2011). Die Höhe der Energiespeicherung ist abhängig vom Kraft-Geschwindigkeits-Verhältnis, welches in der exzentrischen Phase auf das tendo-muskuläre System wirkt (vgl. Finni et al. 2003). Hinzu kommt eine erhöhte Aktivierung der Muskulatur über den monosynaptischen Dehnungsreflex, der in der exzentrischen Phase ausgelöst wird (vgl. Frick 1993, Komi & Gollhofer 2007). Diese Aktivierung wird von dem zur Verfügung stehenden Zeitfenster stark beeinflusst (vgl. Bobbert et al. 1996). Es kann gezeigt werden, dass eine Auslösung des monosynaptischen Dehnungsreflexes erst nach 90ms bis 130ms zu einer erhöhten Muskelaktivierung und damit einhergehend zu einem Kraftanstieg führt (vgl. Blazevich 2011). Beide leistungspotenzierenden Effekte verlaufen für ein maximales Ausmaß gegenläufig. Da sich die Zeitfenster bei verschiedenen Bewegungsformen und damit auch die Anteile des leistungspotenzierenden Effekts stark unterscheiden, wird zwischen dem schnellen und dem langsamen DVZ differenziert (vgl. Schmidtbleicher 2003).

Ein Reaktivkrafttraining ist aufgrund des oben beschriebenen Innervationsverhaltens, welches sich vom allgemeinen Krafttraining unterscheidet, als gesonderte Trainingsform zu betrachten (siehe Tab. 6; vgl. Schmidtbleicher 2003). In dieser Trainingsform wird meist nur mit dem eigenen Körpergewicht oder geringeren Intensitäten gearbeitet, da ein reaktives Arbeiten mit den zur Verfügung stehenden Zeitfenstern bei hohen Lasten nur schwer möglich ist. Wichtig bei diesem Training ist die Vermeidung von Ermüdungserscheinungen des ZNS, da die Adaption der Reflexaktivität und Voraktivierung der Muskulatur erzwungen werden soll.

Unter ermüdeten Bedingungen können neuronale Prozessmechanismen nur bedingt geschult werden. Daher ist eine Pausengestaltung von 5min bis 10min zu wählen. Innerhalb der Serien sollte unter dem Aspekt der Ermüdung in der Wahl der durchzuführenden WDH ebenfalls darauf geachtet werden, dass die neuronalen Prozesse geschult werden können.

Tabelle 6: Belastungsnormativa und Adaptionen eines Reaktivkrafttrainings (nach Schmidtbleicher 2003)

Belastungsnormativa	Reaktive	Adaptationen	
	Methode		
<b>Belastungsintensität</b>	Sprungform	Muskelmasse	
<b>Wiederholungen pro Serie</b>	6 – 30 <sup>1</sup>	Ausnutzung des Muskelpotentials	+
<b>Serienanzahl (pro Sprungform)</b>	3 – 6	Kraftmaximum	
<b>Sprungformen pro Training</b>	1 – 3	Kraftanstieg	+
<b>Serienpause</b>	5 – 10 <sup>1</sup>	Voraktivierung	++
<b>Kontraktionsgeschwindigkeit</b>	explosiv	Reflexaktivität	+++
<b>Einheiten pro Woche</b>	2 – 3 <sup>2</sup>		
<b>Wochen</b>	4 – ∞ <sup>3</sup>		

<sup>1</sup>abhängig von der Sprungform; <sup>2</sup>in manchen Sportarten täglich; <sup>3</sup>in manchen Sportarten ständiger Trainingsbestandteil

In der Praxis werden solche Trainingsformen täglich in das Training integriert. Diese sollen neben den angeführten Adaptionenmechanismen auch für einen Transfer der erworbenen Kraftfähigkeiten auf die Zielbewegung dienen. Daher ist eine Durchführung von Sprung-, Sprint- und Wurfformen je nach Sportart immer im Trainingsprozess enthalten. Mindestens sollte dieses Training jedoch vier Wochen andauern (vgl. Schmidtbleicher 2003).

### 2.5 Einfluss von Krafttraining auf die Schnellkraft

Die Explosivkraft und die Maximalkraft als entscheidende Parameter der Schnellkraft stehen in den Schnellkraftsportarten meist im Mittelpunkt des Interesses, da eine hohe Kraft in kurzer Zeit entwickelt werden muss. Die Steigerung der Maximalkraft durch ein Krafttraining wird in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen. So können Narici et al. (1989) durch ein Hypertrophietraining der unteren Extremitäten Steigerungen von etwa 20% nach acht Wochen nachweisen. Ähnliche Ergebnisse zeigen auch andere Untersuchungen mit Steigerungen von 20% bis 27% nach 8 bis 24 Wochen (vgl. Abe et al. 2000; Blazeovich et al. 2007; Häkkinen et al. 1998; Izquierdo et al. 2006; Szymanski et al. 2010; Voigt & Klausen 1990, Wirth, Atzor & Schmidtbleicher 2007), 36% nach acht Wochen (vgl. Campos et al. 2002) und 31% nach 16 Wochen (vgl. Bell et al. 1997). Durch ein IK-Training können Liu et al. (2003) Steigerungen im 1RM von etwa 7% nach sechs Wochen erzielen. Moss et al. (1997) erreichen 15%ige



Steigerungen im 1RM nach neun Wochen für die oberen Extremitäten, Campos et al. (2002) sogar Steigerungen von 60% nach acht Wochen für die unteren Extremitäten. Hartmann et al. (2008) können durch ein periodisiertes Blocktraining aus Hypertrophietraining und IK-Training über 14 Wochen Steigerungen von etwa 15% im 1RM-Bankdrücken erreichen. Weiterhin erzielen Hartmann et al. (2012) durch ein periodisiertes Blocktraining mit Hypertrophieblöcken und einem IK-Block über zehn Wochen Steigerungen im 1RM der tiefen Front- bzw. Nackenkniebeuge von 13% bzw. 31% (vgl. Cristea et al. 2008; Wirth et al. 2006/07). Faude et al. (2013) zeigen mit einem Training der Halbkniebeuge bei 50% bis 60% des 1RM in Kombination mit Sprint- und Sprungformen bei Amateurfußballspielern nach sieben Wochen ebenfalls Steigerungen im 1RM der Halbkniebeuge um 18%. Die Höhe einer Maximalkraftsteigerung wird zum Teil sehr unterschiedlich angegeben. Der Grund dafür ist in dem unterschiedlichen Trainingszustand von Probanden (vgl. Wirth, Atzor & Schmidtbleicher 2007), in der Dauer der Intervention sowie in den durchgeführten Trainings- und Testübungen der jeweiligen Untersuchungen zu sehen (vgl. Rutherford & Jones 1986). Dies zeigen auch Pinto et al. (2012), die im Krafttraining eine komplette Bewegungsamplitude durchführen lassen. Maximalkraftsteigerungen können hier nur im Test mit voller Bewegungsamplitude beobachtet werden, im Test mit halber Bewegungsamplitude hingegen nicht. Ebenfalls bestätigen McBride et al. (1999) in einem Test der Sprungleistung mit verschiedenen Widerständen zwischen Gewichthebern und Sprintern diese Annahme. Hier können bessere Sprungleistungen der Gewichtheber ermittelt werden. Dabei wird der Unterschied größer, je höher der Widerstand ist.

Die Explosivkraft ist ein Parameter, der ebenfalls gut zu trainieren ist, was in verschiedenen Längsschnittstudien beobachtet werden kann (vgl. Aagaard et al. 2002a; Bührle 1989; Caserotti et al. 2008; Holtermann et al. 2007; Ishida, Moritani & Itoh 1990). Die trainingsmethodische Umsetzung zur Verbesserung des Explosivkraftverhaltens ist bis heute sehr unterschiedlich gehalten worden. Dies führt zwangsläufig zur Diskussion über die Methodik, die eine nahezu optimale Steigerung der Explosivkraft bewirkt. Ein Trainingsansatz zur Steigerung der Explosivkraft liegt in der Trainingsmethode der maximalen Lasten, die so explosiv wie möglich ausgeführt werden sollten (vgl. Schmidtbleicher 1985a). Ein anderer Ansatz liegt in der sogenannten Schnellkraftmethode, die in einem weitaus geringeren Intensitätsbereich (30% bis 60%) als Optimum beschrieben wird (vgl. Baker, Nance & Moore 2001; Häkkinen 2002; Kyröläinen et al. 2005; Lund, Dolny & Browder 2004; Petrella et al. 2005) und in der die Kontraktionen ebenfalls explosiv

ausgeführt werden sollten, jedoch aufgrund der geringeren Belastung eher eine hohe Bewegungsgeschwindigkeit erreichen. Es kann gezeigt werden, dass die Schnellkraftmethode eine geringere Wirkung auf die Explosivkraft hat als das IK-Training (vgl. Bührle 1985; Bührle & Schmidtbleicher 1981; Häkkinen 1986). Die Schnellkraftmethode führt nach Bührle (1985) zu höheren Bewegungsgeschwindigkeiten (vgl. auch Häkkinen 1986), was auf Adaptionen im Bereich der intermuskulären Koordination schließen lässt, jedoch hat diese Methode keinen Einfluss auf die Kontraktionsgeschwindigkeit (vgl. Allmann 1985; Bührle 1989; Häkkinen 1986). Häkkinen (1986) kann diese Tatsache in einer Untersuchung mit einem Abfall der neuronalen Aktivität in den ersten 200ms von Kraft-Zeit-Kurven, die für das Explosivkraftvermögen entscheidend sind, bei der Gruppe mit der Schnellkraftmethode belegen. Auch die Tatsache, dass in dieser Untersuchung bei der Maximalkraftgruppe eine prozentuale Zunahme des Querschnitts der schnellen Muskelfasern gegenüber den langsamen Muskelfasern zu verzeichnen ist, und dies bei der Schnellkraftmethodengruppe nicht der Fall ist, belegt diese Behauptungen. Häkkinen und Komi (1983) können ebenfalls Steigerungen der Explosivkraft mit einer Kombination aus exzentrischen und maximal konzentrischen Lasten erfassen. Dennoch erreichen auch Kyröläinen et al. (2005) durch eine Schnellkraftmethode, in der mit Belastungen von 30% bis 60% des 1RM gearbeitet wird, eine Steigerung der Explosivkraft um 35%. Hingegen können Wirth und Schmidtbleicher (2005) keine Steigerungen der Explosivkraft durch ein Schnellkrafttraining mit Sprüngen ohne Belastung und 30% des 1RM beobachten. Es finden sich jedoch auch Untersuchungen, die mit einem IK-Training keine Verbesserungen der Explosivkraft nachweisen (vgl. Hartmann et al. 2008). Hartmann et al. (2008) erklären dies mit Schulterproblemen der Probanden während der Messungen in der Isometrie, die einen hemmenden Einfluss auf die maximal explosive Kraftentfaltung haben dürften. Letztlich kann sowohl durch ein Krafttraining mit maximalen Lasten als auch durch ein Schnellkrafttraining eine Verbesserung der Explosivkraft erreicht werden. Die Maximalkraftmethode scheint jedoch der Schnellkraftmethode in diesem Punkt überlegen zu sein. Des Weiteren zeigen Young & Bilby (1993) bei einem Hypertrophietraining über sieben Wochen Steigerungen von 68% (explosiv) bzw. 23% (langsam), in Abhängigkeit von der Kontraktionsgeschwindigkeit im Training. Dies zeigt, dass nicht nur die Trainingsmethode sondern auch die Kontraktionsgeschwindigkeit von hoher Bedeutung für die Steigerung der Explosivkraft ist (vgl. Hemmling 1994).

Für als Schnellkraftindikatoren geltende sportliche Leistungen wie vertikale Sprungformen, die mittlere bis hohe Korrelationen zur Explosivkraft aufweisen (vgl. McLellan, Lovell &

Gass 2011), wird auch ein mittlerer bis hoher Zusammenhang zur Maximalkraft gezeigt (vgl. Carlock et al. 2004, Castro-Pineiro et al. 2010). Ein Krafttraining zeigt demnach neben Steigerungen der Maximalkraft auch Steigerungen in Sprungleistungen (vgl. Arabatzi & Kellis 2012; Augustsson et al. 1998; Channell & Barfield 2008; Willoughby & Simpson 1998). Sowohl in isolierter Form als auch in Kombination mit anderen Trainingsinhalten kann ein Krafttraining demnach zu Steigerungen von Schnellkraftleistungen führen (vgl. DeVillareal, Izquierdo & Gonzalez-Badillo 2011; Fatouros et al. 2000; Holcomb et al. 1996; Lamont et al. 2009; Mihalik et al. 2008; Otto III. et al. 2012).

### 2.5.1 Einfluss von Krafttraining auf die Sprintleistungen im Linearsprint

Der Sprint ist eine zyklische Bewegung, die von mehreren Faktoren beeinflusst wird. Die Maximalkraft, die die Schnellkraft maßgeblich mit beeinflusst, spielt auf den ersten 10m eines Sprints eine große Rolle (vgl. Young et al. 2001). Hier kommt es aufgrund der höheren Kontaktzeiten, die mit der Länge des Sprints abnehmen (vgl. Aerenhouts et al. 2012, Coh, Babic & Makala 2010), zu einer besseren Kraftübertragung auf den Laufuntergrund. Diese Kraftübertragung soll zu einem möglichst hohen horizontal wirkenden Impuls führen, um eine hohe Beschleunigung zu erreichen (Morin, Edouard & Samozino 2011). Im Verlauf der Sprintdistanz spielen die technischen Elemente des Sprints (Schrittfrequenz, Schrittlänge, etc.) eine immer größer werdende Rolle (vgl. Majumdar & Robergs 2011). Dabei geht es nicht um die Maximierung dieser Parameter, sondern um die Schaffung des individuellen Optimums (vgl. Coh, Babic, & Mackala 2010; Mackala 2007). Die Maximalkraft hat demnach einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Sprintleistung in der Beschleunigungsphase. Zwischen dem 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge sowie der Gewichthebeübung Umsetzen und dem Sprint über 5m, 10m, 20m und 30m kann ein mittlerer Zusammenhang aufgezeigt werden (vgl. Comfort, Bullock & Pearson 2012; Hori et al. 2008; McBride et al. 2009). Demnach ist davon auszugehen, dass ein Krafttraining auf die Leistung im Sprint positiv wirkt. Allerdings zeigen die prozentualen Steigerungen durch ein Krafttraining (siehe Tab. 7), die weitaus geringer sind als beim CMJ oder Squat Jump (SJ) (vgl. Arabatzi, Kellis & DeVillareal 2010; Cormie, McBride & McCaulley 2009; Hermassi et al. 2011; Santos & Janeira 2012; Wirth et al. 2006/07), dass der Sprint eine motorische Bewegungsaufgabe ist, die koordinativ weitaus anspruchsvoller ist als der vertikale Sprung. Daher ist ein Übertrag eines Krafttrainings auf die Sprintleistung aufgrund der Komplexität

der Bewegungsform schwieriger zu erreichen ist als beim vertikalen Sprung, der vielen Trainingsübungen (z. B. Kniebeuge) in der Bewegungsausführung ähnelt.

Die dargestellten Untersuchungen in Tab. 7 zeigen kontroverse Ergebnisse bezüglich der Wirksamkeit eines Krafttrainings auf die Sprintleistung. Oft sind die Steigerungen der Sprintleistung nur sehr gering. Die höchsten Leistungssteigerungen werden in Untersuchungen ermittelt, in denen der Parameter Laufgeschwindigkeit herangezogen wird (vgl. Chelly et al. 2009; Dasteridis et al. 2011; Hermassi et al. 2011; Kotzamanidis et al. 2005; Lockie et al. 2012; Spinks et al. 2007). Hingegen zeigen einige Untersuchungen keine bzw. eine negative Wirkung eines Krafttrainings auf die Sprintleistung (vgl. Buchheit et al. 2010; Dodd & Alvar 2007; Faude et al. 2013; Gorostiaga et al. 2004; Harris et al. 2000; Herrero et al. 2010; Lillegard et al. 1997; Lopez-Segovia et al. 2010; McBride et al. 2002; Ronnestad, Nymark & Raastad 2011; Tricoli et al. 2005). Shalfawi et al. (2013) untersuchen weibliche Fußballspieler mit zwei verschiedenen Trainingsinterventionen (Krafttraining vs. Sprinttraining mit Zusatzgewicht) auf die Sprintleistung. Nach zehn Wochen können keine Effekte auf den 20m Sprint und den 40m Sprint verzeichnet werden. Auch Faigenbaum et al. (2007) zeigen bei 14-jährigen Football- und Baseballspielern nach sechs Wochen keine Effekte eines Krafttrainings und plyometrischen Trainings auf die Sprintleistung über 10m. Dies lässt vermuten, dass eine geringe Interventionsdauer für die Entwicklung der Sprintleistung nicht ausreicht. Allerdings ergibt sich im Hinblick auf die Interventionsdauer allgemein kein klares Bild. Die Interventionsdauern der Untersuchungen variieren zwischen vier und 44 Wochen. Bei den drei längsten Interventionen zeigt sich sowohl eine Leistungssteigerung von 4% (vgl. Cristea et al. 2008) bzw. knapp 3% (vgl. Nimphius, McGuigan & Newton 2012) als auch eine Leistungsminderung von 1% (vgl. Ronnestad, Nymark & Raastad 2011). Unter der Betrachtung von Empfehlungen bezüglich der Sprintfähigkeit, in denen davon ausgegangen wird, dass ein Zeitraum von zehn Jahren nötig ist (vgl. Oliver, Lloyd & Rumpf 2013), um diesen konditionellen Parameter entsprechend zu entwickeln, ist es daher sinnvoll, Trainingsinterventionslängen von einem Jahr oder mehr zu wählen. Diese sollten zeigen, inwiefern die Sprintfähigkeit durch ein Krafttraining positiv bzw. negativ beeinflusst werden kann. Auch Stone et al. (2002) zeigen, dass der Zeitraum für einen Übertrag von Kraftsteigerungen auf die Leistung im Sprint mehrere Wochen bzw. Monate dauern kann. Je komplexer die Zielbewegung ist, desto länger ist die Anpassungszeit für den Übertrag auf die Leistung in der Zielbewegung. Delecluse et al. (1995) vergleichen diesbezüglich ein periodisiertes Krafttraining (10RM, 6RM, 4RM) mit einem Sprung- und

Lauftraining auf die 100m-Sprintleistung. Nach neun Wochen zeigen sich keine Leistungssteigerungen in der Krafttrainingsgruppe. Die Gruppe mit dem Sprung- und Lauftraining kann jedoch Steigerungen in der 100m-Sprintleistung und der Beschleunigungsleistung über 10m erzeugen. McEvoy & Newton (1998) sowie Cormie, McGuigan & Newton (2010) ermitteln durch ein Training mit Sprung- und Laufübungen über zehn Wochen ebenfalls positive Leistungseffekte auf die Sprintleistung von 5m, 10m, 20m, 30m und 40m bei trainierten Sportlern. Auch DeVillareal, Requena & Cronin (2012) zeigen, dass ein plyometrisches Training die Sprintleistung positiv beeinflussen kann. Demnach scheinen Übungen, die nahe an der Zielbewegung liegen, über einen kurzfristigen Zeitraum dem Krafttraining überlegen zu sein. Die Leistungssteigerungen des Sprung- oder Sprinttrainings erfolgen über neuronale Anpassungen, da die EMG Aktivität der Muskulatur steigt. Andere muskuläre morphologische Parameter zeigen hingegen keine Anpassungen (Muskelumfang, Fiederungswinkel, etc.). Cormie, McGuigan & Newton (2010a) vergleichen ebenfalls ein Sprungtraining mit einem Krafttraining auf die Sprintleistung in der Beschleunigungsphase. Nach zehn Wochen sind die Kraftwerte und der Muskelumfang durch das Krafttraining höher, die Sprintwerte hingegen nur durch das Sprungtraining. Dies zeigt, dass Schnellkraftübungen über einen kurzen Zeitraum einen höheren Effekt in der Sprintleistung erzeugen als ein Krafttraining. Allerdings sind Anpassungsmöglichkeiten über die neuronale Ansteuerung der Muskulatur zeitlich limitiert (vgl. Schmidtbleicher 2003). Daher ist langfristig ein Krafttraining für eine Steigerung von Schnelligkeitsleistungen erforderlich. Dies muss abhängig von der Sportart und dem Trainingszustand so gestaltet werden, dass es die nötigen Anpassungen in der Schnelligkeitsleistung langfristig erzwingt. Eine Empfehlung ist derzeit anhand der vorhandenen Untersuchungen nicht möglich, da die Trainingsmittel und Trainingsperiodisierungen sowie die untersuchten Sportler unterschiedlicher Untersuchungen stark differenzierte Ergebnisse aufzeigen (siehe Tab. 7). Demnach sind langfristige Untersuchungen von Krafttrainingsinterventionen durchzuführen, um aussagekräftige Empfehlungen für die Entwicklung der Sprintleistung geben zu können.

## 2 Theoretische Grundlagen

Tabelle 7: Effekte von ausgewählten Krafttrainingsinterventionen auf den Sprint

Autoren	Trainingsprogramm	Probanden (Alter/Geschlecht)	Dauer des Trainings	Steigerungen in %
Bogdanis et al. (2009)	Halbkniebeuge	Fußball (22,9/M)	6 Wochen	10m 2% 40m 2%
Buchheit et al. (2010)	Plyometrisches Training	Fußball (14,5/M)	10 Wochen	10m 0% 30m 2%
Chelly et al.(2009)	Halbkniebeuge	Fußball (17/M)	8 Wochen	5m 7% 40m 12%
Christou et al. (2006)	Beinpresse + Beinstrecker	Fußball (13,8/M)	16 Wochen	10m 3% 30m 2%
Comfort, Haigh & Matthews (2012a)	Kniebeuge + Umsetzen	Rugby (M)	8 Wochen	5m 7% 10m 7% 20m 6%
Cristea et al. (2008)	Halbkniebeuge	Sprinter (66/M)	20 Wochen	60m 4%
Dasteridis et al. (2011)	Halbkniebeuge, Kniestrecker + Sprünge	Leichtathleten (17/M)	8 Wochen	30m 8% 60m 6%
Delecluse et al. (1995)	Halbkniebeuge, Strecker + Beuger	Studenten (18-22/M)	9 Wochen	100m 0%
Dodd & Alvar (2007)	Kniebeuge + Ausfallschritte	Baseball (18-23/M)	4 Wochen	20yd 0% 40yd -1% 60yd 0%
Giorgi et al. (1998)	Kniebeuge (Maschine)	Krafttrainingserfahrene (22,9/M)	8 Wochen	40m 2%
Gorostiaga et al. (2004)	Tiefkniebeuge + Gewichtheübung	Fußball (17,2/M)	11 Wochen	15m 0%
Harris et al. (2000)	Kniebeuge (Halb + Tief)	Football (19,4,M)	9 Wochen	10m -1% 30m 0%
Harris et al. (2008)	SJ Zusatzgewicht 80%/1RM	Rugby (21,8/M)	7 Wochen	10m 3% 30m 2%
Hermassi et al. (2011)	Halbkniebeuge	Handball (22,1/M)	8 Wochen	5m 11% 30m 8%
Herrero et al. (2010)	Kniestrecker	Studenten (21,1/M)	6 Wochen	20m 0%
Jovanovic et al. (2011)	Sprint- und Sprungtraining	Fußball (19/M)	8 Wochen	5m 2% 10m 4%
Kotzamanidis et al. (2005)	Halbkniebeuge + Ausfallschritte	Fußball (17/M)	9 Wochen	30m 2%
Kotzamanidis et al. (2005)	Halbkniebeuge + Ausfallschritte + Sprints	Fußball (17/M)	9 Wochen	30m 8%
Lockie et al. (2012)	Kniebeuge	Leichtathletik (23,1/M)	6 Wochen	5m 9% 10m 7%
Lopez-Segovia et al. (2010)	Tief- und Halbkniebeuge	Fußball (18,4/M)	16 Wochen	10m -1% 20m -2% 30m -2%
Maió Alves et al. (2010)	Kniebeuge + Kniestecker + Hüftstrecker	Fußball (17,4/M)	6 Wochen	5m 8% 15m 5%
McBride et al. (2002)	SJ Zusatzgewicht 80%/1RM	Krafttrainingserfahrene (21,6/M)	8 Wochen	5m -7% 10m -4% 20m -2%
Nimphius, McGuigan & Newton (2012)	Kniebeuge + Gewichtheübungen	Softball (18,1/W)	1 Jahr	17m 0,3% 35m 2,9%
Rimmer & Sleivert (2000)	Plyometrisches Training	Rugby (24/M)	8 Wochen	10m 2% 20m 2% 30m 2% 40m 2%
Rønnestad et al. (2008)	Halbkniebeuge + Sprünge	Fußball (23/M)	7 Wochen	10m 2% 40m 1%
Rønnestad, Nymark & Raastad (2011)	Halbkniebeuge	Fußball (24/M)	22 Wochen	40m -1%
Ross et al. (2009)	Umsetzen + Kniebeuge	Football/Fußball (19,8/M)	7 Wochen	30m 1%
Spinks et al. (2007)	Sprint mit Zusatzgewicht	Krafttrainingserfahrene (21,8/M)	8 Wochen	5m 9% 15m 8%
Tricoli et al. (2005)	Gewichtheübungen	Studenten (22/M)	8 Wochen	10m 3% 30m 0%
Wilson et al. (1993)	Halbkniebeuge	Krafttrainingserfahrene (21,9/M)	10 Wochen	30m 0%
Wong, Chamari & Wisloff (2010)	Halbkniebeuge, Ausfallschritte + Umsetzen	Fußball (13,5/M)	12 Wochen	10m 5% 30m 2%
Wong et al. (2010a)	Halbkniebeuge	Fußball (24,6/M)	8 Wochen	10m 6% 30m 3%

M = männlich; W = weiblich, m = Meter

### 2.5.2 Einfluss von Krafttraining auf die Sprintleistung im Richtungswechselsprint

In der Literatur finden sich nicht viele Untersuchungen, die sich mit dem Effekt eines Krafttrainings auf den Richtungswechselsprint befassen. Dies ist unter anderem impliziert durch die limitierte Anzahl an Sportarten (meist Sportsportarten), in denen ein Richtungswechselsprint einen leistungslimitierenden Faktor darstellt. In einigen Trainingsstudien kann gezeigt werden, dass ein Sprinttraining einen Einfluss auf die Leistung im Richtungswechselsprint haben kann (vgl. Christou et al. 2006; Nimphius, McGuigan & Newton 2012; siehe Tab. 8). Auch Trainingsinhalte mit Sprintübungen, die einen Richtungswechsel beinhalten, oder das Fußballtraining können eine positive Entwicklung der Leistung im Richtungswechselsprint erwirken (vgl. Chaouachi et al. 2014; Pettersen & Mathisen 2012). Ein Sprungtraining oder die Kombination aus Sprung- und Sprinttraining zeigen ebenfalls positive Entwicklungen für die Leistung im Richtungswechselsprint (vgl. Jovanovic et al. 2011; Meylan & Malatesta 2009). In einigen Untersuchungen, die eine Krafttrainingsintervention durchführen, sind hingegen keine positiven Effekte auf die Leistung im Richtungswechselsprint zu beobachten (vgl. Maio Alves et al. 2010; Shalfawi et al. 2013; Wilson et al. 1993). Diesen Ergebnissen stehen andere Studien entgegen, die wiederum einen positiven Effekt eines Krafttrainings auf die Leistung im Richtungswechselsprint ermitteln (vgl. Christou et al. 2006; Faude et al. 2013; Jullien et al. 2008; Nimphius, McGuigan & Newton 2012). Mit die höchsten Steigerungen in der Leistung des Richtungswechselsprints zeichnen sich durch Interventionen aus, die den Richtungswechsel als eines der Hauptelemente im Training durchführen (vgl. Galpin et al. 2008). Weiterhin kann festgehalten werden, dass eine langfristig durchgeführte Krafttrainingsinterventionen von mehr als 15 Wochen zu einer Leistungssteigerung im Richtungswechselsprint führen kann (siehe Tab. 8). Ein langfristig angelegtes Krafttraining über einen Zeitraum von mehreren Jahren sollte demnach positiv für die Entwicklung der Leistung im Richtungswechselsprint sein (vgl. Stodden & Galitski 2010). Hingegen kommt es bei Interventionszeiträumen von zehn Wochen und weniger durch ein Krafttraining nicht immer zu Leistungssteigerungen (vgl. Maio Alves et al. 2010). Dies ist möglicherweise auf den Leistungsstand der Probanden zurückzuführen. Untersuchungen mit untrainierten Probanden zeigen durch ein Krafttraining auch in kurzen Interventionszeiträumen positive Effekte auf die Richtungswechselsprintleistung (vgl. Tricoli et al. 2005). Allerdings können Jullien et al. (2008) auch bei Profifußballspielern positive Effekte eines Krafttrainings auf die Leistung im Richtungswechselsprint beobachten. Bei dem absolvierten Test handelt es sich

## 2 Theoretische Grundlagen

allerdings um einen Zirkel mit verschiedenen Aufgaben, bei dem mehrere Faktoren leistungslimitierend wirken. Auch Faude et al. (2013) ermitteln bei Fußballspielern in einem eher geringen Interventionszeitraum durch ein Krafttraining positive Effekte im Richtungswechselsprint. Demnach ist der Leistungsstand nicht allein für den Effekt eines Krafttrainings auf die Richtungswechselsprintleistung verantwortlich.

Tabelle 8: Effekte von ausgewählten Krafttrainingsinterventionen auf den Sprint mit Richtungswechseln

Autoren	Trainingsprogramm	Probanden (Alter/Geschlecht)	Dauer des Trainings	Steigerungen in %
Christou et al. (2006)	Beinpresse + Beinstrecker	Fußball (13,8/M)	16 Wochen	5,4%
Faude et al. (2013)	Halbkniebeuge + einbeinige Kniebeuge + Sprünge und Sprints	Fußball (22,5/M)	7 Wochen	4,2%
Galpin et al. (2008)	Richtungswechselsprint	Untrainierte (26/M,W)	4 Wochen	7%
Jullien et al. (2008)	Kniebeuge	Fußballprofis (19/M)	3 Wochen	9,6%
Maio Alves et al. (2010)	Kniebeuge + Kniestecker + Hüftstrecker	Fußball (17,4/M)	6 Wochen	ns
McBride et al. (2002)	SJ Zusatzgewicht 30 % + 80%/1RM	Krafttrainingserfahrene (21,6/M)	8 Wochen	2%
Nimphius, McGuigan & Newton (2012)	Kniebeuge + Gewichtheübungen	Softball (18,1/W)	1 Jahr	5,5%
Pettersen & Mathisen (2012)	Richtungswechselsprints	Football (11/M)	6 Wochen	3,7%
Shalfawi et al. (2013)	Leg press + Leg extension	Fußball (19,4/W)	10 Wochen	ns
Tricoli et al. (2005)	Kniebeuge + Gewichtheübungen	Studenten (22/M)	8 Wochen	3%

M = männlich; W = weiblich, ns = nicht signifikant

Eine eindeutige Aussage über den Effekt von Krafttraining auf die Leistung im Richtungswechselsprint ist nur schwer zu treffen. Richtungswechselsprints sind spezifische Bewegungsformen, die nur in wenigen Sportarten eine leistungslimitierende Rolle spielen. Dies führt dazu, dass sich verschiedene Testungen des Richtungswechselsprints in den verschiedenen Sportarten entwickelt haben, die speziell auf die Anforderungen der Sportart ausgerichtet sein sollen (vgl. Berschin & Hartmann 2011). Diese Tests unterscheiden sich in Dauer, Anzahl der Richtungswechsel, Streckenlängen und Winkel beim Richtungswechsel. Bei der Betrachtung der vorhandenen Untersuchungen bezogen auf die Testungen kann ebenfalls kein klares Ergebnis herausgestellt werden. Nimphius, McGuigan & Newton (2012) sowie Maio Alves et al. (2010) nutzen in ihren Untersuchungen den Test 505-Agility. Beide kommen jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen, was wiederum auf die Unterschiede der Interventionszeiträume schließen lässt. Demnach ist neben dem Testdesign auch die Interventionsdauer entscheidend für den Effekt von Krafttrainingsinterventionen. Weiterhin ist die Trainingshäufigkeit als wichtiger Faktor für die Trainingsgestaltung zu betrachten. Mujika, Santisteban & Castagna (2009) können durch eine Kombination aus Kraft- und Sprungtraining, das einmal die Woche durchgeführt wird, bei jugendlichen Fußballspielern im



Richtungswechselsprint keine Leistungssteigerungen erzeugen. Demnach ist eine Trainingshäufigkeit von mindestens zweimal pro Woche erforderlich.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass ein Krafttraining aufgrund des leistungslimitierenden Einflusses der Maximalkraft auf die Leistung im Richtungswechselsprint eine positive Wirkung hat. Diese sollte sich gerade dann zeigen, wenn die Interventionsdauer lange genug gewählt wird (vgl. Stodden & Galitski 2010). Weiterhin ist die Testung entscheidend für das Resultat der Leistungsentwicklung. Bei einem Test mit kurzen Sprintstrecken und kleinen Winkeln ist ein höherer Einfluss der Kraftkomponente denkbar.

### **2.6 Periodisierung im Krafttraining**

Die Kenntnis von Trainingsmethoden in Bezug auf die Ansteuerung von Schnellkraftparametern ist eine essentielle Voraussetzung für die Trainingssteuerung im Leistungssport (vgl. Fleck 1999). Darüber hinaus ist eine effektive Nutzung von methodenspezifischen Adaptionen in einen Trainingszyklus so zu integrieren, dass eine optimale Ausnutzung der konditionellen Fähigkeiten erreicht werden kann. Dazu sind Periodisierungskonzepte über ein Jahr gesehen nach einer Wettkampfperiode oder zwei Wettkampfperioden erstellt worden. Dabei wird das Training, das durch wellenförmige Belastungsvariationen definiert ist (vgl. Matveev 1972), durch drei Perioden gekennzeichnet, die Vorbereitungs-, Wettkampf- und Übergangsperiode (siehe Abb. 16). Im amerikanischen Raum werden die Perioden desselben Periodisierungsmodells als Pre-season, In-season und Off-season unterteilt (vgl. Fleck 2002). Demnach wird innerhalb der Periodisierung eine Dynamik des Leistungszustandes von Sportlern erzeugt (vgl. Werchoshanskij et al. 1982). Im ersten Teil der Vorbereitungsperiode steht die Grundlagenausbildung der konditionellen Eigenschaften, im zweiten und dritten Teil die für die Sportart spezifische Ausbildung der Muskulatur im Vordergrund. In der Wettkampfphase wird ausschließlich sportartspezifisch trainiert, um die wettkampfspezifischen Bewegungsvoraussetzungen optimal zu entfalten. Die Übergangsperiode dient zur Regeneration und allgemeinen Ausbildung von konditionellen Eigenschaften. In dieser Periode wird aktiv mit reduziertem Trainingsumfang und –intensität gearbeitet. Auch technische Defizite können in dieser Phase korrigiert werden.

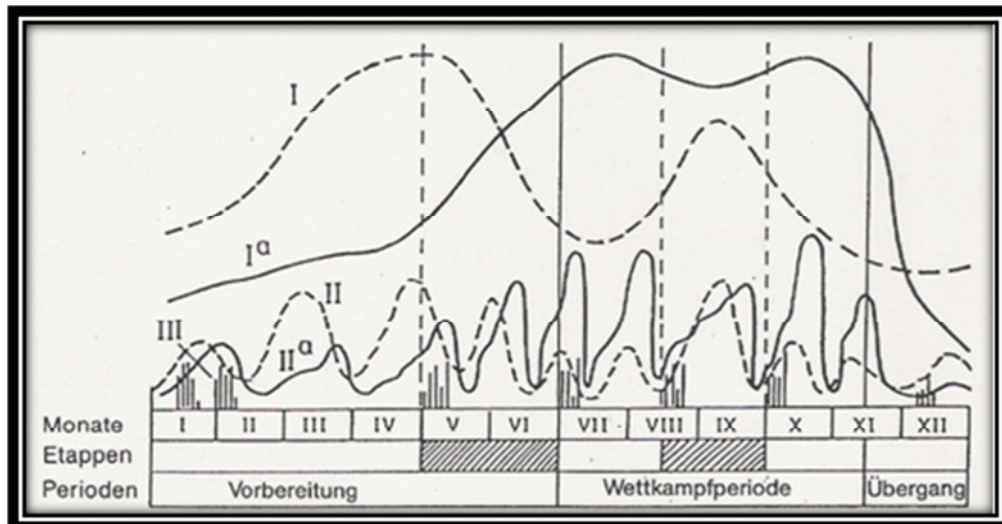


Abbildung 16: Periodisierungsmodell nach Matwejev mit einem Wechsel von Umfang und Intensität, I = Umfang; Ia = Intensität (in Tschiene 1985)

Die wellenförmige Gestaltung innerhalb der Perioden kann sowohl im Mikrozyklus (ein bis vier Wochen innerhalb eines Mesozyklus), im Mesozyklus (ein Trainingsblock innerhalb der Periodisierung) als auch im Makrozyklus (ein Periodisierungsjahr) durchgeführt werden (vgl. Fleck 2002). Innerhalb der Zyklen verlaufen die Wellen der Belastungsintensität und des Belastungsumfangs gegenläufig, da ein Steigern der Intensität und des Umfangs nur bis zu einem gewissen Punkt möglich ist (vgl. Fleck 2002, Matveev 1972; Tschiene 1985). Im Rahmen der Periodisierung wird in den Schnellkraftsportarten ein Blocktraining durchgeführt (vgl. Armstrong 1992; Ehlenz, Grosser & Zimmermann 2003; Fleck 2002; Pampus 2001; Tschiene 1985; Werchoschanski 1988; Werchoshanskij et al. 1982). Der erste Block wird durch ein Hypertrophietraining bestimmt. Der zweite Block ist durch ein Training mit maximalen Lasten charakterisiert, um eine nahezu optimale Innervation der kontraktile Strukturen zu erlangen (vgl. Fleck 2002). Kraemer (1985) nennt noch einen Zwischenblock, der zur Erzeugung einer Kraftbasis dient und bei etwa 5 WDH pro Satz liegt, also zwischen einem Hypertrophietraining und einem IK-Training (vgl. auch Armstrong 1992). Mit dieser Blockperiodisierung sind in verschiedenen Untersuchungen Steigerungen der verschiedenen Schnellkraftparameter Maximalkraft und Explosivkraft oder den dynamischen Schnellkraftleistungen zu beobachten (vgl. auch Aagaard et al. 2002; Häkkinen 1986; Häkkinen et al. 2000; Häkkinen & Komi 1986; Izquierdo et al. 2006; Schmidtbleicher 1985; Werchoschanski 1988; Werchoshanskij et al. 1982; Wirth & Schmidtbleicher 2005). Weiterhin können Cristea et al. (2008) durch ein periodisiertes Blocktraining, in dem eine Kombination von Krafttraining und sprintspezifischem Training durchgeführt wird, Steigerungen verschiedener Schnellkraftparameter ermitteln (vgl. auch Mihailidis et al. 2002).

Es ist daher zu empfehlen, sich in einem periodisierten Blocktraining mit mehreren Blöcken den IK-Trainingsintensitäten anzunähern, um Anpassungen in Schnelligkeitsleistungen zu generieren. Eine wichtige Komponente in der Durchführung des Trainings mit der Blockperiodisierung ist die Vermeidung von Deckeneffekten. Diese werden durch die Dauer einzelner Blöcke bestimmt. Ehlenz, Grosser & Zimmermann (2003) beschreiben Deckeneffekte bei einem Hypertrophietraining nach zehn bis zwölf Wochen, bei einem IK-Training nach sechs bis acht Wochen und bei einem Schnellkrafttraining nach drei bis vier Wochen. Darauf sollte bei der Erstellung einer Gesamttrainingsplanung geachtet werden. Neben dem linearen Blockperiodisierungsmodell gibt es auch ein nicht-lineares Periodisierungsmodell. Dieses zeichnet sich durch alternierende Veränderungen der Belastungsintensität aus. Hoffman et al. (2009) weisen mit einem nicht-linearen Periodisierungsmodell Steigerungen im Maximal- und Schnellkraftbereich nach. Ein Unterschied in Bezug auf Trainingsanpassungen zwischen dem linearen und nicht-linearen Periodisierungsmodell besteht nicht (vgl. Hoffman et al. 2009). Empirische Daten über langfristige Vergleiche fehlen jedoch bislang.

Aufgrund des Wettkampfprofils stellt sich im Fußball innerhalb eines Jahres kein zu definierender Höhepunkt heraus. Vielmehr geht es darum, über den gesamten Zeitraum eine möglichst hohe Leistung abrufen zu können und ein Optimum der Leistungsfähigkeit über den gesamten Zeitraum anzustreben. Dadurch gestaltet sich ein periodisiertes Krafttraining innerhalb der Saison als schwierig (vgl. auch Schlumberger 2006). Es ist dennoch notwendig, ein Krafttraining über ein gesamtes Jahr durchzuführen, da ein Absetzen dazu führt, dass die Leistungseffekte nach einem kurzen Zeitraum auf das Basisniveau zurückgehen (vgl. Andersen et al. 2005a; Botcazou et al. 2006). Deshalb ist das Block-Periodisierungsmodell zu bevorzugen, welches auch in den Sportsportarten Football oder Rugby zum Einsatz kommt (vgl. Wirth & Zawieja 2008a). Dies zeigen auch Appleby, Newton & Cormie (2012) in einer zweijährigen Untersuchung mit Rugbyspielern. Hierbei wird ein Krafttraining das komplette Jahr in verschiedenen Blöcken durchgeführt. Meist kommt das von Fleck (2002) beschriebene Periodisierungsmodell sowohl für die Hinrunde als auch für die Rückrunde zur Anwendung. Selbst in der Off-Season wird das Krafttraining fortgesetzt. Bezüglich des Trainingsumfangs pro Woche werden zwei TE empfohlen, um eine Leistungssteigerung trotz des höheren Trainingszustands zu erzwingen. Der Fußball ist eine komplexe Sportart, in der ein hoher Umfang an Trainingsinhalten in das Gesamttraining eingebunden werden muss. Daher ist es eine schwierige Aufgabe für einen Trainer, ein Krafttraining zweimal wöchentlich in einen

komplexen Trainingsplan zu integrieren, obwohl gezeigt wird, dass diese Integration des Krafttrainings mit der empfohlenen Anzahl an Einheiten möglich und durchführbar ist (vgl. Berdejo-del-Fresno 2012; Jovanovic et al. 2011; Lopez-Segovia, Andres & Gonzalez-Badillo 2010; Silvestre et al. 2006). Weiterhin ist ein Krafttraining im Fußball so effektiv wie möglich zu gestalten, das heißt wenige Übungen mit maximalem Effekt sind zu integrieren. Aus diesem Grund werden für die Entwicklung der Maximal- und Schnellkraft die komplexen und koordinativ höchst anspruchsvollen Gewichthebeübungen empfohlen (vgl. Baker 1996; Wirth & Zawieja 2008). Auch Arabatzi, Kellis & DeVillareal (2010) zeigen durch ein Krafttraining mit Gewichthebeübungen gute Leistungssteigerungen im vertikalen Sprung, der als Schnellkraftindikator aussagekräftig ist. Dies wird durch eine Untersuchung von Hoffman et al. (2004) bestätigt, in der ein Krafttraining mit Gewichthebeübungen einem Krafttraining mit traditionellen Übungen überlegen war. Ebenfalls zeigen Arabatzi & Kellis (2012) eine Überlegenheit der Gewichthebeübungen gegenüber traditionellen Übungen an Kraftmaschinen bezogen auf den vertikalen Sprung (vgl. Channell & Barfield 2008). Dies resultiert aus einer verbesserten intermuskulären Koordination der beanspruchten Muskulatur durch eine Verringerung von Co-Kontraktionen der Antagonisten und einer erhöhten Aktivierung der Agonisten in der konzentrischen Phase. Weiterhin wird durch die Übungen, die nahezu den gesamten Körper beanspruchen, eine hohe metabolische Wirkung erzielt, die zur erhöhten Ausschüttung von anabolen Hormonen führt (vgl. Kraemer & Ratamess 2004). Im Training mit komplexen Übungen ist allerdings darauf zu achten, dass der Ermüdungsgrad im Vorfeld der Krafttrainingseinheit so gering wie möglich gehalten wird, um einen möglichst hohen Effekt zu erzielen und Verletzungen zu vermeiden (vgl. Kraemer & Ratamess 2004). Rotatorische Übungen wie leg extension sind für ein Krafttraining zur Steigerung der Schnellkraftleistungen nicht geeignet. Dies zeigt eine Untersuchung von Augustsson et al. (1998), in der rotatorische Übungen einen geringeren Effekt auf die vertikale Sprungleistung erzeugen als translatorische Übungen wie die Kniebeuge mit der Langhantel.

Da im Nachwuchsleistungssport der Schwerpunkt auf der komplexen Ausbildung der Sportler liegt und nicht der Wettkampfkalender entscheidend ist, sollte ein Blocktraining durchgeführt werden, welches eine breite Grundlage im Bereich des Muskelkorsettaufbaus schafft. Diese Notwendigkeit resultiert auch aus der Tatsache, dass passive Strukturen des Bewegungsapparates einen längeren Zeitraum benötigen, um an Belastungen zu adaptieren. Des Weiteren sollten auch IK-Blöcke einbezogen werden, um das Muskelpotential auf neuronaler Ebene möglichst optimal auszuschöpfen. Baker (2013) zeigt, dass im Rahmen des

langfristigen Leistungsaufbaus bei Rugbyspielern durch ein Krafttraining erst nach acht Jahren ein Leistungshöhepunkt in der Maximalkraft auftritt. Danach entwickelt sich die Maximalkraft nur noch in kleinen Schritten. Beginnen junge Sportler demnach frühzeitig mit dem Training, können die Grundlagen für den Kraftbereich mit 19 Jahren gesetzt sein, um darauf aufbauend in den Folgejahren mit weiteren kleinen Schritten Leistungssteigerungen zu erzielen.

### **2.7 Entwicklung konditioneller Fähigkeiten im Kontext der Wachstumsphasen im Kindes- und Jugendalter**

Aufgrund von Veränderungen der Körpergröße und damit verbunden des Körpergewichts unterliegen die Leistungsvoraussetzungen von Kindern und Jugendlichen in den verschiedenen konditionellen Fähigkeiten einem Wandel. Dies betrifft vor allem den Altersbereich von 12 bis 16 Jahren, da die Körpergrößen- und Körpergewichtsveränderungen durch das Einsetzen der Pubertät sehr hoch sind (vgl. Lloyd et al. 2011). In diesem Altersbereich verschieben sich auch das biologische und kalendarische Alter, die nicht mehr kongruent verlaufen. Karova (2009) zeigt bei männlichen Jugendlichen, dass das kalendarische Alter im Bereich von 13 bis 14 Jahren oberhalb des biologischen Alters liegt und erst ab etwa 16 Jahren wieder kongruent mit diesem verläuft. Malina et al. (2004) zeigen für Fußballspieler, dass sich mehr als die Hälfte der Spieler bei den C-Junioren (13/14 Jahre) im Entwicklungsstatus von vier bis fünf nach Tanner befinden und demnach als Frühentwickler gelten. Daher verlaufen das biologische und das kalendarische Alter bei den meisten Fußballspielern oft schon früher wieder kongruent als bei untrainierten Kindern (vgl. LeGall et al. 2010). Allerdings zeigt sich bei Fußballmannschaften im C-Juniorenbereich eine große Spannweite bezüglich der Körpergröße und dem Körpergewicht innerhalb der Mannschaften, was auf eine heterogene Zusammensetzung bezüglich des Entwicklungsstatus zurückzuführen ist (vgl. Malina et al. 2004, 2007; Vaeyens et al. 2006). Zudem können Philpaerts et al. (2006) gleiche Zeiträume für die Maxima in der Körperlängenwachstumsrate und Körpergewichtszunahme bei Fußballspielern verzeichnen, was auf viele Frühentwickler schließen lässt, da im normalen Wachstumsverlauf die höchste Rate der Körpergewichtszunahme etwas später als die der Körperlängenzunahme auftritt. Helsen, Starkes & vanWinckel (2000) geben jedoch einen Hinweis darauf, dass sich die Spätentwickler im Fußball bis zum Alter von 18 Jahren gegen die Frühentwickler durchsetzen. Dies liegt darin begründet, dass das Körperlängenwachstum und die

Körpergewichtszunahme mit etwa 18 bis 19 Jahren abgeschlossen sind (vgl. Papaïakovou et al. 2009). Dellal & Wong (2013) können dies bestätigen, da sie einen Unterschied in der Körpergröße und dem Körpergewicht zwischen Fußballspielern der U15, U17 und U19 beobachten (vgl. auch Russell & Tooley 2011). Die höchsten Wachstumsraten der Knochen- und Muskelstruktur werden bei Jungen im Alter von 14 bis 15 Jahren beobachtet (vgl. Rauch et al. 2004). Einhergehend mit dem Körperlängenwachstum in der Pubertät findet eine steigende Produktion von Wachstumshormonen, besonders dem Testosteron, statt (vgl. Naughton et al. 2000). Zum Eintritt in die Pubertät steigen die Hormone LH (luteinisierendes Hormon) und FSH (follikelstimulierendes Hormon) als Voraussetzung für das Östrogen und das Testosteron stark an. Auch die Hormone IGF-1 und GH (Growth Hormone) nehmen kontinuierlich im Verlaufe der Pubertät zu (vgl. Naughton et al. 2000). Die Testosteronkonzentration zeigt nach Vääntinen et al. (2011) ebenfalls eine kontinuierliche Steigung bis zum Alter von 17 Jahren. Dabei kann ein Training die Ausschüttung von Testosteron positiv beeinflussen. Dies zeigen Tsolakis et al. (2003a) sowohl in einer Querschnitts- als auch in einer Längsschnittbetrachtung, bei der Sportler aus dem Handball und Rudern höhere Konzentrationen als untrainierte Jugendliche zeigen. Des Weiteren wird durch ein Krafttraining eine höhere Konzentration an Testosteron ausgeschüttet als bei körperlicher Inaktivität.

Mit dem Längen- und Breitenwachstum des aktiven und passiven Bewegungsapparates verändert sich die Leistungsfähigkeit im Kraft- und Schnelligkeitsbereich. Hier zeigen Mayhew et al. (1993) bei jugendlichen Gewichthebern mittlere bis hohe Korrelationen zwischen der Maximalkraft und dem Muskelumfang bzw. dem Muskelquerschnitt. Auch die Körpergröße und das Körpergewicht korrelieren im mittleren Bereich mit der Maximalkraft. Demnach sollte das Maximalkraftniveau mit dem Alter bis etwa zum 18. Lebensjahr ansteigen. Diesbezüglich ermitteln Barber-Westin, Noyes & Galloway (2006), dass es bis zum 16. Lebensjahr zu Maximalkraftsteigerungen kommt, wenn kein gezieltes Krafttraining durchgeführt wird. Im Altersbereich danach kommt es zu einem leichten Abfall der Maximalkraft. Vääntinen et al. (2011) zeigen bei Fußballspielern hingegen das Maximum in der Entwicklung der Maximalkraft schon im Alter von 14 bis 15 Jahren. Danach kommt es ebenfalls zu einem leichten Abfall bis zu einem Plateau, auf dem sich die Werte halten. Dies spricht ebenfalls dafür, dass die Sportart Fußball vermehrt von Frühentwicklern ausgeübt wird. Neben der Maximalkraft zeigt auch die Schnellkraft altersbedingte Anpassungen im Kindes- und Jugendalter. Valente-dos-Santos et al. (2012) zeigen bei Fußballspielern im

chronologischen Altersverlauf von elf bis 17 Jahren eine stetige Steigerung in der Leistung des CMJ (vgl. Lloyd et al. 2011; Nikolaidis 2014; Vaeyens et al. 2006). Einen ähnlichen Verlauf zeigt auch Richter (2011) in Bezug auf die Reaktivkraft. Hier sind 12- bis 14-jährige Jugendliche in der Reaktivkraftleistung schwächer als 15- bis 18-jährige Jugendliche. Auch Lloyd et al. (2011) zeigen einen kontinuierlichen Verlauf an Steigerungen in der Reaktivkraft. Sowohl die Schnellkraft als auch die Reaktivkraft werden von der neuronalen Ansteuerung beeinflusst, die nach den empirischen Befunden im Verlauf der Pubertät ansteigt.

Das Alter hat im Juniorenbereich ebenfalls einen Einfluss auf die Sprintleistung (vgl. Russell & Tooley 2011). Malina et al. (2004) beobachten anhand des Entwicklungsstatus nach Tanner eine Entwicklung der Sprintleistung. Diesbezüglich zeigen Valente-dos-Santos et al. (2012) bei Fußballspielern im chronologischen Altersverlauf von 11 bis 17 Jahren eine stetige Steigerung der Sprintleistung (vgl. auch Vaeyens et al. 2006). Sie können weiterhin ermitteln, dass Späentwickler langsamer als Frühentwickler im Fußball sind. Dies zeigt sich vor allem im Altersbereich von 13 bis 15 Jahren, in dem auch die Spannweite der Körpergrößenunterschiede sehr hoch ist (vgl. Vaeyens et al. 2006). Vääntinen et al. (2011) beobachten weiter, dass die Entwicklungsrate der Sprintleistung bei Fußballspielern nach dem Altersbereich von 14 Jahren nicht mehr ansteigt und bis zum Alter von 17 Jahren fast auf null abfällt. Dies bestätigen auch Russell & Tooley (2011), die bei Fußballspielern nur zwischen den Altersbereichen U14 und U18 Unterschiede in der Sprintleistung feststellen. Zwischen den Altersbereichen U16 und U18 können sie keine statistisch relevanten Unterschiede mehr ermitteln. Demnach ist bei Fußballspielern die maximale wachstumsbedingte Entwicklungsrate der Sprintleistung im Alter von etwa 14 Jahren zu erwarten. Karova (2009) zeigt bei Schülern zwischen den Altersbereichen 14 bis 15 Jahre und 17 bis 18 Jahre sogar, dass es zu einem leichten Abfall in der Sprintleistung über 20m kommen kann. Demnach ist der Verlauf der Entwicklung von Sprintleistungen auch aktivitätsabhängig (vgl. auch Vääntinen et al. 2011). Daher ist ein entsprechendes Training durchzuführen, um die Leistung im Linearsprint nach dem Zeitpunkt der höchsten Körperentwicklungsraten weiter zu steigern. Für die Leistungsfähigkeit im Richtungswechselsprint gibt es nur wenige altersbezogene Angaben in der Literatur. Vääntinen et al. (2011) zeigen ähnlich zur Sprintleistung, dass es ab dem 14. Lebensjahr zu einem stetigen Abfall in der Entwicklungsrate der Leistungsfähigkeit kommt. Im Alter von 17 Jahren fällt die Entwicklung nahezu komplett ab. Jacovljevic et al. (2012) können bei 12-jährigen und 14-jährigen Basketballspielern ebenfalls einen altersbezogenen Unterschied in der Leistung des Richtungswechselsprints feststellen.

Demnach gelten ähnliche Voraussetzungen zum Linearsprint, was den Rückschluss zulässt, dass ein Training im Richtungswechselsprint schon in der Pubertät während der Wachstumsphasen notwendig ist, um weitere Leistungsverbesserungen zu erzielen.

### **2.8 Krafttraining im Kindes- und Jugendalter**

In den letzten Jahrzehnten ist das Thema Krafttraining im Kindes- und Jugendalter sehr kritisch betrachtet worden. Herrschte vor 20 Jahren noch allgemein die Ansicht, dass ein Krafttraining in diesem Altersbereich schädlich für den passiven Bewegungsapparat ist und nicht den gewünschten Effekt adäquat zum Erwachsenenbereich beinhaltet, wird heute eine andere Meinung vertreten (vgl. u.a. Faigenbaum et al. 2009). Aufgrund der Annahme, der passive Bewegungsapparat im Kindes- und Jugendalter habe eine geringere Belastungstoleranz als der eines Erwachsenen, ist von einem Krafttraining in diesem Altersbereich abgeraten worden. Im Zeitraum des Körperlängenwachstums sind die passiven Strukturen des Bewegungsapparates anfälliger für Belastungen, da die neuen Strukturen durch nicht vorhandene Reizsetzungen noch keine hohe Widerstandsfähigkeit besitzen. Dies darf jedoch nicht zu einem Ausschluss von intensiven Reizsetzungen auf den aktiven und passiven Bewegungsapparat führen (vgl. Lloyd et al. 2014), zumal die Belastungen bei Sprüngen und schnellen Bewegungen das Sechs- bis Siebenfache des Körpergewichts erreichen können (vgl. Niu et al. 2014; Seegmiller & McCaw 2003). Daly et al. (2004) zeigen in einer Querschnittsbetrachtung, dass sich ein Training im pubertären Alter positiv auf die Knochenstruktur auswirkt. Wird jedoch kein Trainingsreiz gesetzt, kommt es auch nicht zu Anpassungen im passiven Bewegungsapparat. Demnach muss eine systematische intensive Reizsetzung über den gesamten Altersbereich des späten Kindesalters bis zum Erwachsenenalter erfolgen. Auch Cassell, Benedict & Specker (1996) beobachten bei sieben- bis neunjährigen Turnerinnen eine höhere Knochendichte als bei Schwimmern und Untrainierten gleichen Alters. DiasQuiterio et al. (2011) können eine höhere Knochendichte bei sportlich aktiveren gegenüber weniger aktiven Kindern und Jugendlichen nachweisen (vgl. Andreoli et al. 2001; Vicente-Rodriguez et al. 2004; Walters, Jezequel & Grove 2012). Auch eine Längsschnittuntersuchung von Heinonen et al. (2000) zeigt über einen Zeitraum von neun Monaten, dass ein kindlicher Körper mit seinen passiven Strukturen positiv auf höhere Belastungen reagiert. Fukunaga, Funato & Ikegawa (1992) ermitteln ebenfalls eine Erhöhung der Knochenmasse nach einem zwölfwöchigen isometrischen Krafttraining mit elfjährigen Kindern. Auch Yu et al. (2005) können durch ein Krafttraining über 36 Wochen



bei Kindern mit Übergewicht positive Veränderungen in der Knochenmineralisierung nachweisen. Weiterhin kann gezeigt werden, dass Verletzungen der anfälligen Epiphysenfugen, die für das Knochenwachstum von enormer Bedeutung sind, bei einem Krafttraining seltener vorkommen als bei Sportarten wie Fußball, Baseball, Hockey und Basketball (vgl. Benton 1982). Caine, DiFiori & Maffulli (2006) zeigen sogar, dass Baseball und American Football die höchsten Verletzungsraten der Epiphysen aufweisen. Demnach sind die hauptsächlichen Faktoren für Verletzungen des passiven Bewegungsapparates in den Sportarten selbst zu suchen. Begründet liegt dies in den sehr hohen Belastungen auf den Bewegungsapparat durch die erzeugten hohen Geschwindigkeiten bei den spezifischen Bewegungsausführungen. Auch der Gegnereinfluss bei den Spielsportarten mit Gegnerkontakt ist mitverantwortlich für die höheren Verletzungsraten. Hamill (1994) zeigt weiterhin in einer Untersuchung, dass Gewichtheben und Krafttraining sehr selten zu Verletzungen führen. Die Verletzungsrate liegt demnach bei 0.0017/100h bzw. 0.0035/100h absolviertes Training. Im Gegensatz dazu liegen die Verletzungsraten im Fußball (6,2/100h), Rugby (1,92/100h), Basketball (1,03/100h) und in der Leichtathletik (0,57/100h) weitaus höher.

Ausgehend von der Entwicklung des Körperlängenwachstums, das bei Jungen im Altersbereich von etwa 14 Jahren die höchsten Raten zeigt, sollte intensives Krafttraining mit Hypertrophie- und Maximalkrafttraining nach Lloyd & Oliver (2012) ab diesem Altersbereich stattfinden (siehe Abb. 17). Ein vorbereitendes Techniktraining und eine Phase der moderaten Intensitätssteigerung sind vorzuschalten, um im Altersbereich nach dem höchsten Körperlängenwachstum die benötigten Intensitäten für die zu erzwingenden Anpassungen im aktiven und passiven Bewegungsapparat anwenden zu können. Ein Krafttraining sollte aus diesem Grund so früh wie möglich begonnen werden (vgl. Faigenbaum et al. 2009). Es wird weiterhin festgehalten, dass Schädigungen des passiven Bewegungsapparates durch Krafttraining nur in Fällen von nicht korrekt ausgeführten Techniken oder ohne Aufsicht stattfinden (vgl. BASES 2004). Aus diesem Grund ist es notwendig, Krafttrainingseinheiten nur unter Aufsicht von erfahrenen Trainern durchzuführen (vgl. Faigenbaum 1993; Pierce, Byrd & Stone 2006). Weiterhin muss gewährleistet sein, dass die Technikausführung immer im Fokus des Krafttrainings mit Kindern und Jugendlichen steht (vgl. Faigenbaum 1993; Williams 1993). Auf internationaler Ebene werden daher Richtlinien bereitgestellt, die es bei einem Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen zu beachten gilt und in denen es unter

## 2 Theoretische Grundlagen

anderem um Aufklärung, Inhalte und Methoden des Krafttrainings mit Kindern und Jugendlichen geht (vgl. Faigenbaum 2001).

YOUTH PHYSICAL DEVELOPMENT (YPD) MODEL FOR MALES																					
CHRONOLOGICAL AGE (YEARS)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+	
AGE PERIODS	EARLY CHILDHOOD				MIDDLE CHILDHOOD						ADOLESCENCE						ADULTHOOD				
GROWTH RATE	RAPID GROWTH				STeady GROWTH						ADOLESCENT SPURT						DECLINE IN GROWTH RATE				
MATURATIONAL STATUS	YEARS PRE-PHV										PHV						YEARS POST-PHV				
TRAINING ADAPTATION	PREDOMINANTLY NEURAL (AGE-RELATED)										COMBINATION OF NEURAL AND HORMONAL (MATURITY-RELATED)										
PHYSICAL QUALITIES	FMS			FMS			FMS			FMS											
	SSS			SSS			SSS			SSS											
	Mobility			Mobility						Mobility											
	Agility			Agility						Agility			Agility								
	Speed			Speed						Speed			Speed								
	Power			Power						Power			Power								
	Strength			Strength						Strength			Strength								
	Hypertrophy			Hypertrophy						Hypertrophy			Hypertrophy								
Endurance & MC			Endurance & MC						Endurance & MC			Endurance & MC									
TRAINING STRUCTURE	UNSTRUCTURED				LOW STRUCTURE						MODERATE STRUCTURE			HIGH STRUCTURE			VERY HIGH STRUCTURE				

Abbildung 17: Trainingsinhalte und Trainingsschwerpunkte anhand des Körperlängenwachstums im langfristigen Leistungsaufbau bei Kindern und Jugendlichen (nach Lloyd & Oliver 2012)

Ein weiterer Kritikpunkt am Krafttraining für Kinder und Jugendliche ist die ungünstige Hormonsituation vor der Pubertät, die eine Maximalkraftanpassung nur bedingt zulässt. Allerdings kann gezeigt werden, dass Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen zu Steigerungen der Maximalkraft führt (vgl. American Academy of Pediatrics 2001; Faigenbaum et al. 1996; 2009; Payne et al. 1997). Eine Untersuchung von De Renne et al. (1996) weist eine Steigerung der Maximalkraft bei 13-jährigen Baseballspielern durch ein Krafttraining auf, obwohl keine Erhöhung des Testosteronspiegels nachgewiesen werden kann. Tsolakis et al. (2000) zeigen hingegen eine Steigerung des Testosteronspiegels nach einem zweimonatigen Krafttraining bei zwölfjährigen Kindern. Auch nach einer zweimonatigen darauffolgenden Detraining-Periode fällt der Testosteronwert nicht mehr ab. Demnach kommt es sowohl mit als auch ohne Testosteronsteigerungen nach einem Krafttraining zu einer Erhöhung des Maximalkraftniveaus bei Kindern. Dies erklärt sich unter anderem daraus, dass das Testosteron nicht das einzige Wachstumshormon ist, das für das Muskelwachstum verantwortlich ist. Hier spielen auch die Hormone IGF-1 und HGH (human growth hormone) eine große Rolle. Diese Hormone sind auch bei Kindern im vorpubertären Alter in entsprechenden Konzentrationen vorhanden (vgl. Rowland 2005). Lillegard et al.

(1997) ermitteln neben Maximalkraftsteigerungen bei Kindern und Jugendlichen mit einem unterschiedlichen Entwicklungsstatus (Tanner) auch Zuwächse im Muskelumfang nach einem zwölfwöchigen Krafttraining. Begründet liegt dies möglicherweise auch in der erhöhten GH-Ausschüttung bei intensiven Belastungen im Training (vgl. Naughton et al. 2000). Ein Muskelwachstum durch ein Krafttraining ist damit im Kindesalter nicht ausgeschlossen. Die Anpassungen der neuronalen Strukturen dürften jedoch deutlich über denen der morphologischen Anpassungen liegen. Diese werden als Hauptfaktor für Maximalkraftsteigerungen in diesem Alter gesehen (vgl. Faigenbaum 1993). Blimkie (1992) beschreibt die intermuskuläre Koordination und die muskuläre Aktivierungsfähigkeit als entscheidende Anpassungsmechanismen. Weltman et al. (1986) zeigen durch ein Krafttraining Steigerungen in der Maximalkraft und der vertikalen Sprungleistung bei Kindern. Da die vertikale Sprungleistung stark von der neuronalen Ansteuerung der Muskulatur abhängt, bestätigen diese Ergebnisse die Annahme der hauptsächlich neuronalen Anpassungen durch ein Krafttraining im Kindesalter. Daher ist eine Forderung, wonach ein Krafttraining aufgrund der fehlenden hormonellen Ausschüttung in diesem Altersbereich nicht durchgeführt werden soll, als hinfällig anzusehen. Hinzu kommt die Problematik, dass ein Beginn des Krafttrainings mit Einzug des Testosteronschubs im Körper dazu führen würde, dass die Muskulatur einen raschen Zuwachs generiert, die passiven Strukturen wie Sehnen, Bänder und Knochen allerdings aufgrund des höheren Adaptionszeitfensters den progressiven Belastungssteigerungen nicht standhalten könnten. Dies würde schließlich bei hohen Belastungen zu erheblichen Verletzungsrisiken führen. Wird ein Krafttraining demnach früh begonnen, können hingegen frühzeitig Anpassungen generiert werden, die nach Hejna & Rosenberg (1982) sogar eine verletzungsprophylaktische Wirkung zeigen (vgl. Duda 1986; Faigenbaum & Schram 2004). Auch Hewett, Myer & Ford (2005) erzielten durch ein Krafttraining eine geringere Rate an Kreuzbandverletzungen (vgl. Tanner 1993).

Tsolakis, Vagenas & Dessypris (2003) verweisen beim Training mit Kindern und Jugendlichen auf die Bedeutung der Trainingsintensität, da der Trainingsumfang allein nicht zu den nötigen Anpassungen von Kraft und Muskelwachstum führt. Entscheidend für eine adäquate Anpassung auf ein Krafttraining im Kindes- und Jugendalter ist daher die Krafttrainingsmethode. Faigenbaum et al. (2001) können bei fünf- bis zwölfjährigen Kindern zeigen, dass ein Krafttraining sowohl mit hohen Lasten und geringen Wiederholungszahlen (6 bis 8) als auch mit niedrigeren Lasten und hohen Wiederholungszahlen (10 bis 13) zu Kraftsteigerungen führt, die zweite Methode hier aber höhere Zuwachsraten verzeichnet. Für

die Intensitätssteuerung des Krafttrainings wird angegeben, Trainingsgewichte an maximal mögliche WDH anzupassen, die ohne technische Fehler noch ausgeführt werden können, und prozentuale Intensitätsvorgaben zu vermeiden. Dies resultiert aus einer Untersuchung von Faigenbaum et al. (1998), in der Kinder (8 bis 12 Jahre) bei 75% des 1RM im Durchschnitt 18 WDH mit einer Standardabweichung von zwölf in der Beinpresse durchführen können. Auch Wirth (2007) gibt an, dass genaue prozentuale Angaben des 1RM zur Intensitätsbestimmung nicht geeignet sind, da individuelle Unterschiede in den maximal möglichen WDH zu hoch sind. Bezüglich des Trainingsumfangs sollten auf Basis einer Untersuchung von Faigenbaum et al. (2002) zwei Krafttrainingseinheiten pro Woche durchgeführt werden. Damit ist eine Empfehlung adäquat zum Erwachsenentraining gegeben.

Zusammenfassend sind einige wichtige Faktoren im Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen zu beachten. Ein Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen sollte langfristig aufgebaut sein, um entsprechende Leistungsreserven auszuschöpfen (vgl. Howard 2013). Dabei sollte das Einstiegsalter zwischen sechs und elf Jahren liegen (vgl. Faigenbaum 2001). Sowohl der Einstieg in das Krafttraining als auch die Gestaltung des Krafttrainings sind im Kinder- und Jugendbereich individuell zu gestalten, da in diesen Altersbereichen entwicklungsbedingte Unterschiede sehr hoch sein können (vgl. Howard 2013). Des Weiteren wird darauf verwiesen, dass die Technikausführung im Krafttraining zu jedem Zeitpunkt im Vordergrund zu stehen hat (vgl. Faigenbaum 2001). Demnach ist auf Belastungssteigerungen zu verzichten bzw. sind aktuelle Belastungen zu reduzieren, wenn es im Krafttraining zu unkorrekten Bewegungsausführungen kommt.

### 3 Empirische Untersuchung

#### 3.1 Fragestellungen und Hypothesen

##### 3.1.1 Anthropometrie

Das Körperlängenwachstum und die Entwicklung des Körpergewichts entwickeln sich im pubertären Alter in hohem Maße. Bei männlichen Jugendlichen wird davon ausgegangen, dass das Körperlängenwachstum mit 18 bis 19 Jahren weitgehend abgeschlossen ist (vgl. Papaïakovou et al. 2009). Die höchsten Längenwachstumsphasen sind im Altersbereich von 12 bis 15 Jahren vorhanden. Daher sind hohe Körperlängenwachstumsraten im Altersbereich der C- und B-Junioren zu erwarten, die sich im Laufe der A-Junioren nahezu einstellen sollten. Die höchsten Breitenwachstumsphasen sind im Altersbereich von 15 bis 17 Jahren beobachtet worden (vgl. Lloyd et al. 2011). Deshalb dürften die Fußballspieler, die kein Krafttraining absolvieren, aus wachstumsbedingten Gründen zumindest im C- und B-Juniorenbereich Steigerungen des Körpergewichts aufzeigen (vgl. Papaïakovou et al. 2009). Der Einfluss eines langfristig durchgeführten Krafttrainings auf das Körpergewicht sollte sich nach den gängigen Literaturangaben zusätzlich zur wachstumsbedingten Entwicklung des Körpergewichts auswirken (vgl. Lillegard et al. 1997). Für den A-Juniorenbereich dürften die Fußballspieler ohne Krafttraining durch die nahezu abgeschlossene muskuläre Entwicklung keine Gewichtszunahme generieren. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass es kein Unterschied in der Entwicklung der Körpergröße zwischen Fußballspielern zweier Vereine aus dem Profifußball gibt, da Profivereine potenzielle Spieler für den Profi-Fußball ausbilden, und demnach eine ähnliche Selektionsweise bei der Auswahl an Spielern vorliegt.

**F1:** Wie wirkt sich ein zweijähriges Krafttraining auf das Gewicht von jugendlichen Fußballspielern aus dem Nachwuchsleistungssport aus?

**H1a:** Aufgrund der entwicklungsbedingt günstigen Altersklasse sind die Körperlängenwachstumsraten von Jugendfußballspielern im C- und B-Juniorenbereich über den Verlauf von zwei Jahren signifikant.

**H1b:** Aufgrund der entwicklungsbedingt ungünstigen Altersklasse sind die Körperlängenwachstumsraten von Jugendfußballspielern im A-Juniorenbereich über den Verlauf von zwei Jahren nicht signifikant.

**H1c:** Aufgrund der entwicklungsbedingt günstigen Altersklasse sind die Körpergewichtszunahmen von Jugendfußballspielern, die ein reguläres Fußballtraining durchführen, im C- und B-Juniorenbereich über den Verlauf von zwei Jahren signifikant.

**H1d:** Aufgrund der entwicklungsbedingt ungünstigen Altersklasse gibt es keine signifikante Körpergewichtszunahme von Jugendfußballspielern im A-Juniorenbereich, die über den Verlauf von zwei Jahren ein reguläres Fußballtraining durchführen.

**H1e:** Aufgrund der entwicklungsbedingt günstigen Altersklasse und des Krafttrainings sind die Körpergewichtszunahmen von Jugendfußballspielern, die neben dem regulären Fußballtraining ein Krafttraining über zwei Jahre durchführen, im C- und B-Juniorenbereich über den Verlauf von 2 Jahren signifikant.

**H1f:** Trotz der entwicklungsbedingt ungünstigen Altersklasse ist eine signifikante Körpergewichtszunahme von Jugendfußballspielern im A-Juniorenbereich vorhanden, da diese über den Verlauf von zwei Jahren neben dem regulären Fußballtraining ein Krafttraining durchführen.

**H1g:** Es gibt bei Fußballspielern, die ein Krafttraining durchführen, und denen, die nur das reguläre Fußballtraining absolvieren, in den Altersklassen A-, B- und C-Junioren über einen Zeitraum von zwei Jahren keinen signifikanten Unterschied in der Entwicklung des Körperlängenwachstums.

**H1h:** Durch eine Krafttrainingsintervention über zwei Jahre gibt es bei jugendlichen Fußballspielern im A-, B- und C-Juniorenbereich aufgrund des anzunehmenden erhöhten Muskelwachstums in der Entwicklung der Körpergewichtszunahme einen signifikanten Unterschied zu jugendlichen Fußballspielern, die nur das reguläre Fußballtraining durchführen.

#### 3.1.2 Maximalkraft

Ein Krafttraining wirkt sich positiv auf die Entwicklung der Maximalkraft aus. Dies zeigen diverse Untersuchungen auch bei Kindern und Jugendlichen (vgl. American Academy of Pediatrics 2001). Langfristige Krafttrainingsinterventionen, die über ein Jahr hinausgehen,

fehlen allerdings in der Literatur. Auch mangelt es weitgehend an Krafttrainingsinterventionen mit jugendlichen, leistungssportlich orientierten Fußballspielern, die länger als 22 Wochen andauern. Daher ist eine evidente Aussage über den zu erwartenden langfristigen Effekt der Maximalkraftentwicklung derzeit nicht möglich. Aufgrund der vorhandenen Längsschnittuntersuchungen ist jedoch durch ein periodisiertes Krafttraining von einer positiven Maximalkraftentwicklung bei jugendlichen Fußballspielern auszugehen (vgl. Hartmann et al. 2012). Weiterhin ist zu erwarten, dass Fußballspieler, die nur das Fußballtraining absolvieren, durch wachstumsbedingte Prozesse im C- und B-Juniorenbereich ebenfalls Steigerungen der Maximalkraft aufweisen (vgl. Mayhew et al. 1993). Im A-Juniorenbereich sollte sich dieser Effekt nicht mehr zeigen. Trotz der zu erwartenden wachstumsbedingten Steigerungen der Maximalkraft ist dennoch davon auszugehen, dass Fußballspieler, die ein Krafttraining absolvieren, höhere Entwicklungen der Maximalkraft aufweisen.

**F2:** Wie entwickelt sich die Maximalkraft, gemessen im 1RM der tiefen Kniebeuge, durch eine zweijährige periodisierte Krafttrainingsintervention bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern?

**H2a:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die eine Krafttrainingsintervention über zwei Jahre zusätzlich zum regulären Fußballtraining durchführen, zeigen statistisch signifikant höhere Entwicklungen im 1RM der Front- und Nackenkniebeuge gegenüber leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern ohne zusätzliche Krafttrainingsintervention in den Altersbereichen der A-, B- und C-Junioren.

**H2b:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler in den Altersbereichen der A-, B- und C-Junioren, die eine Krafttrainingsintervention über zwei Jahre zusätzlich zum regulären Fußballtraining durchführen, zeigen statistisch signifikant höhere Entwicklungen im 1RM der Front- und Nackenkniebeuge im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**H2c:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die ein reguläres Fußballtraining durchführen, zeigen entwicklungsbedingt im C- und B-Juniorenbereich statistisch signifikant höhere Entwicklungen im 1RM der Front- und Nackenkniebeuge im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**H2d:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die ein reguläres Fußballtraining durchführen, zeigen wegen des entwicklungsbedingt ungünstigen Altersbereichs bei den A-Junioren statistisch keine signifikant höheren Entwicklungen im 1RM der Front- und Nackenkniebeuge im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

#### 3.1.3 Linearsprint

Das Sprintverhalten spielt im Fußball eine große Rolle. Es wird gezeigt, dass Sprints über kurze Distanzen (bis 30m) den dominierenden Anteil in einem Spiel besitzen. Weiterhin gehen Sprints spielentscheidenden Situationen meist vorweg bzw. folgen unmittelbar danach (vgl. Reilly 2005). Deshalb ist eine hohe Ausprägung der Sprintleistung im Fußball notwendig. Ein Krafttraining zeigt sowohl positive als auch negative Effekte auf die Sprintleistung (vgl. Chelly et al. 2009; Lopez-Segovia et al. 2010). Im Hinblick auf die Schwierigkeit eines Übertrags von Krafttrainingseffekten auf eine koordinativ sehr anspruchsvolle Bewegungsform ist das kontroverse Ergebnis der zahlreichen Untersuchungen nachvollziehbar. Allerdings fehlen hier Untersuchungen mit langfristigen Krafttrainingsinterventionen, die möglicherweise eine Aufklärung zu den bisherigen kontroversen Ergebnissen in Bezug auf die Sprintleistung geben können. Da selbst Krafttrainingsinterventionen von 22 Wochen nicht ausreichen, um einen positiven Effekt in der Sprintleistung zu erzielen, ist es notwendig, Krafttrainingsinterventionen über einen längeren Zeitraum durchzuführen, um zu zeigen, inwiefern ein solches Training langfristig einen Einfluss auf den Sprint ausüben kann. Hinzu kommt, dass im Leistungssport von einem hohen Trainingszustand auszugehen ist und damit ein Übertrag des Krafttrainings auf den Sprint ohnehin geringer ausfallen dürfte. Neben dem Effekt des Krafttrainings kann weiterhin gezeigt werden, dass die Sprintleistung durch wachstumsbedingte Faktoren im Jugendalter positiv beeinflusst wird (vgl. Russell & Tooley 2011). Dieser positive Verlauf kann bis zum Altersbereich von 17 Jahren beobachtet werden. Demnach ist davon auszugehen, dass Fußballspieler im Altersbereich der C- und B-Junioren eine Verbesserung der Sprintleistung generieren können.

**F3:** Wie entwickelt sich die Sprintleistung über 30m mit den Teildistanzen von 5m, 10m, 15m, 20m und 25m durch ein zweijähriges Krafttraining bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern?



**H3a:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die eine Krafttrainingsintervention über zwei Jahre zusätzlich zum regulären Fußballtraining durchführen, zeigen in den Altersklassen der A-, B- und C-Junioren statistisch signifikant bessere Leistungsentwicklungen im Linearsprint über 5m, 10m, 15m, 20m, 25m und 30m im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**H3b:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die über zwei Jahre ein reguläres Fußballtraining durchführen, zeigen in den Altersbereichen der C- und B-Junioren statistisch signifikant bessere Leistungsentwicklungen im Linearsprint über 5m, 10m, 15m, 20m, 25m und 30m im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**H3c:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die über zwei Jahre ein reguläres Fußballtraining durchführen, zeigen im Altersbereich der A-Junioren statistisch keine signifikanten Leistungsentwicklungen im Linearsprint über 5m, 10m, 15m, 20m, 25m und 30m im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**H3d:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die eine Krafttrainingsintervention über zwei Jahre zusätzlich zum regulären Fußballtraining durchführen, zeigen in den Altersklassen der A-, B- und C-Junioren statistisch signifikant bessere Entwicklungen im Linearsprint über 5m, 10m, 15m, 20m, 25m und 30m gegenüber leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern, die kein zusätzliches Krafttraining zum regulären Fußballtraining durchführen, im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**F4:** Wie hoch ist der Zusammenhang zwischen Kraftparametern (1RM) der Front- bzw. Nackenkniebeuge und den Sprintzeiten über 5m, 10m, 15m, 20m, 25m sowie 30m bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern?

**H4a:** Es gibt einen mittleren signifikanten Zusammenhang zwischen dem 1RM in der Frontkniebeuge und der Zeit im Sprint über 5m, 10m, 15m 20m, 25m sowie 30m bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern.

**H4b:** Es gibt einen mittleren signifikanten Zusammenhang zwischen dem 1RM in der Nackenkniebeuge und der Zeit im Sprint über 5m, 10m, 15m 20m, 25m sowie 30m bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern

#### 3.1.4 Richtungswechselsprint

Der Richtungswechselsprint ist neben dem Linearsprint für den Fußball von hoher Bedeutung, im Besonderen für das Dribbling mit dem Ball und für Lauffinten, um in einen freien Raum ohne Gegenspieler zu gelangen (vgl. Rehhagel 2011). Der Richtungswechselsprint unterscheidet sich in der Bewegungsausführung maßgeblich vom Linearsprint. Daher werden beide Sprintformen als getrennte konditionelle Parameter betrachtet (vgl. Sheppard & Young 2006). Zahlreiche Untersuchungen haben jedoch bislang keinen evidenten Nachweis liefern können, ob diese beiden Parameter getrennt betrachtet werden dürfen. Diesbezüglich zeigt die empirische Datenlage das komplette Spektrum von niedrigen bis hohen Zusammenhängen zwischen den beiden Parametern. Des Weiteren ist durch die Art des Richtungswechselsprints, der häufig aus kurzen Antritten mit darauffolgenden Abbremsbewegungen besteht, ein hoher Einfluss der Maximal- und Schnellkraft anzunehmen (vgl. Sheppard & Young 2006). Die empirische Untersuchungslage zeigt jedoch kontroverse Ergebnisse bezüglich des Effekts eines Krafttrainings auf die Leistung im Richtungswechselsprint. Dennoch kristallisiert sich über den Faktor des Interventionszeitraums heraus, dass lange Zeiträume einer Krafttrainingsintervention zu einer positiven Entwicklung im Richtungswechselsprint führen können (vgl. Nimphius, McGuigan & Newton 2012). Weiterhin zeigen Untersuchungen, dass es durch wachstumsbedingte Faktoren zu einer Leistungsentwicklung im Richtungswechselsprint kommt (vgl. Jacovljevic et al. 2012; Vääntinen et al. 2011). Demnach ist bei Fußballspielern im Altersbereich der C- und B-Junioren von einer Steigerung der Leistung im Richtungswechselsprint auszugehen.

**F5:** Wie entwickelt sich die Leistung im Richtungswechselsprint durch ein zweijähriges Krafttraining bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern?

**H5a:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die eine Krafttrainingsintervention über zwei Jahre zusätzlich zum regulären Fußballtraining durchführen, zeigen in den Altersklassen der A-, B- und C-Junioren statistisch signifikant bessere Leistungsentwicklungen im Richtungswechselsprint im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**H5b:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die über zwei Jahre ein reguläres Fußballtraining durchführen, zeigen in den Altersbereichen der C- und B-Junioren statistisch

signifikant bessere Leistungsentwicklungen im Richtungswechselsprint im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**H5c:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die über zwei Jahre ein reguläres Fußballtraining durchführen, zeigen im Altersbereich der A-Junioren statistisch keine signifikanten Leistungsentwicklungen im Richtungswechselsprint im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**H5d:** Leistungssportlich orientierte Jugendfußballspieler, die eine Krafttrainingsintervention über zwei Jahre zusätzlich zum regulären Fußballtraining durchführen, zeigen in den Altersklassen der A-, B- und C-Junioren statistisch signifikant bessere Entwicklungen im Richtungswechselsprint gegenüber leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern, die kein zusätzliches Krafttraining zum regulären Fußballtraining durchführen, im einjährigen und zweijährigen Verlauf.

**F6:** Wie hoch ist der Zusammenhang zwischen Kraftparametern (1RM) der Front- bzw. Nackenkniebeuge und den Sprintzeiten im Richtungswechselsprint bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern?

**H6a:** Es gibt einen mittleren signifikanten Zusammenhang zwischen dem 1RM in der Frontkniebeuge und der Zeit im Richtungswechselsprint bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern.

**H6b:** Es gibt einen mittleren signifikanten Zusammenhang zwischen dem 1RM in der Nackenkniebeuge und der Zeit im Richtungswechselsprint bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern.

**F7:** Gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Linearsprint und dem Richtungswechselsprint bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern?

**H7a:** Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Zeiten im Richtungswechselsprint und dem Linearsprint über 5m, 10m, 15m, 20m, 25m sowie 30m bei leistungssportlich orientierten Jugendfußballspielern.

#### 3.2 Untersuchungsdesign

##### 3.2.1 Personenstichprobe

In dieser Untersuchung sind Daten (Körpergewicht, Körpergröße, Linearsprint, Richtungswechselsprint und Maximalkraft) von insgesamt 214 jugendlichen Fußballspielern im Alter von 12 bis 18 Jahren aus zwei Nachwuchsleistungszentren von professionellen Vereinen über einen Zeitraum von zwei Jahren erhoben worden. Es kommt zu einer Ausfallquote von etwa 50% nach zwei Jahren, sodass am Ende der Untersuchung 114 Probanden in die Ergebnisauswertung einfließen. Diese Ausfallquote ist weitaus geringer als die in der Literatur angegebenen Ausfallquoten mit Fußballspielern. Casajus (2001) ermittelt nach einem halben Jahr eine Ausfallquote von 50% zwischen zwei Testungen mit Fußballspielern. Die Ausfallquote dieser Untersuchung ergibt sich aus Fluktuationen in den Vereinen und Verletzungen bzw. Erkrankungen, die eine Teilnahme an einem der Testtermine nicht erlaubt haben.

Alle jugendlichen Fußballspieler dieser Untersuchung weisen eine Anzahl von mindestens vier Trainingsjahren im Fußball auf. Die Fußballspieler werden entsprechend ihres Alters den im Fußball gängigen und vom DFB vorgegebenen Altersklassen (U14/U15 = C-Junioren, U16/U17 = B-Junioren und U19 = A-Junioren) zugeordnet. Die C-Junioren (Jahrgang 1996/1997), die B-Junioren (1995/1994) und die A-Junioren (1993/1992) sollen zum Ende der Untersuchung (nach zwei Jahren) in der eingeteilten Altersklasse sein, sodass der ältere Jahrgang zwei Jahre und der jüngere Jahrgang ein Jahr in der Altersklasse spielt. Diese Einteilung wird deshalb gewählt, da beide Jahrgänge in einer Altersklasse des Fußballs am Ende des Untersuchungszeitraums zusammenspielen. Die Nachwuchsfußballspieler werden zusätzlich entsprechend ihrer Vereinszugehörigkeit in zwei experimentelle Gruppen unterteilt. Eine Randomisierung der Fußballspieler ist dabei nicht möglich gewesen, da alle Fußballspieler der jeweiligen Mannschaften im Nachwuchsleistungszentrum nach Vorgaben der Vereine die gleichen Trainingsinhalte zu absolvieren haben. Weiterhin haben sich die Trainer nicht davon überzeugen lassen, einen Teil der Mannschaft ein Krafttraining absolvieren zu lassen, den anderen Teil hingegen nicht. Diese Problematik wird auch von Meyer (2006) beschrieben. Im Leistungssport lassen sich gängige wissenschaftliche Standardverfahren nicht immer duplizieren, sodass eine enthaltene Fehlervarianz akzeptiert werden muss. Die experimentellen Gruppen dieser Untersuchung werden in eine Krafttrainingsinterventionsgruppe (KTG) und eine Kontrollgruppe (CG) unterteilt. Alle

Mannschaften der beiden Vereine spielen in ihren jeweiligen Altersklassen in derselben Spielklasse. Innerhalb der Spielklasse belegten die Mannschaften beider Vereine am Ende der Saison immer Tabellenplätze zwischen eins und fünf. Beide Vereine absolvieren mit den jeweiligen Mannschaften regulär die gleiche Anzahl an TE pro Woche mit je 90min sowie ein Spiel in der Meisterschaftsrunde.

Zusätzlich zu den erfassten jugendlichen Fußballspielern ist eine Querschnittsanalyse mit 490 Schülern im Alter von 12 bis 18 Jahren durchgeführt worden. Diese Querschnittsanalyse soll eine Tendenz für entwicklungsbedingte Veränderungen geben. Eine Längsschnittanalyse über zwei Jahre, die die Möglichkeit ergeben hätte, die Daten statistisch mit denen der Fußballspieler zu vergleichen, ist von den Schulen kategorisch abgelehnt worden. Für die Untersuchung sind wurden Schulen aus dem Rhein-Main-Gebiet kontaktiert worden, die Schüler in dem definierten Altersbereich (12 bis 18 Jahre) unterrichten. Ziel sollte es sein, Schüler aus möglichst allen Schularten zu testen (Gymnasium, Realschule, Hauptschule). Fünf Schulen (zwei Gymnasien, zwei Realschulen, eine Gesamtschule) haben eine Zusage der Teilnahme einzelner Klassen an der Untersuchung gegeben. Alle Klassen haben für die Testung aufgrund der Stundenplaneinteilung und des organisatorischen Aufwands seitens der Schule nicht zur Verfügung gestanden. Dadurch ergeben sich Differenzen in der Probandenstärke einzelner Jahrgänge. Alle weiteren angefragten Schulen haben eine Absage aus Gründen der Organisation, der inhaltlichen starken Abweichung vom Lehrplan oder der knappen Zeit der ohnehin schon reduzierten Sportstunden in einem Schuljahr erteilt. Die Schüler sind adäquat zu den Fußballspielern im Linearsprint und Richtungswechselsprint getestet worden. Ebenfalls sind das Körpergewicht und die Körpergröße erfasst worden. Maximalkraftmessungen sind mit den Schülern nicht erfolgt, da der zeitliche Rahmen für diese Testungen mit vorgeschalteter Techniktrainingsphase dies nicht zugelassen hat. Weiterhin ist mit Hilfe eines Fragebogens die wöchentliche sportliche Aktivität aufgenommen worden. Nur die Schüler, die wöchentlich weniger als drei Stunden sportlich aktiv sind, werden demnach in die Berechnung einbezogen, da sie als sportlich nicht-aktiv eingeordnet werden können (vgl. Richter 2011, S. 106). Durch diese Definition sind 64 Schüler aus der Wertung herausgenommen worden, da sie mehr als drei Stunden Sport innerhalb einer Woche absolvieren. Die Werte der Schüler werden im Folgenden in einer chronologischen Alterseinteilung dargestellt, da nur tendenzielle Aussagen getroffen werden sollen. Eine klare epidemiologische Aussage über den Entwicklungsverlauf ist aufgrund der geringen Probandenanzahl nicht möglich und auch nicht vorgesehen. Ziel ist es, für jede Altersgruppe

eine Probandenstärke von mindestens  $n = 50$  zu erhalten, um eine möglichst hohe Tendenz angeben zu können. In den verschiedenen Altersklassen ergeben sich für die Schüler folgende Probandenstärken: U13 ( $n = 69$ ), U14 ( $n = 94$ ), U15 ( $n = 81$ ), U16 ( $n = 55$ ), U17 ( $n = 61$ ), U19 ( $n = 66$ ). Damit ist das Ziel von mindestens 50 Probanden pro Altersklasse für die Querschnittsanalyse erfüllt (vgl. Karova 2009; Richter 2011).

#### 3.2.2 Merkmalsstichprobe

##### 3.2.2.1 Trainingsintervention

Das Krafttraining der Interventionsgruppe KTG in der A-, B- und C-Jugend wird zweimal wöchentlich mit dem Schwerpunkt der unteren Extremitäten neben dem regulären Fußballtraining durchgeführt. Es beinhaltet immer die Krafttrainingsübungen tiefe Frontkniebeuge bzw. tiefe Nackenkniebeuge mit der Langhantel, die im alternierenden Rhythmus absolviert werden, sodass jede Übung einmal wöchentlich trainiert wird. Diese Variante wird deshalb gewählt, da die Fußballspieler eine möglichst breite Ausbildung im Krafttraining mit der Langhantel erfahren sollen. Weiterhin wird die Belastung auf die Muskulatur im Rumpf und in den unteren Extremitäten dadurch variabel gesetzt, da die Muskeln in den beiden Kniebeugevarianten unterschiedlich angesteuert werden (vgl. Lynn & Noffal 2012). Zusätzlich dient die Frontkniebeuge der Verbesserung der Kniebeugetechnik, da der Sportler dazu gezwungen wird, aufrechter mit dem Oberkörper zu arbeiten. Ferner soll die Bewegungsamplitude in der Kniebeuge möglichst hoch sein. Daher wird der Umkehrpunkt in dem Punkt definiert, in dem sich die Oberschenkel parallel zum Untergrund befinden. Zusätzlich zur Kniebeugeübung wird für die oberen Extremitäten eine Auswahl an Übungen für die großen Muskelgruppen durchgeführt. Pro TE werden neben der Kniebeugevariante drei zusätzliche Übungen aus einer vorgegebenen Übungsauswahl für die oberen Extremitäten und ein bis zwei Übungen für den Rumpf absolviert. Die Übungsauswahl beinhaltet Bankdrücken, Kreuzheben, Rudern vorgebeugt und Nackendrücken sowie gängige Übungen für die Rumpfmuskulatur (Crunches, Sit-Ups). Das Krafttraining in den Kniebeugevarianten wird über eine Blockperiodisierung gestaltet, die nach einer Halbsaison abgeschlossen ist. Diese Blockperiodisierung wird innerhalb eines Jahres zweimal und innerhalb von zwei Jahren viermal absolviert (siehe Abb. 18). Das Einführungs- und Techniktraining erfolgt nur im ersten Jahr. Die Sprint- und Krafttests erfolgen am Ende bzw. im ersten Jahr zu Beginn der Saison. Die Blockperiodisierung wird unterteilt in ein Hypertrophietraining über zwölf Wochen (5 Sätze, 10 WDH pro Satz mit mindestens 3min

### 3 Empirische Untersuchung

---

Pause), ein Hypertrophietraining über vier Wochen (5 Sätze, 6 WDH pro Satz mit mindestens 3min Pause) und ein IK-Training über vier Wochen (5 Sätze, 4 WDH pro Satz mit mindestens 5min Pause). Im ersten Jahr wird ein vierwöchiges Techniktraining in den ersten Hypertrophieblock integriert. Dies wird aus Gründen des Erlernens der vollkommen korrekten Technik benötigt, um auch mit hohen Lasten im Trainingszeitraum technisch sauber weiterarbeiten zu können. Des Weiteren kann dadurch auch eine moderate Anpassung an höhere Lasten erfolgen. Das Krafttraining der oberen Extremitäten wird über den kompletten Interventionszeitraum im Bereich eines Hypertrophietrainings (10 WDH pro Satz, 3 Sätze, 3min Pause) absolviert. Die Trainingstage werden so gewählt, dass möglichst mindestens 48 Stunden zwischen zwei Krafttrainingseinheiten liegen. Dieses Zeitfenster ist notwendig für eine entsprechende Regenerationszeit (vgl. Schmidtbleicher 2003). Die TE des Krafttrainings werden demnach am Dienstag und Donnerstag bzw. Montag und Mittwoch absolviert, je nach Tag des Meisterschaftsspiels am Wochenende. Spielt eine Mannschaft samstags, wird die erste Krafttrainingseinheit montags absolviert, ist das Spiel sonntags wird die erste Krafttrainingseinheit dienstags durchgeführt. In Wochen, in denen zusätzlich zum Wochenende unter der Woche ein Spiel stattfindet (Nachholspiele oder Pokalspiele), wird nur einmal wöchentlich ein Krafttraining durchgeführt. Dies kommt innerhalb einer Saison maximal viermal pro Mannschaft vor.

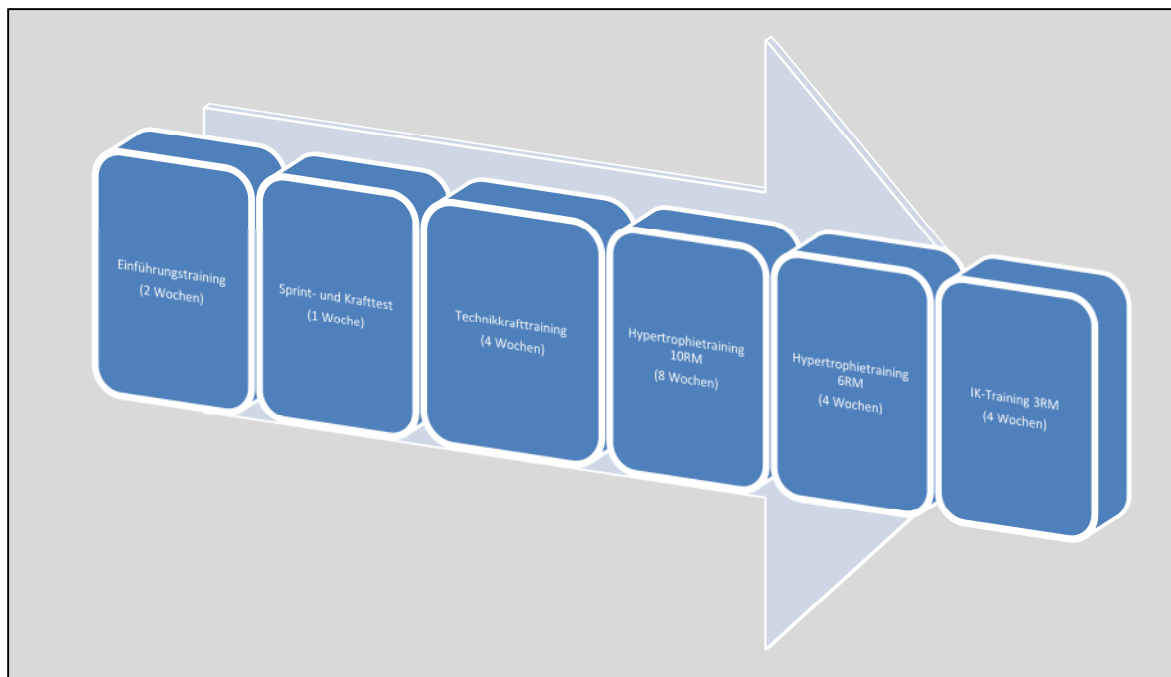


Abbildung 18: Zeitschiene des Untersuchungszeitraums über ein halbes Jahr

### 3 Empirische Untersuchung

---

An Tagen der Krafttrainingseinheiten wird immer auch eine Fußballtrainingseinheit durchgeführt. Der Ablauf eines solchen Tages ist in Abb. 19 dargestellt. Das Aufwärmen wird mit der Übung Reißkniebeuge (3 Serien mit 5 WDH) absolviert. Danach wird mit dem Kniebeugetraining begonnen.

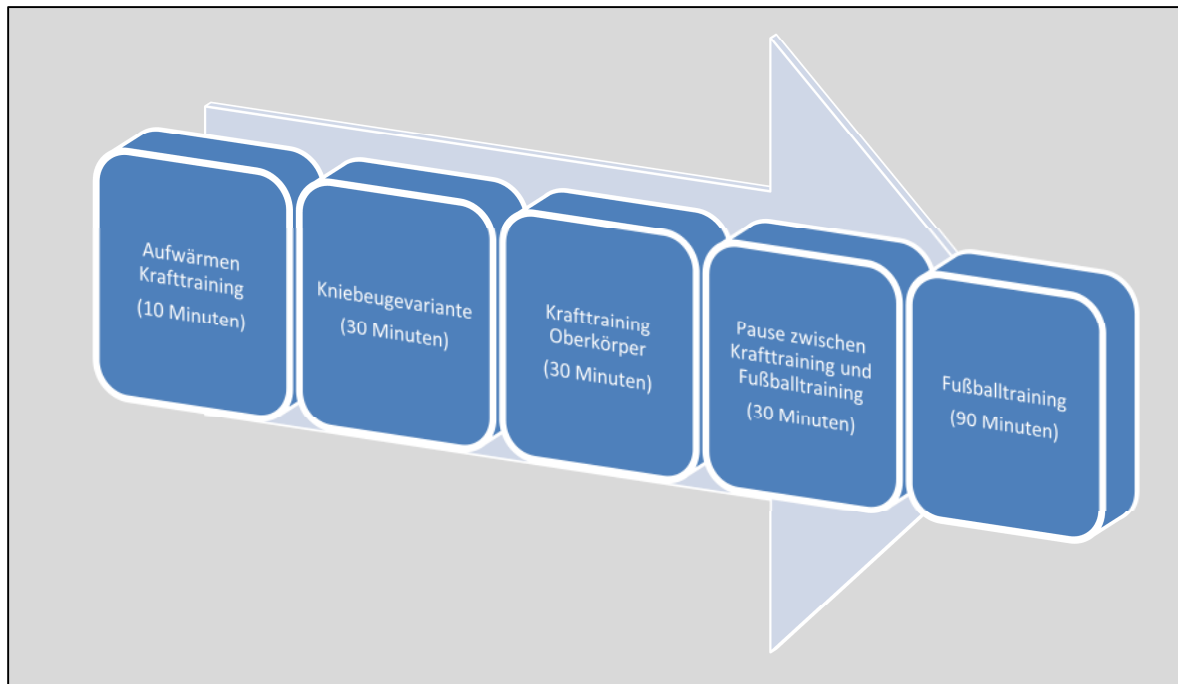


Abbildung 19: Ablauf eines Trainingstages mit Krafttraining und Fußballtraining

Das Gewicht in den Krafttrainingsübungen Front- und Nackenkniebeuge wird so gewählt, dass die jugendlichen Fußballspieler die vorgegebenen Wiederholungszahlen technisch korrekt und ohne Ausweichbewegungen gerade noch durchführen können. Eine nicht korrekt ausgeführte Kniebeuge führt zum Abbruch des Trainingssatzes und einer entsprechenden Gewichtsreduktion um 5kg im darauffolgenden Satz. Demnach kommt es nicht zu einer kompletten Auslastung der Muskulatur. Die Gewichte in der Kniebeuge werden progressiv um 5kg gesteigert, wenn der Fußballspieler in zwei aufeinanderfolgenden TE die vorgegebenen WDH technisch korrekt durchführen kann. Auf eine Intensitätsangabe in Prozent des 1RM wird verzichtet, da gezeigt werden kann, dass die gleichen Intensitätsangaben individuell zu unterschiedlichen Wiederholungszahlen führen können (vgl. Wirth 2007).

Die Bewegungsausführung der Nackenkniebeuge sollte nach folgenden technisch vorgegebenen Kriterien durchgeführt werden:



- hüftbreiter Stand mit leicht außenrotierter Fußstellung
- Hantelstange auf dem Trapez-Muskel
- Hände schulterbreit an der Stange
- Rücken in der kompletten Bewegungsausführung gerade halten
- kein Abkippen des Beckens oder nach vorne Fallen der Schultern
- Tiefe der Kniebeuge mindestens bis zur Parallele der Oberschenkel zum Untergrund
- Druck auf den Füßen in der gesamten Bewegungsausführung gleich verteilt
- kein Abheben der Ferse während der Bewegungsausführung
- Hüft-, Knie- und Sprunggelenk über die komplette Bewegungsausführung in einer Ebene
- keine ruckartige Bewegung im Umkehrpunkt

Die Bewegungsausführung der Frontkniebeuge sollte nach folgenden technisch vorgegebenen Kriterien durchgeführt werden:

- hüftbreiter Stand mit leicht außenrotierter Fußstellung
- Hantelstange auf dem vorderen Teil des Schultermuskels
- Hände schulterbreit an der Hantelstange
- Ellbogen während der Bewegungsausführung möglichst parallel zum Untergrund
- Rücken in der kompletten Bewegungsausführung gerade halten
- kein Abkippen des Beckens oder nach vorne Fallen der Schultern
- Tiefe der Kniebeuge mindestens bis zur Parallele der Oberschenkel zum Untergrund
- Druck auf den Füßen in der gesamten Bewegungsausführung gleich verteilt
- kein Abheben der Ferse während der Bewegungsausführung
- Hüft-, Knie- und Sprunggelenk über die komplette Bewegungsausführung in einer Ebene
- keine ruckartige Bewegung im Umkehrpunkt

Das Herausheben der Hantelstange aus dem Ständer sollte kontrolliert verlaufen. Eine Absicherung in Form einer Person hinter dem Trainierenden ist zu jedem Zeitpunkt im Training gegeben. Ein Eingreifen der absichernden Person erfolgt immer über das nach oben Drücken am Brustkorb. Muss eine absichernde Person eingreifen, gilt der Satz als nicht korrekt ausgeführt und das Gewicht wird entsprechend um 5kg reduziert.

#### 3.2.2.2 Messmethodik

Für die Testung erfolgt der Eingangstest (T1) Anfang Juli 2009, ein Zwischentest (T2) Ende Mai/Anfang Juni 2010 und der Ausgangstest (T3) Ende Mai/Anfang Juni 2011. Die Fußballspieler absolvieren zu den vorgegebenen Messzeitpunkten einen Linearsprinttest und darauffolgend einen Sprinttest mit Richtungswechseln. Die Kraftmessungen des 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge erfolgen eine Woche nach dem Sprinttest. Die Sportler der KTG und der CG absolvieren ein zweiwöchiges, der Kraftmessung (1RM) vorgeschaltetes Techniktraining in den beiden Kniebeugevarianten zum Testzeitpunkt T1. Zu den Testzeitpunkten T2 und T3 absolviert nur noch die CG ein vorgeschaltetes zweiwöchiges Techniktraining (vier TE). Zum Testzeitpunkt T1 werden zusätzlich Testgewöhnungseinheiten im Sprint und im 1RM in der Kniebeuge durchgeführt, um die entsprechende Reliabilität der jeweiligen Tests zu gewährleisten. Für die Sprinttests wird die Zeit als Parameter genutzt, die durch gering auftretende Variationen als ein valider Parameter für die sportliche Leistung im Fußball anerkannt ist (vgl. Currell & Jeukendrup 2008).

#### a) Körpergröße und Körpergewicht:

Zur Bestimmung des Körpergewichts wird eine geeichte Digital-Waage der Firma Kern benutzt. Diese ist bis 200kg zugelassen und zeigt Werte mit einer Genauigkeit von 0,1kg an. Der Fehler bei einer Messung wird mit 0,1% angegeben. Die Fußballspieler stellen sich bei der Messung auf die Waage und warten so lange bis die Waage das Ergebnis anzeigt. Es wird pro Testtermin nur einmal gemessen. Die Körpergröße wird mit einem Teleskop-Messstab erfasst, der an einer Wand befestigt ist. Mit diesem können Größen von 60cm bis 210cm ermittelt werden. Gemessen wird auf einen Millimeter genau. Mit Hilfe eines Messschenkels können die Ergebnisse erfasst werden. Die Fußballspieler stellen sich während der Messung mit dem Rücken und den Fersen an die Wand. Die Fersen müssen den Boden berühren und der Kopf soll gerade mit Blick nach vorne parallel zum Untergrund ausgerichtet sein. Ist die Position des Fußballspielers den Anforderungen entsprechend korrekt, wird der Messschenkel soweit heruntergezogen bis dieser den Kopf des Fußballspielers berührt. Die Messungen der Körpergröße werden einmal pro Messzeitpunkt durchgeführt.

#### b) Maximalkraftmessung im 1RM:

Für die Maximalkrafttestung der unteren Extremitäten wird das 1RM in den beiden tiefen Kniebeugevarianten mit der Langhantel gewählt, die auch in der Trainingsintervention durchgeführt werden. Die 1RM-Messung wird für Fußballspieler empfohlen und stellt eine geeignete Möglichkeit zur Maximalkraftbestimmung im Kindes- und Jugendalter dar (Faigenbaum et al. 2009). Alle Fußballspieler haben mindestens zwei Tage vor der Testung keine ermüdenden TE absolviert. Das Aufwärmen (2 Serien mit 6 bis 8 WDH) wird mit einem submaximalen, nicht ermüdenden Gewicht in den Kniebeugevarianten durchgeführt. Zuerst wird das 1RM der Frontkniebeuge, dann der Nackenkniebeuge ermittelt. Diese Reihenfolge wird deshalb gewählt, da die Frontkniebeuge koordinativ anspruchsvoller ist als die Nackenkniebeuge. Der Maximalkraftwert wird in maximal fünf Versuchen ermittelt. Die Pause zwischen zwei Versuchen liegt bei 5min. Abbruchkriterium für einen Testversuch ist eine nicht korrekt ausgeführte Bewegung oder das Versagen, bevor die Bewegung komplett ausgeführt werden kann. Das häufigste Abbruchkriterium während der Testungen ist ein nicht Erreichen der nötigen Tiefe in der Bewegungsausführung. Die Test-Retest-Korrelation für die Frontkniebeuge liegt bei  $r = .98$  ( $p < 0.001$ ) und für die Nackenkniebeuge bei  $r = .99$  ( $p < 0.001$ ).

#### c) Linearsprint:

Der Linearsprint wird auf einem Kunstrasenbelag der aktuellen Generation mit gängigen Fußballschuhen durchgeführt. Der Kunstrasen unterscheidet sich in Bezug auf sprintrelevante Parameter für eine Sprintleistung nicht von einem Naturrasen (vgl. Gaudino et al. 2013). Der Linearsprint wird über eine Distanz von 30m absolviert. Vor der Testung führen die Sportler ein zehninütiges standardisiertes Aufwärmprogramm durch. Die Zeit wird durch ein Doppellichtschrankensystem (Firma Retronic, Schmitten; Messfehler nach Angaben des Herstellers bei unter 0,1%) mit sieben Lichtschranken, die jeweils im Abstand von 5m positioniert werden, erfasst. Die Zeit wird bei 5m, 10m, 15m, 20m, 25m und 30m genommen. Der Startpunkt wird 0,75m vor der Startlichtschranke gesetzt, um ein frühzeitiges Auslösen durch z.B. eine Handbewegung oder die vorgebeugte Position des Oberkörpers beim Start zu vermeiden. Die Zeitmessung wird nach Durchlaufen der ersten Lichtschranke gestartet. Die Probanden entscheiden damit selbstständig, wann die Zeitnahme nach Aktivierung der Lichtschranken gestartet wird. Damit wird die Reaktionszeit aus der Messung ausgegrenzt. Jeder Sportler hat drei Versuche für den Sprint. Zwischen jedem absolvierten Sprint bekommt der Sportler 5min Pause. Der Sprint mit der besten Endzeit wird gewertet und fließt in die

Berechnung ein. Die Test-Retest-Korrelationen für die jeweiligen Distanzen liegen bei  $r = .94$  bis  $.98$  ( $p < 0.001$ ).

#### d) Richtungswechselsprint:

Der Richtungswechselsprint wird auf einem Kunstrasenbelag der aktuellen Generation mit gängigen Fußballschuhen durchgeführt. Dieser unterscheidet sich in Bezug auf sprintrelevante Parameter für eine Sprintleistung nicht von einem Naturrasen (vgl. Gaudino et al. 2013). Die Zeit für die Leistung im Richtungswechselsprint wird durch ein Doppellichtschrankensystem (Firma Retronic, Schmitt; Messfehler nach Angaben des Herstellers bei unter 0,1%) mit drei Lichtschranken erfasst. Vor der Testung absolvieren die Sportler ein zehnminütiges standardisiertes Aufwärmprogramm. Das Testdesign ist in einem gleichseitigen Dreieck mit einem Winkel von  $60^\circ$  angeordnet (siehe Abb. 20). Die Länge jeder Seite des Dreiecks beträgt 5m. Die Richtungswechsel werden mit einer Stange markiert, um die die Sportler herumsprinten sollen. Wird eine Stange umgeworfen, zählt der Versuch als Fehlversuch. Zusätzlich werden Pylonen im Bereich des Richtungswechsels aufgestellt, durch die die Sportler sprinten sollen, um einen Kreislauf bei den Richtungswechseln zu vermeiden. Zur Erfassung der Leistung im Richtungswechselsprint starten die Fußballspieler 2,5m vor dem ersten Richtungswechsel, sprinten dann weitere 5m bis zum nächsten Richtungswechsel und nach dem zweiten Richtungswechsel nochmals 2,5m bis zur Zielschranke. Damit absolvieren die Fußballspieler zwei Richtungswechsel über eine Distanz von 10m. Der Startpunkt wird 0,75m vor der Startlichtschranke gesetzt, um ein frühzeitiges Auslösen durch z.B. eine Handbewegung oder die vorgebeugte Position des Oberkörpers beim Start zu vermeiden. Die Zeitmessung wird nach Durchlaufen der ersten Lichtschranke gestartet. Die Fußballspieler entscheiden selbstständig, wann die Zeitnahme nach Aktivierung der Lichtschranken gestartet wird. Damit ist die Reaktionszeit aus der Messung ausgegliedert. Jeder Fußballspieler hat drei Versuche für den Sprint. Es werden drei Sprints für die linke und rechte Seite durchgeführt. Zwischen jedem absolvierten Sprint erhält der Sportler 5min Pause. Der Sprint mit der besten Endzeit wird gewertet und fließt in die Berechnung ein. Die Test-Retest-Korrelationen für die jeweiligen Distanzen liegen bei  $r = .88$  bis  $.91$  ( $p < 0.001$ ). Die Intrakorrelationswerte liegen damit weitaus höher als die, die in der Literatur ( $45^\circ$ -Richtungswechsel mit  $r = .75$ ) zu finden sind (vgl. Rehhagel 2011). Das Testdesign wird deshalb gewählt, da gegenüber dem in der Literatur häufig aufgeführten T-Agility-Test, 505-Agility oder dem Illinois-Agility-Test die Möglichkeit besteht, einen Vergleich zwischen der dominanten und nicht dominanten Seite beim Richtungswechsel vorzunehmen. Zusätzlich werden durch die unterschiedlichen

Laufgeschwindigkeiten nach 2,5m bzw. 5m Aussagen über die Leistung im jeweiligen folgenden Richtungswechsel möglich.

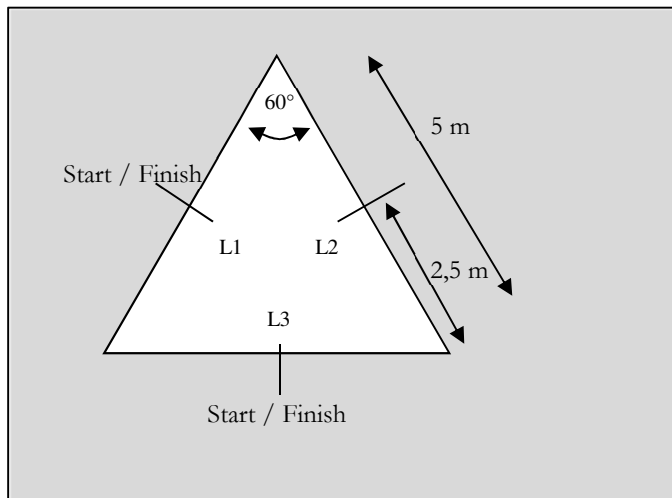


Abbildung 20: Testdesign des Richtungswechselsprints

### 3.3 Datenverarbeitung und statistische Verfahren

Die Daten werden mittels der Statistiksoftware SPSS 17.0 und Microsoft Excel 2010 analysiert. Alle Daten werden mit dem Kolmogoroff-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet. Wegen der zum Teil unterschiedlichen Probandenstärken innerhalb der Altersklassen wird zusätzlich der Homogenitätstest nach Levene durchgeführt. Bei nicht vorhandener Normalverteilung wird der Wilcoxon-Test angewandt. Die normalverteilten Daten werden mit der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung auf den Faktoren Gruppe (KTG/CG) und Zeit (T1/T2/T3) für den Gruppenvergleich und den Messwiederholungsfaktor in den jeweiligen Altersgruppen getestet. Davor wird der Mauchly-Sphärizitätstest durchgeführt. Bei nicht vorhandener Sphärizität sind die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser zu korrigieren. Bei einem errechneten signifikanten F-Wert wird der post-hoc Test nach Scheffé angewandt. Weiterhin werden die relativen Veränderungen zwischen den jeweiligen Testzeitpunkten errechnet, um eine bessere Darstellung der Ergebnisse zu gewährleisten. Für den Messzeitpunkt T1 wird mit dem T-Test für unabhängige Stichproben auf Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in jeder Altersklasse getestet. Im Anschluss daran werden jeweils die korrigierten Effektstärken der einzelnen Variablen nach Cohen berechnet  $[d = (M1 - M2) / \sqrt{\{(SD1 * SD1 + SD2 * SD2) / 2\}}]$ , um bei eventuell errechneten Unterschieden einen Hinweis auf die praktische Relevanz geben zu können (vgl. Bortz & Döring 2006). In der Effektstärkenberechnung sind die Varianzen integriert, wodurch die

Aussagekraft gegenüber den relativen Unterschieden statistisch relevanter wird (vgl. Rhea 2004). Allgemein werden Effektstärken von  $> 0.50$  als groß, Effektstärken von  $0.50$  bis  $0.30$  als moderat, Effektstärken von  $0.30$  bis  $0.10$  als klein und Effektstärken von  $< 0.10$  als trivial interpretiert (vgl. Bortz & Döring 2006). Weiterhin wird für eine Zusammenhangsanalyse einzelner Parameter der Produkt-Moment-Korrelationstest nach Pearson durchgeführt. Auch die Varianzaufklärung wird berechnet. Die Klassifikation der Korrelationen liegt bei  $0$  bis  $0.20$  für sehr schwach,  $0.20$  bis  $0.40$  für schwach,  $0.40$  bis  $0.60$  für mittel,  $0.60$  bis  $0.80$  für stark und  $0.80$  bis  $1$  für sehr stark (vgl. Bortz & Döring 2006). Für die Teststärkenberechnung wird der Nonzentralitätsparameter ( $r^2/1-r^2 \times N = \lambda$ ) berechnet (vgl. Altmann 1980; Faul et al. 2007). Zu Beginn werden die Altersklassen getrennt betrachtet und mit dem kritischen Z-Wert nach Fisher ( $Z_1-Z_2/\sqrt{1/n_1-3 + 1/n_2-3}$ ) auf Unterschiede untersucht. Ist der kritische Z-Wert größer als der empirische Z-Wert (Standardnormalverteilungstabelle), gibt es keinen Unterschied zwischen den Altersklassen, sodass diese zu einer Gesamtanalyse herangezogen werden. Das Signifikanzniveau wird für alle Berechnungen auf  $p<0.05$  festgelegt. Für die Daten der Schüler wird eine einfaktorielle Varianzanalyse mit dem Faktor Alter gewählt. Eine post-hoc Analyse nach Scheffé wird ebenfalls durchgeführt, um mögliche Unterschiede zu lokalisieren. Alle erhobenen Daten werden in Mittelwerten  $\pm$  Standardabweichungen dargestellt.

## 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

### 4.1 Anthropometrische Daten

Für alle anthropometrischen Daten (Körpergröße und Körpergewicht) zeigen sich eine Normalverteilung und eine Varianzhomogenität.

In T1 wird für den Parameter Körpergewicht ein signifikanter Gruppenunterschied mit einer mittleren Effektstärke ( $d = 0,4$ ) im B-Juniorenbereich ermittelt. Für die beiden anderen Jahrgänge zeigen sich in T1 keine signifikanten Unterschiede (siehe Tab. 9).

Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der anthropometrischen Daten der jugendlichen Fußballspieler im zweijährigen Verlauf

Alter	Gruppe	Körpergröße in cm			Körpergewicht in kg		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3
A Junioren	KTG (n=14)	175,5±6,7	176,5±6,6*	177,6±6,4*#	70,9±7,7	74,2±7,2*	74,3±7,2*
	CG (n=11)	177,2±5,8	177,9±6,1*	178,8±6,4*#	70,4±6,1	73,9±6,3*	76,0±6,5*#
B Junioren	KTG (n=30)	172,4±7,4	175,2±7,2*	177,4±6,1*#	63,2±7,7§	67,0±8,3*	70,1±9,1*#
	CG (n=22)	170,4±7,7	174,6±7,1*	177,6±6,7*#	57,9±8,3	64,2±8,2*	68,4±7,7*#
C Junioren	KTG (n=18)	156,0±9,5	160,4±9,1*	166,5±8,4*#	46,4±11,6	49,4±10,4*	54,5±10,3*#
	CG (n=19)	155,2±8,0	161,9±8,7*	169,4±7,0*#	43,2±6,4	50,1±8,2*	56,8±9,1*#

kg = Kilogramm; cm = Zentimeter; KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1 – T3 = Testzeitpunkt 1 – 3; § = signifikanter Unterschied zu CG ( $p < 0,05$ ) in T1; \* = signifikanter Unterschied zu T1 ( $p < 0,05$ ); # = signifikanter Unterschied zu T2 ( $p < 0,05$ )

Bei der Betrachtung des Parameters Körpergewicht zeigt die zweifaktorielle Varianzanalyse für den Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis für alle Altersklassen (C-Junioren:  $F = 204,556$ ;  $p < 0,000$ ; B-Junioren:  $F = 162,960$ ;  $p < 0,000$ ; A-Junioren:  $F = 43,169$ ;  $p < 0,000$ ). Post hoc ergibt der Scheffé-Test für die KTG in allen Altersklassen zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 eine signifikante Steigerung des Körpergewichts ( $p < 0,001$ ). Auch zwischen T2 und T3 zeigt sich eine signifikante Steigerung ( $p < 0,001$ ) für die Altersklassen der C- und B-Junioren. Für die A-Junioren wird zwischen T2 und T3 kein signifikanter Unterschied festgestellt. Für die CG zeigt sich post hoc in allen Altersklassen ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,001$ ) zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Demnach können die Hypothesen **H1c**, **H1e** und **H1f** angenommen werden. Die Hypothese **H1d** wird verworfen.

Für den Gruppenvergleich zeigt die Varianzanalyse in den Altersklassen der C-Junioren ( $F = 13,931$ ;  $p < 0,000$ ) und B-Junioren ( $F = 8,054$ ;  $p < 0,002$ ) einen signifikanten Unterschied in der

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Entwicklung des Körpergewichts (siehe Abb. 22 und Abb. 23). Für die Altersklasse der A-Junioren ( $F = 2,715$ ;  $p < 0,094$ ) zeigt sich kein signifikanter Unterschied in der Entwicklung des Körpergewichts (siehe Abb. 21). Post hoc zeigt der Scheffé-Test für die KTG im Vergleich zur CG in den Altersklassen der C- und B-Junioren signifikant ( $p < 0,005$ ) geringere Entwicklungen von T1 zu T2 und T1 zu T3. Für die Entwicklungen von T2 nach T3 zeigt die CG bei den C-Junioren signifikant höhere Raten ( $p < 0,005$ ) als die KTG. Im Altersbereich der B-Junioren wird zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Entwicklungen von T2 nach T3 kein signifikanter Unterschied festgestellt.

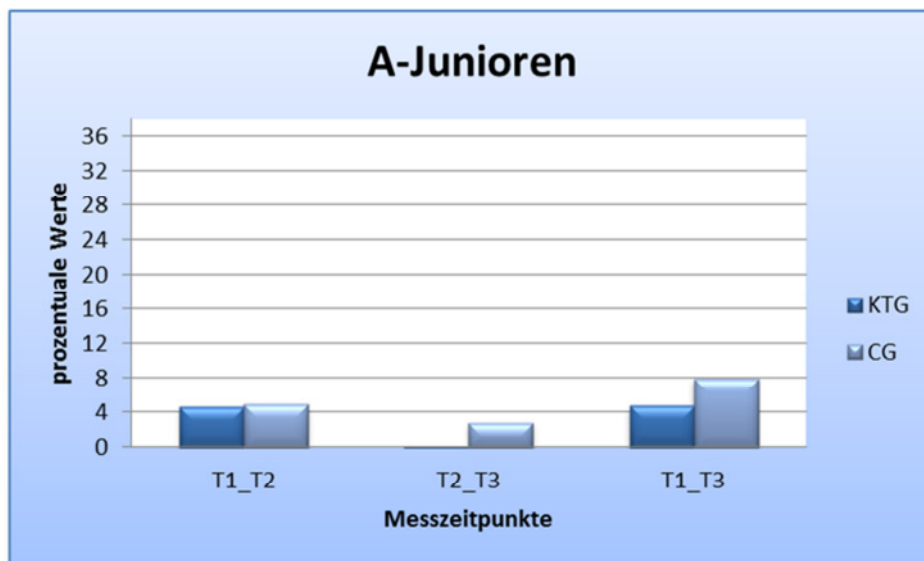


Abbildung 21: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Körpergewicht bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

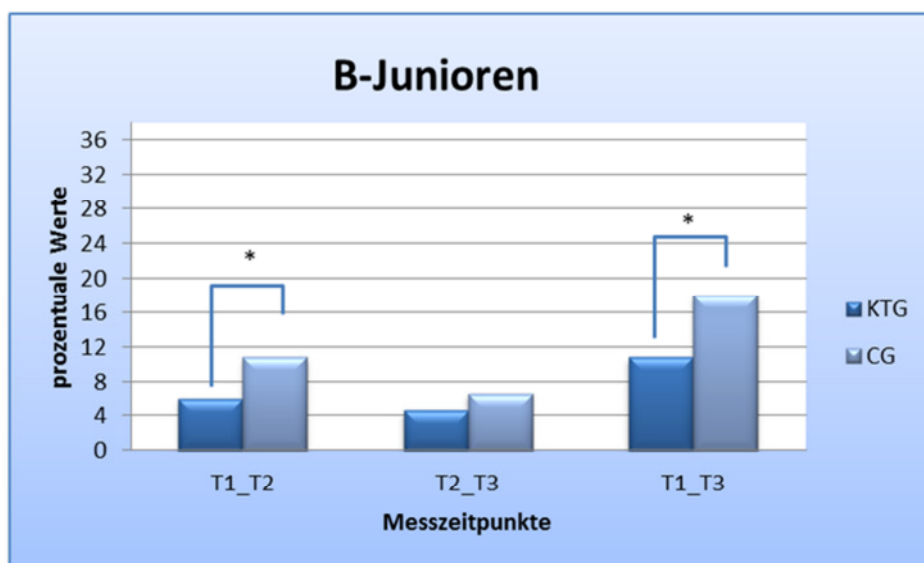


Abbildung 22: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Körpergewicht bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)



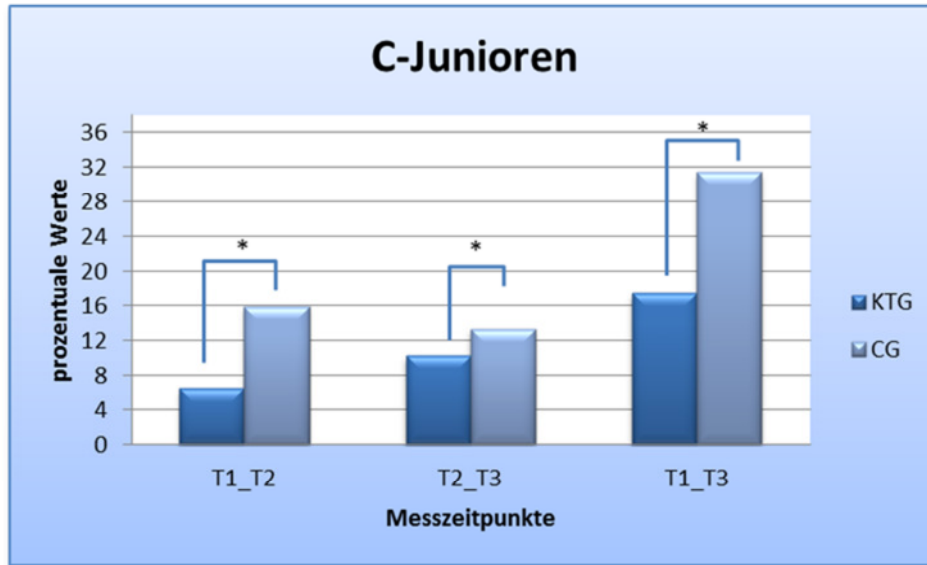


Abbildung 23: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Körpergewicht bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

Für die A-Junioren zeigt sich zwischen den beiden Gruppen kein Unterschied in der Entwicklung des Körpergewichts. Für die B- und C-Junioren wird ein Unterschied in der Entwicklung des Körpergewichts erfasst. Demnach kann die Hypothese **H1h** nur teilweise angenommen werden.

**F1:** Ein Krafttraining zeigt keinen Einfluss auf eine Gewichtssteigerung bei jugendlichen Fußballspielern im Nachwuchsleistungssport, da es keine Gruppenunterschiede in der Entwicklung des Körpergewichts bei den A-Junioren gibt. Die CG weist bei den C- und B-Junioren sogar höhere Gewichtssteigerungen über zwei Jahre auf als die KTG.

Für die Körpergewichtsdaten der Schüler zeigen sich eine Varianzhomogenität und eine Normalverteilung. Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigt ein signifikantes Ergebnis für den Faktor Alter ( $F = 34,101$ ;  $p < 0.000$ ). In Tab. 10 werden die Unterschiede zwischen den jeweiligen Altersbereichen aus der post-hoc Analyse dargestellt. Ein kontinuierlicher Verlauf der Körpergewichtsentwicklung mit einem etwas steileren Anstieg im Altersbereich von U13 bis U14 sowie von U17 bis U19 ist zu beobachten (siehe Abb. 24). Im Altersbereich von U16 zu U17 kommt es zu einem Plateau bezüglich des Körpergewichtsverlaufs.

## 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Tabelle 10: Darstellung der signifikanten Unterschiede des Körpergewichts zwischen den Altersklassen U13 und U19 bei den untrainierten Schülern

Altersklassen	Signifikante Unterschiede mit $p < 0.05$
<b>U19</b>	U13, U14, U15
<b>U17</b>	U13, U14
<b>U16</b>	U13, U14
<b>U15</b>	U13, U14, U19
<b>U14</b>	U15, U16, U17, U19
<b>U13</b>	U15, U16, U17, U19

U13 bis U19 = 12 bis 18 Jahre alt

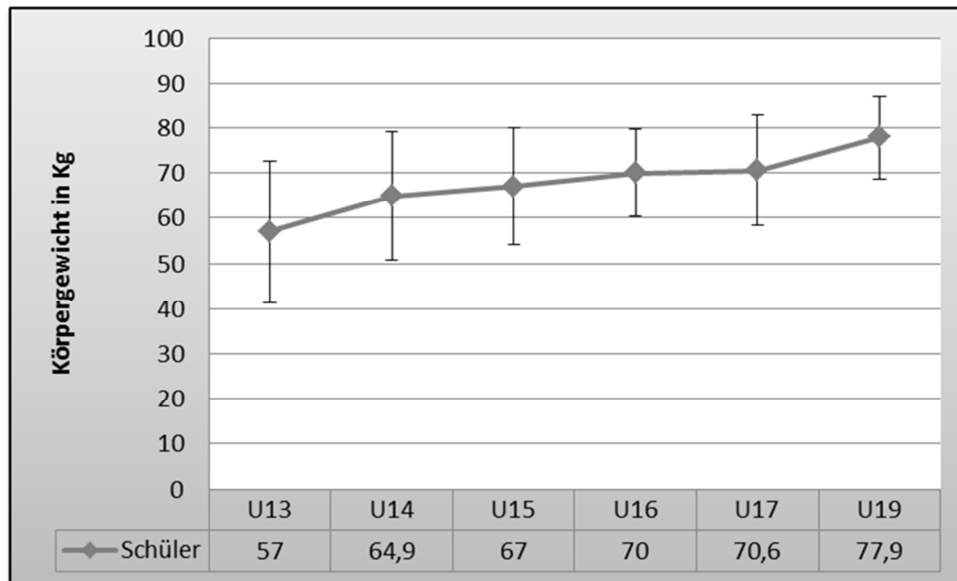


Abbildung 24: Verlauf des Körpergewichts im Querschnitt der Schüler von U13 bis U19 (U13 bis U19 = 12 bis 18 Jahre alt; kg = Kilogramm)

Für den anthropometrischen Parameter Körpergröße wird in T1 kein Gruppenunterschied zwischen der KTG und der CG in den verschiedenen Altersklassen festgestellt.

Die Varianzanalyse zeigt für den Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis für alle Altersklassen (C-Junioren:  $F = 411,015$ ;  $p < 0.000$ ; B-Junioren:  $F = 168,006$ ;  $p < 0.000$ ; A-Junioren:  $F = 32,711$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt der Scheffé-Test sowohl bei der KTG als auch bei der CG von T1 zu T2, T2 zu T3 und T1 zu T3 signifikante Erhöhungen ( $p < 0.001$ ). Demnach kann die Hypothese **H1a** angenommen werden. Die Hypothese **H1b** muss verworfen werden.

Im Gruppenvergleich zwischen der KTG und der CG werden für die Altersklasse der A-Junioren ( $F = 0,603$ ;  $p < 0.552$ ) keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung der Körpergröße festgestellt (siehe Abb. 25). Für die Altersklassen C-Junioren ( $F = 8,759$ ;  $p < 0.001$ ) und B-Junioren ( $F = 5,547$ ;  $p < 0.012$ ) finden sich signifikante Unterschiede zwischen der KTG und der CG in der Entwicklung der Körpergröße (siehe Abb. 26 und Abb.

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

27). Post hoc zeigt der Scheffé-Test, dass die CG im Vergleich zur KTG in beiden Altersklassen signifikant ( $p < 0.005$ ) höhere Größenzuwachsraten von T1 nach T2 und von T1 nach T3 aufweist. Für den Zeitraum von T2 nach T3 wird kein signifikanter Unterschied ermittelt.

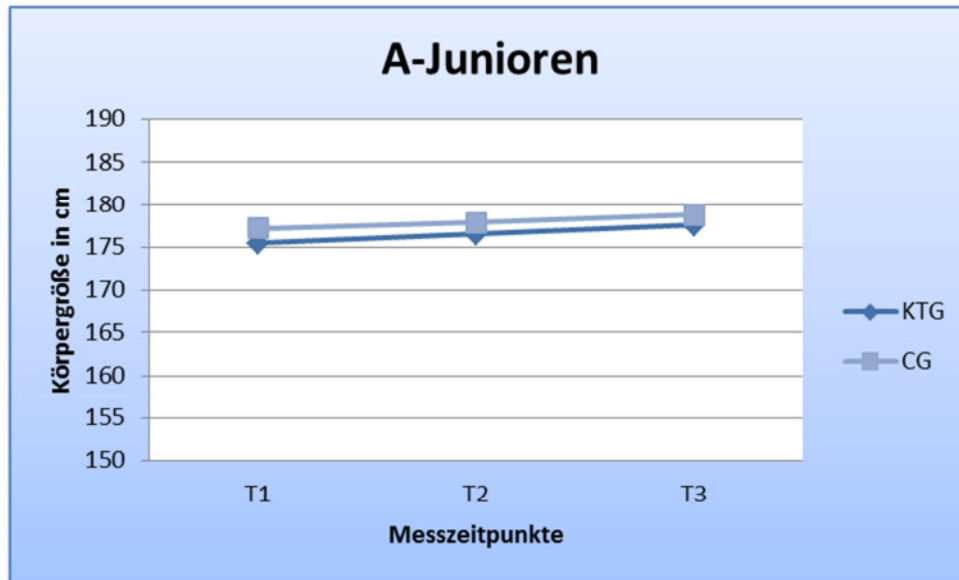


Abbildung 25: Gruppenvergleich der Entwicklungen in der Körpergröße bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

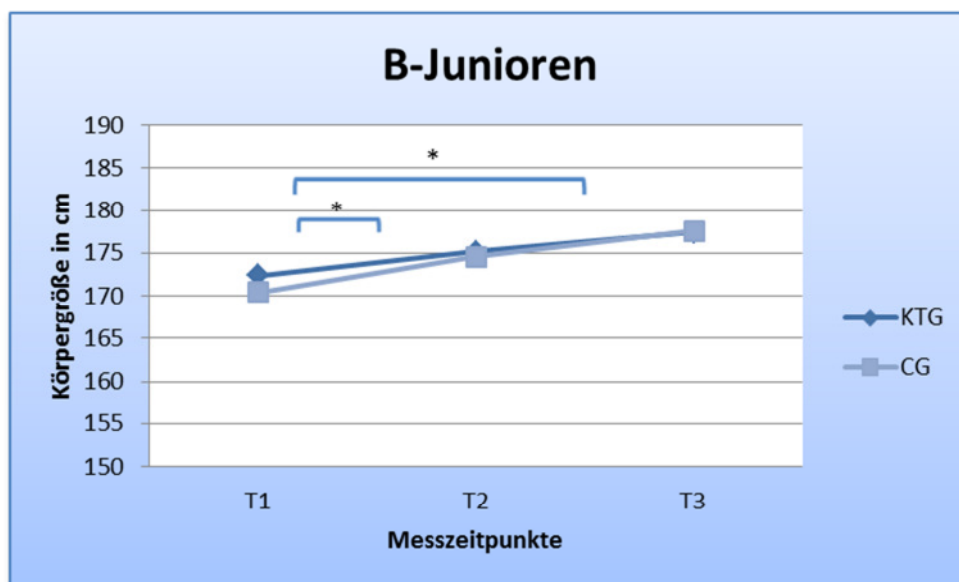


Abbildung 26: Gruppenvergleich der Entwicklungen in der Körpergröße bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

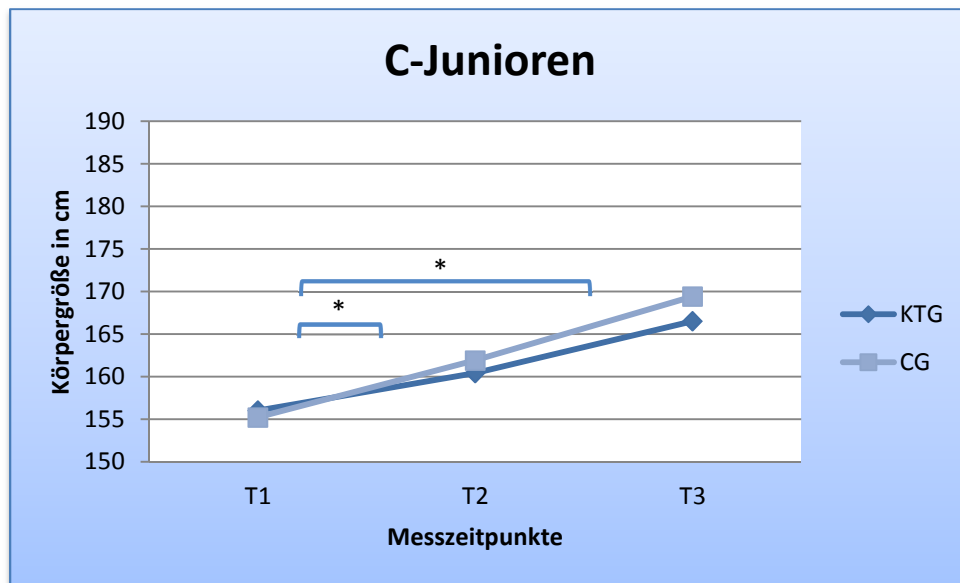


Abbildung 27: Gruppenvergleich der Entwicklungen in der Körpergröße bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

Für die A-Junioren wird kein Gruppenunterschied in der Entwicklung des Körperlängenwachstums festgestellt. Für die C- und B-Junioren wird jedoch ein Gruppenunterschied ermittelt. Demnach kann die Hypothese **H1g** nur teilweise angenommen werden.

Für die Körpergrößendaten der Schüler zeigen sich eine Varianzhomogenität und eine Normalverteilung. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergibt ein signifikantes Ergebnis für den Faktor Alter ( $F = 71,730$ ;  $p < 0.000$ ). In Tab. 11 zeigt die post-hoc Analyse die jeweiligen Unterschiede zwischen den Altersklassen. Ein kontinuierlicher Verlauf der Körpergrößenentwicklung mit einem steileren Anstieg im Altersbereich von U13 zu U14 gegenüber den anderen Altersbereichen ist zu beobachten (siehe Abb. 28). Im Altersbereich von U16 bis U19 kommt es kaum oder gar nicht mehr zu Steigerungen der Körpergröße.

Tabelle 11: Darstellung der signifikanten Unterschiede in der Körpergröße zwischen den Altersklassen U13 und U19 bei den untrainierten Schülern

Altersklassen	Signifikante Unterschiede mit $p < 0.05$
<b>U19</b>	U13, U14, U15
<b>U17</b>	U13, U14, U15
<b>U16</b>	U13, U14
<b>U15</b>	U13, U14, U17, U19
<b>U14</b>	U13, U15, U16, U17, U19
<b>U13</b>	U14, U15, U16, U17, U19
U13 bis U19 = 12 bis 18 Jahre alt	

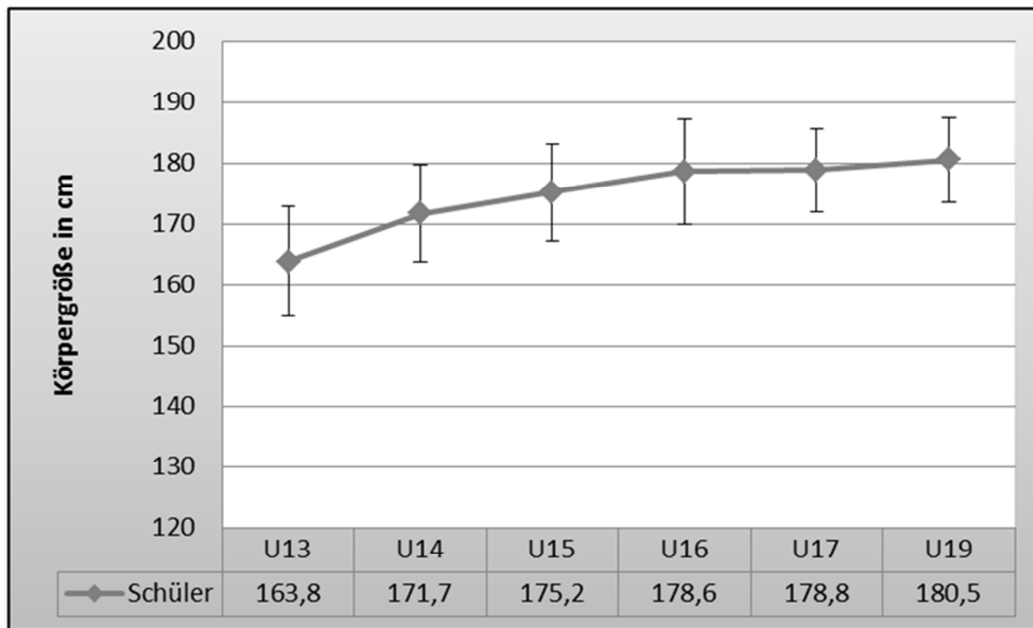


Abbildung 28: Verlauf der Körpergröße im Querschnitt der Schüler von U13 bis U19 (U13 bis U19 = 12 bis 18 Jahre alt; cm = Zentimeter)

### 4.2 Maximalkraft

Für alle Daten (1RM-Nackenkniebeuge und 1RM-Frontkniebeuge) zeigen sich eine Normalverteilung und eine Varianzhomogenität.

Zwischen den beiden Gruppen KTG und CG wird im B-Juniorenbereich in T1 ein signifikanter Unterschied für das 1RM in der Frontkniebeuge festgestellt. Die Effektstärke wird bei  $d = 1,1$  ermittelt und kann demnach als groß bezeichnet werden. Für die A- und C-Junioren zeigt sich kein signifikanter Gruppenunterschied in T1.

Die Varianzanalyse zeigt für den Messwiederholungsfaktor für alle Altersklassen ein signifikantes Ergebnis des 1RM in der Frontkniebeuge (C-Junioren:  $F = 145,926$ ;  $p < 0,000$ ; B-Junioren:  $F = 207,707$ ;  $p < 0,000$ ; A-Junioren:  $F = 99,926$ ;  $p < 0,000$ ; siehe Tab. 12). Post hoc wird für alle Altersklassen der KTG von T1 nach T2, T2 nach T3 und von T1 nach T3 eine signifikante Steigerung ( $p < 0,001$ ) ermittelt. Für die CG zeigt sich in allen Altersklassen von T1 nach T2 und von T1 nach T3 eine signifikante Steigerung ( $p < 0,001$ ). Für den Zeitraum T2 nach T3 wird in keiner Altersklasse der CG ein signifikantes Ergebnis ermittelt.

## 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalkraftwerte in der Frontkniebeuge (in kg) der jugendlichen Fußballspieler im zweijährigen Verlauf

Jugend	Gruppe	T1	T2	T3
<b>A-Junioren</b>	KTG (n=14)	53,6±7,1	94,5±12,5*	106,8±10,8*#
	CG (n=11)	53,2±5,6	62,7±10,6*	62,7±9,6*
<b>B-Junioren</b>	KTG (n=30)	46,4±7,5§	81,8±14*	97,3±13,4*#
	CG (n=22)	35,3±7,4	45,8±9,1*	50,6±10,4*
<b>C-Junioren</b>	KTG (n=18)	21,4±8,5	42,9±9,5*	81,4±14,4*#
	CG (n=19)	17,5±3,8	33,8±5,8*	33,1±5,3*

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Testzeitpunkt 1-3; kg = Kilogramm; § = signifikanter Unterschied zu CG (p<0.05) in T1; \* = signifikanter Unterschied zu T1 (p<0.05); # = signifikanter Unterschied zu T2 (p<0.05)

Im Gruppenvergleich zeigen sich für alle Altersklassen signifikante Unterschiede (C-Junioren:  $F = 60,096$ ;  $p < 0.000$ ; B-Junioren:  $F = 60,246$ ;  $p < 0.000$ ; A-Junioren:  $F = 46,977$ ;  $p < 0.000$ ; siehe Abb. 29 bis 31). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG in allen Altersklassen von T1 nach T2, T2 nach T3 und T1 nach T3 eine signifikant ( $p < 0.005$ ) höhere Steigerung der 1RM-Werte.

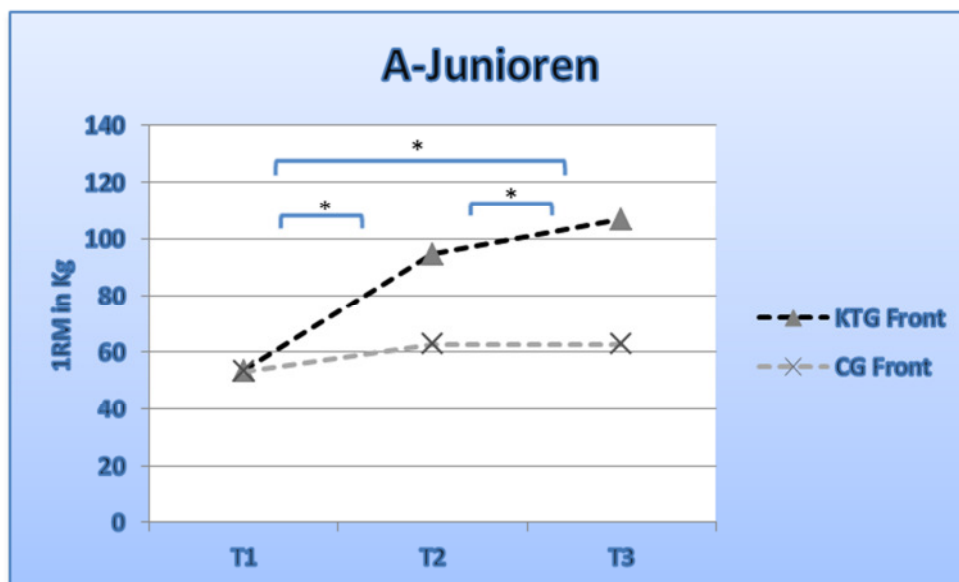


Abbildung 29: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Frontkniebeuge bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen KTG und CG in der Entwicklung des 1RM-Frontkniebeuge)

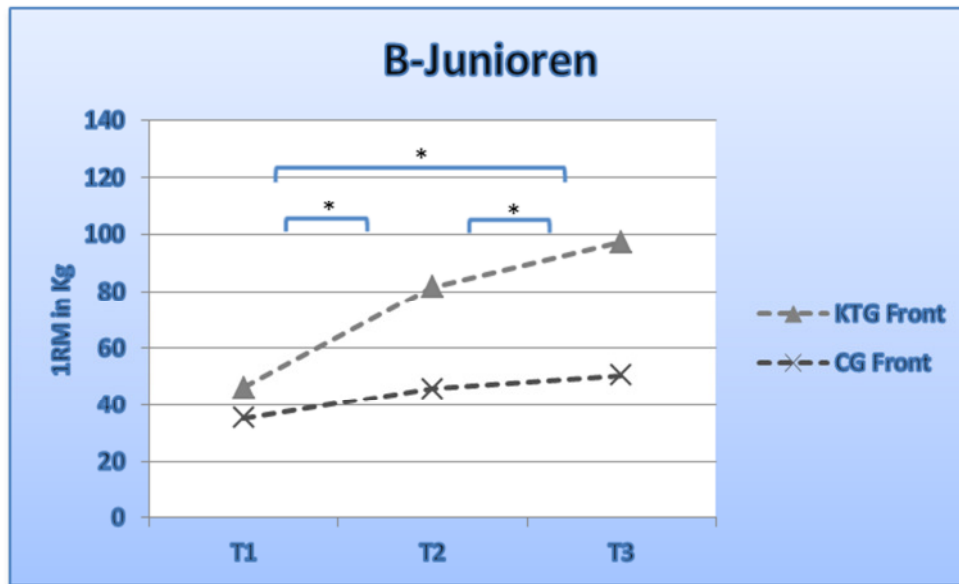


Abbildung 30: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Frontkniebeuge bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen KTG und CG in der Entwicklung des 1RM-Frontkniebeuge)

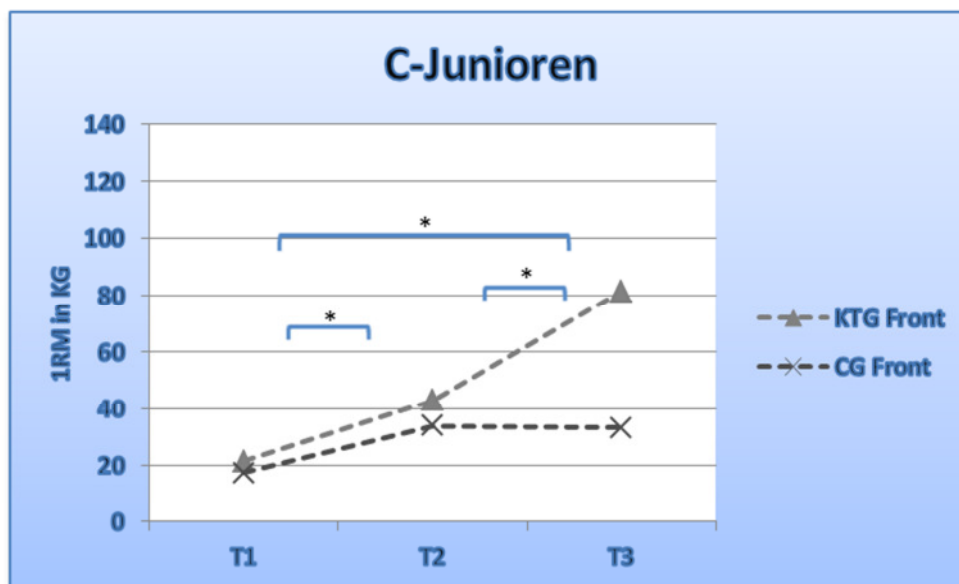


Abbildung 31: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Frontkniebeuge bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen KTG und CG in der Entwicklung des 1RM-Frontkniebeuge)

Der T-Test für unabhängige Stichproben zeigt im Parameter 1RM der Nackenkniebeuge für T1 einen signifikanten Gruppenunterschied zwischen der KTG und der CG im B-Juniorenbereich. Die Effektstärke kann mit  $d = 0,7$  als hoch bezeichnet werden. Für den Messwiederholungsfaktor zeigt sich ein signifikantes Ergebnis in allen Altersklassen (C-Junioren:  $F = 170,432$ ;  $p < 0.000$ ; B-Junioren:  $F = 221,708$ ;  $p < 0.000$ ; A-Junioren:  $F = 149,334$ ;  $p < 0.000$ ; siehe Tab. 13). Post hoc wird für alle Altersklassen der KTG von T1 nach T2, T2 nach T3 und T1 nach T3 eine signifikante Steigerung ( $p < 0.001$ ) ermittelt. Für die CG zeigt

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

sich in allen Altersklassen von T1 nach T2 und von T1 nach T3 eine signifikante Steigerung ( $p < 0.05$ ). Für den Zeitraum von T2 nach T3 wird in keiner Altersklasse der CG ein signifikantes Ergebnis ermittelt.

Tabelle 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalkraftwerte in der Nackenkniebeuge (in kg) der jugendlichen Fußballspieler im zweijährigen Verlauf

Jugend	Gruppe	T1	T2	T3
A-Junioren	KTG (n=14)	59,5±9,1	110±13,8*	120,5±11,7*#
	CG (n=11)	63,6±9,2	76,4±12,1*	85,9±9,4*
B-Junioren	KTG (n=30)	52,1±11,1§	94,6±16,3*	112,3±15,5*#
	CG (n=22)	41,4±10,6	58,3±14,5*	62,8±12,5*
C-Junioren	KTG (n=18)	25±9,6	48,6±13,1*	90±13,5*#
	CG (n=19)	23,1±3,7	40,6±7,8*	41,9±2,6*

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Testzeitpunkt 1-3; Kg = Kilogramm; § = signifikanter Unterschied zu CG ( $p < 0.05$ ) in T1; \* = signifikanter Unterschied zu T1 ( $p < 0.05$ ); # = signifikanter Unterschied zu T2 ( $p < 0.05$ )

Beim Gruppenvergleich zwischen der KTG und der CG zeigt sich in der Entwicklung der Leistung im 1RM der Nackenkniebeuge in allen Altersklassen ein signifikanter Unterschied (C-Junioren:  $F = 61,391$ ;  $p < 0.000$ ; B-Junioren:  $F = 48,445$ ;  $p < 0.000$ ; A-Junioren:  $F = 39,912$ ;  $p < 0.000$ ; siehe Abb. 32 bis 34). Post hoc zeigt der Scheffé-Test, dass die KTG im Vergleich zur CG in allen Altersklassen eine signifikant ( $p < 0.005$ ) höhere Steigerung des 1RM von T1 nach T2, T2 nach T3 und T1 nach T3 aufweist.

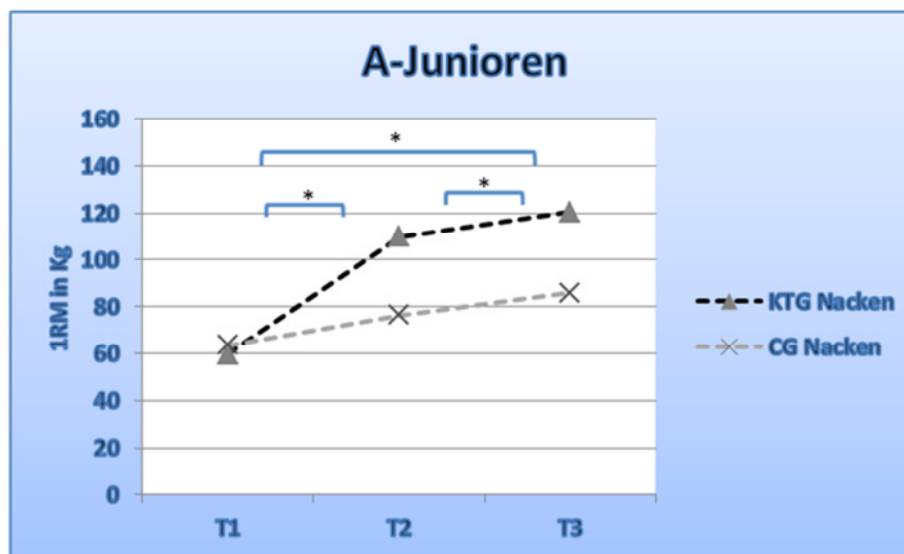


Abbildung 32: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Nackenkniebeuge bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen KTG und CG in der Entwicklung des 1RM-Nackenkniebeuge)



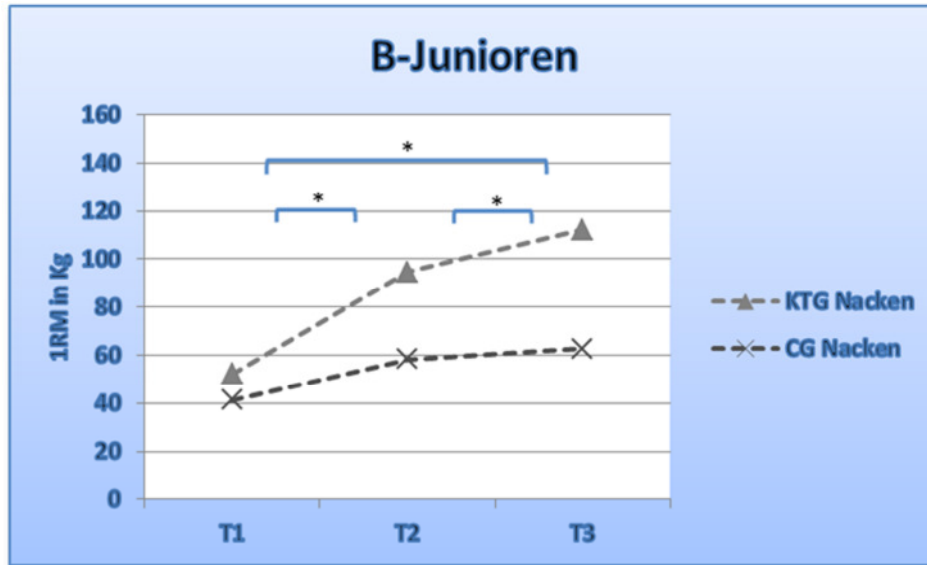


Abbildung 33: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Nackenkniebeuge bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen KTG und CG in der Entwicklung des 1RM-Nackenkniebeuge)

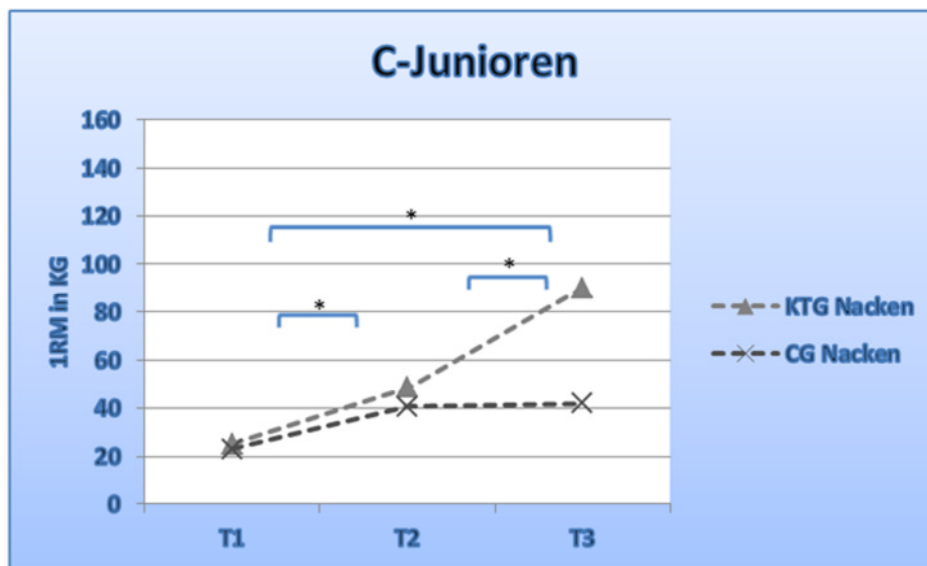


Abbildung 34: Gruppenvergleich der Entwicklungen im 1RM der Nackenkniebeuge bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; \* = signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen KTG und CG in der Entwicklung des 1RM-Nackenkniebeuge)

Da für beide Gruppen in allen Altersklassen im einjährigen und zweijährigen Verlauf signifikante Steigerungen der 1RM-Werte in der Front- und Nackenkniebeuge zu verzeichnen sind, werden die Hypothesen **H2b** und **H2c** angenommen. Die Hypothese **H2d** wird verworfen. Da die KTG gegenüber der CG in der Entwicklung der 1RM Werte der Front- und Nackenkniebeuge in allen Altersklassen sowohl im einjährigen als auch im zweijährigen Verlauf signifikant höhere Steigerungen zeigt, kann die Hypothese **H2a** angenommen werden.

**F2:** Sowohl für die Frontkniebeuge als auch für die Nackenkniebeuge zeigt sich über eine zweijährige Krafttrainingsintervention der KTG ein positiver Verlauf im 1RM, der über den Steigerungen der CG liegt. Demnach wirkt sich ein langfristig periodisiertes Krafttraining mit der Langhantel positiv auf die Maximalkraftleistung von Jugendfußballspielern aus.

### 4.3 Linearsprint über 30 Meter

Für alle Daten im Linearsprint zeigen sich eine Normalverteilung und eine Varianzhomogenität. Da zum Zeitpunkt T1 alle Probanden die gleichen Voraussetzungen besitzen, werden die Daten aus diesem Messzeitpunkt für die Korrelationsanalyse zwischen den jeweiligen Sprintdistanzen im Linearsprint verwendet. Die Korrelationsanalyse nach Pearson zeigt, dass die Sprintzeit über 5m in Abhängigkeit von der Distanz mit den anderen Sprintzeiten hoch bis sehr hoch korreliert (siehe Tab. 14). Der Nonzentralitätsparameter zeigt für alle Korrelationen eine Teststärke von mehr als 99,9% bei  $p < 0.05$  ( $\lambda > 25,50$ ).

Tabelle 14: Korrelationen nach Pearson zwischen den Sprintdistanzen im Linearsprint (n = 114)

Distanz	10m	15m	20m	25m	30m
5m	.91*	.89*	.86*	.85*	.82*

m = Meter; \* = signifikant ( $p < 0.05$ )

Demnach hat die Sprintzeit über 5m einen hohen Einfluss auf die anderen Zeiten im 30m Sprint, allerdings wird dieser Einfluss mit der Erhöhung der Distanz geringer, was auf eine höhere Gewichtung anderer Einflussfaktoren zurückschließen lässt.

Die errechneten Unterschiede der Varianzanalyse bei den C-Junioren sind in Tab. 15 und Abb. 35 dargestellt. Der T-Test für unabhängige Stichproben zeigt in T1 für keine Distanz einen Gruppenunterschied. Die Varianzanalyse weist für den Sprint über 5m auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis auf ( $F = 8,771$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG ist zwischen allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied festzustellen. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird ebenfalls ein signifikantes Ergebnis ( $F = 8,662$ ;  $p < 0.000$ ) ermittelt. Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T2 nach T3 und von T1 nach T3. Von T1 nach T2 gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Entwicklung der Sprintleistung. Für den Sprint über 10m zeigt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 21,378$ ;

$p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG wird nur zwischen T1 und T2 ein signifikanter Unterschied festgestellt. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird ebenfalls ein signifikantes Ergebnis ( $F = 6,027$ ;  $p < 0.004$ ) verzeichnet. Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T2 nach T3 und von T1 nach T3. Von T1 nach T2 gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Entwicklung der Sprintleistung. Für den Sprint über 15m zeigt die Varianzanalyse ein signifikantes Ergebnis auf dem Messwiederholungsfaktor ( $F = 38,360$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG ergibt sich zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Der Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung ist ebenfalls signifikant ( $F = 4,798$ ;  $p < 0.011$ ). Post hoc weist die KTG im Vergleich zur CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T2 nach T3 und von T1 nach T3 auf. Von T1 nach T2 wird kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Entwicklung der Sprintleistung verzeichnet. Für den Sprint über 20m zeigt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 48,826$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird ebenfalls ein signifikantes Ergebnis verzeichnet ( $F = 3,776$ ;  $p < 0.034$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T2 nach T3. Von T1 nach T2 und von T1 nach T3 wird kein signifikanter Unterschied festgestellt. Für den Sprint über 25m zeigt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 60,150$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG besteht zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung ist das Ergebnis nicht signifikant ( $F = 2,304$ ;  $p < 0.108$ ). Für den Sprint über 30m zeigt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 61,709$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG ist ebenfalls zwischen allen Messzeitpunkten ein signifikanter Unterschied festzustellen. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird kein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 1,658$ ;  $p < 0.199$ ).

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der Linearsprintwerte über 30m bei den jugendlichen Fußballspielern im C-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf

Gruppe	Sprintdistanz (m)	T1	T2	T3
KTG (18)	5m	1,085±0,045	1,076±0,044	1,028±0,034*#
	10m	1,922±0,055	1,877±0,074*	1,817±0,078*#
	15m	2,658±0,075	2,594±0,094*	2,522±0,106*#
	20m	3,385±0,093	3,303±0,126*	3,202±0,143*#
	25m	4,095±0,117	3,995±0,156*	3,861±0,176*#
	30m	4,805±0,143	4,682±0,185*	4,521±0,216*#
CG (19)	5m	1,110±0,042	1,074±0,040	1,097±0,068
	10m	1,912±0,064	1,866±0,061*	1,873±0,082
	15m	2,649±0,083	2,583±0,082*	2,577±0,105*
	20m	3,360±0,111	3,278±0,105*	3,241±0,135*
	25m	4,056±0,137	3,960±0,134*	3,892±0,153*
	30m	4,746±0,165	4,643±0,162*	4,539±0,197*#

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Testzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zu T1 (p<0.05); # = signifikanter Unterschied zu T2 (p<0.05)

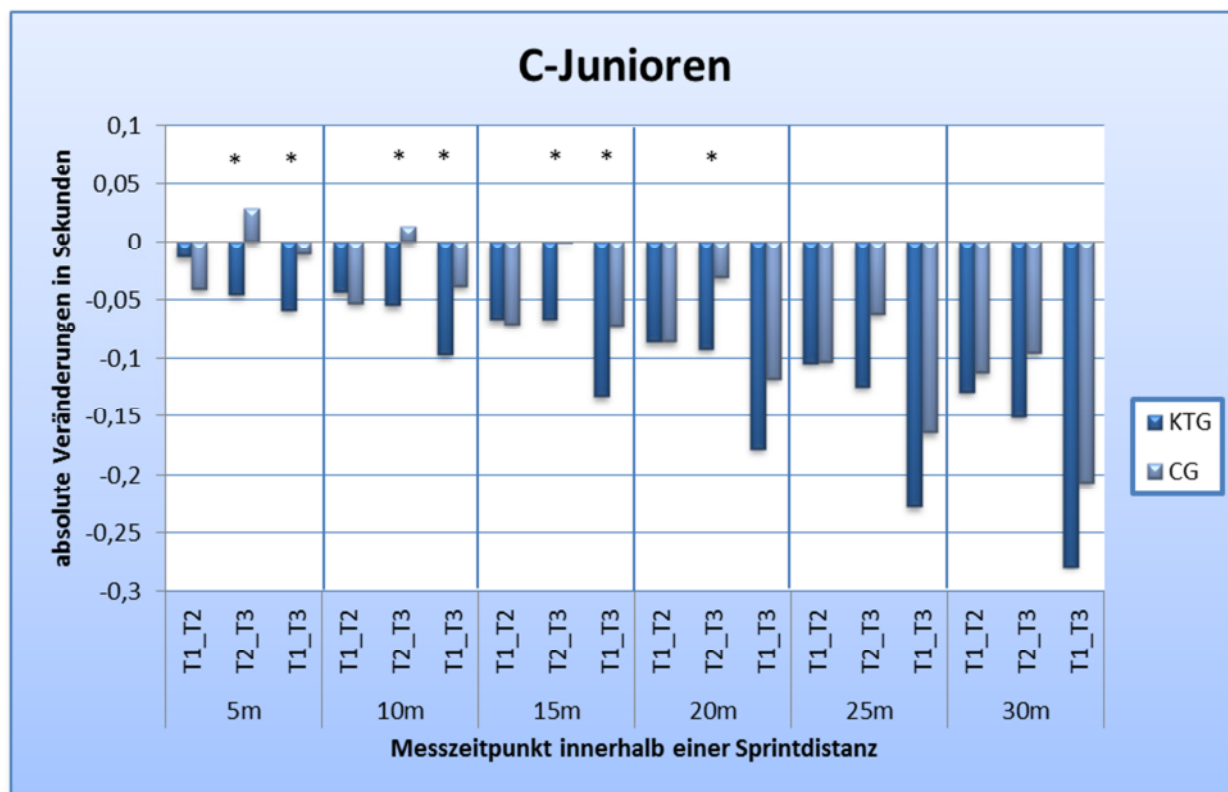


Abbildung 35: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Linearsprint bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

Die errechneten Unterschiede der Varianzanalyse bei den B-Junioren sind in Tab. 16 und Abb. 36 dargestellt. Der T-Test für unabhängige Stichproben erfasst in T1 für keine Distanz einen Gruppenunterschied. Die Varianzanalyse zeigt für den Sprint über 5m auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 6,945$ ;  $p < 0,001$ ). Post hoc besteht für die KTG nur ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T3. Für die CG ist zwischen

allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied festzustellen. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 3,986$ ;  $p < 0.022$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T3. Von T1 nach T2 und von T2 nach T3 wird kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ermittelt. Für den Sprint über 10m zeigt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 29,450$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich zwischen allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied. In der Berechnung für den Gruppenunterschied bezüglich der Entwicklung der Sprintleistung besteht kein signifikantes Ergebnis ( $F = 1,636$ ;  $p < 0.200$ ). Für den Sprint über 15m zeigt der Mauchly-Test ein signifikantes Ergebnis ( $p < 0.045$ ). Daher werden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Die Varianzanalyse zeigt auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 9,585$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Die CG weist nur zwischen T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3 einen signifikanten Unterschied auf. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird kein signifikantes Ergebnis festgestellt ( $F = 1,444$ ;  $p < 0.242$ ). Die Varianzanalyse bestimmt für den Sprint über 20m auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 63,300$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG besteht nur zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird ebenfalls ein signifikantes Ergebnis konstatiert ( $F = 5,773$ ;  $p < 0.02$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T3. Von T1 nach T2 und von T2 nach T3 ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen zu verzeichnen. Die Varianzanalyse zeigt für den Sprint über 25m auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 77,558$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich nur zwischen T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird ein signifikantes Ergebnis festgestellt ( $F = 4,026$ ;  $p < 0.05$ ). Post hoc zeigt die KTG im Vergleich zur CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T3. Von T1 nach T2 und von T2 nach T3 besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Die Varianzanalyse weist für den Sprint über 30m auf dem Messwiederholungsfaktor ein

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

signifikantes Ergebnis nach ( $F = 87,283$ ;  $p < 0,000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich nur zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird kein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 1,170$ ;  $p < 0,315$ ).

Tabelle 16: Mittelwerte und Standardabweichungen der Linearsprintwerte über 30m bei den jugendlichen Fußballspielern im B-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf

Gruppe	Sprintdistanz (m)	T1	T2	T3
KTG (30)	5m	1,045±0,053	1,031±0,052	1,004±0,059*
	10m	1,804±0,083	1,774±0,080	1,732±0,080*#
	15m	2,479±0,111	2,427±0,108*	2,375±0,104*#
	20m	3,122±0,142	3,066±0,148*	2,984±0,129*#
	25m	3,746±0,181	3,677±0,171*	3,576±0,158*#
	30m	4,372±0,206	4,288±0,206*	4,166±0,186*#
CG (22)	5m	1,038±0,051	1,039±0,030	1,028±0,047
	10m	1,801±0,083	1,788±0,051	1,757±0,069
	15m	2,481±0,112	2,505±0,209	2,373±0,254*#
	20m	3,128±0,142	3,094±0,096	3,037±0,117*
	25m	3,759±0,182	3,716±0,123	3,638±0,143*#
	30m	4,398±0,222	4,330±0,148	4,235±0,173*

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Testzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zu T1 ( $p < 0,05$ ); # = signifikanter Unterschied zu T2 ( $p < 0,05$ )

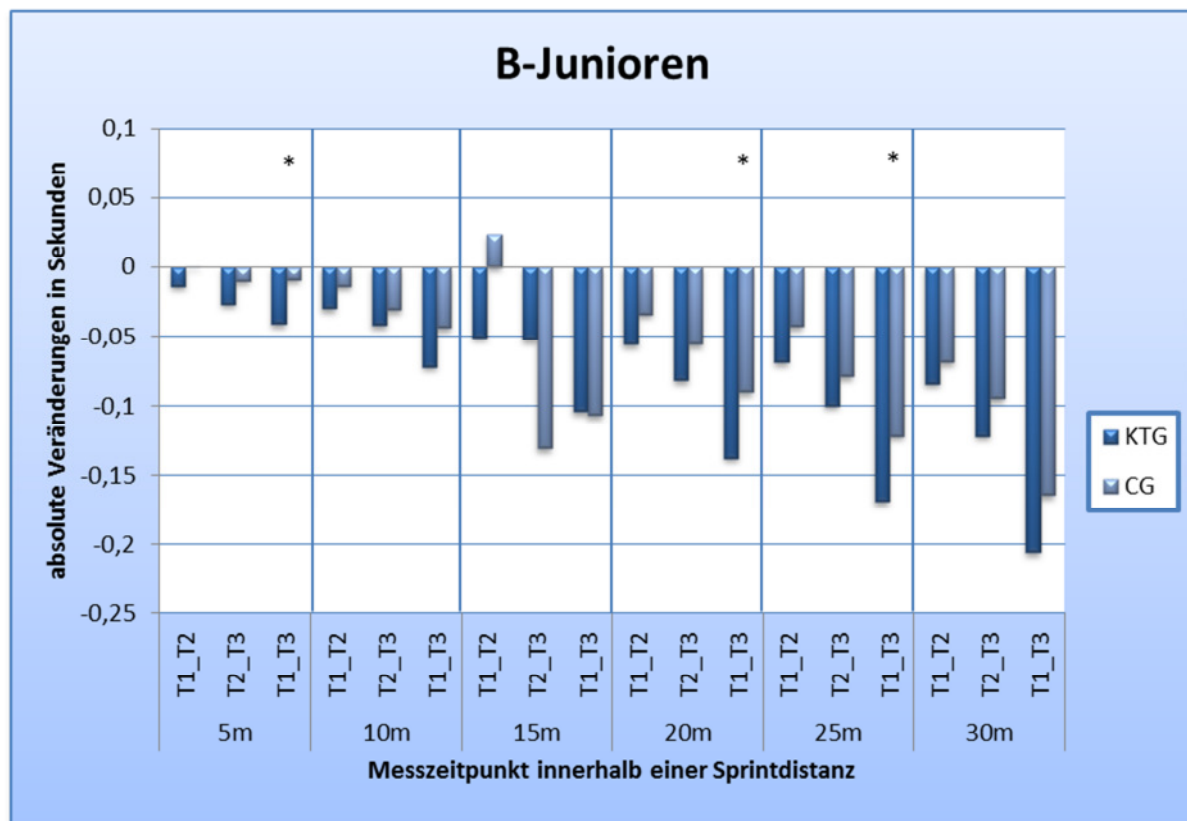


Abbildung 36: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Linearsprint bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

Die errechneten Unterschiede der Varianzanalyse bei den A-Junioren sind in Tab. 17 und Abb. 37 dargestellt. Der T-Test für unabhängige Stichproben ergibt in T1 für keine Distanz einen Gruppenunterschied. Die Varianzanalyse zeigt für den Sprint über 5m auf dem Messwiederholungsfaktor kein signifikantes Ergebnis ( $F = 0,476$ ;  $p < 0,625$ ). Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 7,320$ ;  $p < 0,002$ ). Post hoc weist die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2 und von T1 nach T3 auf. Von T2 nach T3 wird kein signifikanter Unterschied konstatiert. Für den Sprint über 10m zeigt die Varianzanalyse ebenfalls kein signifikantes Ergebnis auf dem Messwiederholungsfaktor ( $F = 1,818$ ;  $p < 0,172$ ), jedoch für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung ( $F = 3,563$ ;  $p < 0,038$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T3. Von T1 nach T2 und von T2 nach T3 besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Die Varianzanalyse weist für den Sprint über 15m auf dem Messwiederholungsfaktor kein signifikantes Ergebnis nach ( $F = 0,473$ ;  $p < 0,623$ ). Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung wird jedoch ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 5,936$ ;  $p < 0,006$ ). Post hoc zeigt die KTG im Vergleich zur CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2 und von T1 nach T3. Von T2 nach T3 zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Ein ähnliches Ergebnis ergibt auch die Analyse beim Sprint über 20m, 25m und 30m. Hier zeigt sich auf dem Messwiederholungsfaktor ebenfalls kein signifikantes Ergebnis (20m:  $F = 1,380$ ;  $p < 0,263$ ; 25m:  $F = 1,636$ ;  $p < 0,208$ ; 30m:  $F = 1,929$ ;  $p < 0,159$ ), jedoch für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Sprintleistung (20m:  $F = 7,582$ ;  $p < 0,002$ ; 25m:  $F = 4,494$ ;  $p < 0,017$ ; 30m:  $F = 3,563$ ;  $p < 0,038$ ). Post hoc weist die KTG gegenüber der CG über 20m eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2 und von T1 nach T3 auf. Von T2 nach T3 besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Für den Sprint über 25m zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2 und von T1 nach T3. Von T2 nach T3 zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Für den Sprint über 30m weist die KTG im Vergleich zur CG post hoc eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T3 auf. Von T1 nach T2 und von T2 nach T3 ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

## 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Linearsprintwerte über 30m bei den jugendlichen Fußballspielern im A-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf

Gruppe	Sprintdistanz (m)	T1	T2	T3
KTG (14)	5m	1,025±0,038	1,001±0,055	0,989±0,040
	10m	1,754±0,048	1,755±0,071	1,724±0,064
	15m	2,413±0,059	2,384±0,083	2,361±0,082
	20m	3,047±0,088	3,021±0,113	2,982±0,088
	25m	3,647±0,102	3,621±0,132	3,574±0,111
	30m	4,244±0,123	4,228±0,162	4,178±0,117
CG (11)	5m	1,009±0,033	1,049±0,036	1,042±0,061
	10m	1,729±0,045	1,774±0,063	1,767±0,087
	15m	2,377±0,046	2,426±0,076	2,421±0,105
	20m	2,987±0,055	3,043±0,093	3,033±0,113
	25m	3,587±0,067	3,645±0,116	3,633±0,122
	30m	4,175±0,080	4,243±0,131	4,213±0,149

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Testzeitpunkt 1-3; m = Meter

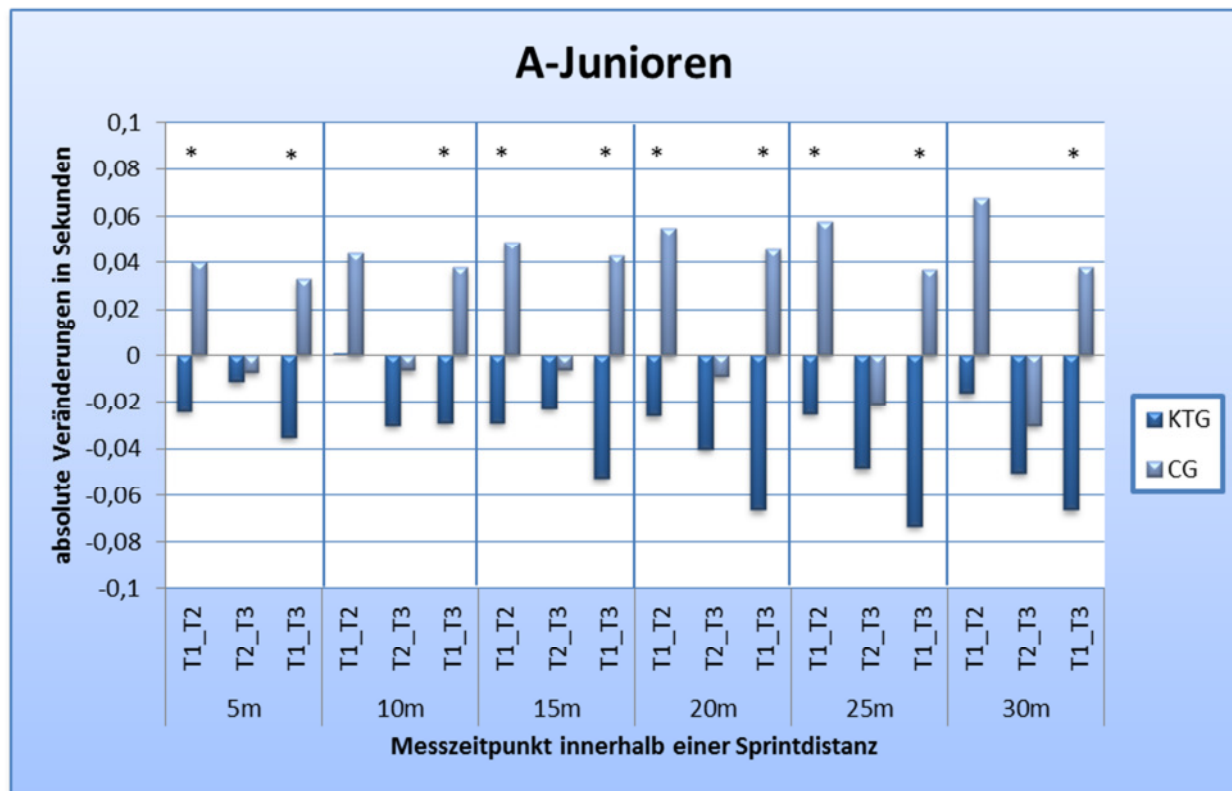


Abbildung 37: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Linearsprint bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

Da sich auf dem Messwiederholungsfaktor keine Signifikanzen zeigen, anhand der deskriptiven Betrachtung der Mittelwerte in den jeweiligen Gruppen jedoch mögliche Unterschiede ersichtlich sind, wird in der Nachbetrachtung in den jeweiligen Gruppen auf dem Faktor Zeit ein T-Test für abhängige Stichproben durchgeführt, um sicher zu stellen, ob Unterschiede vorhanden sind. Dazu wird ein Korrekturverfahren nach Bonferroni für die  $\alpha$ -fehler Kumulierung ( $\alpha' = \alpha/m$ ; m = Anzahl der Testungen) angewendet. Bei einem gewählten



$\alpha = 5\%$  ergibt sich nach der Korrektur ein  $\alpha' = 1,67\%$  mit  $p < 0.016$ . Bei der Analyse des T-Tests sind alle Berechnungen (T1/T2, T2/T3 und T1/T3) für alle Sprinttrecken der CG und KTG mit  $p < 0.000$  signifikant.

Auf dem Messwiederholungsfaktor zeigen sich für alle Altersklassen der KTG signifikante Leistungsentwicklungen über die verschiedenen Sprintdistanzen. Daher wird Hypothese **H3a** angenommen. Für die CG zeigen sich bei den B- und C-Junioren ebenfalls signifikante Leistungssteigerungen über den einjährigen und zweijährigen Verlauf in fast allen Sprintdistanzen. Daher wird die Hypothese **H3b** teilweise angenommen. Die A-Junioren der CG zeigen über den einjährigen und zweijährigen Verlauf keine Leistungssteigerungen über alle Sprintdistanzen. Es werden jedoch negative Entwicklungen der Sprintleistung beobachtet. Daher wird die Hypothese **H3c** verworfen. Zwischen der KTG und der CG können Gruppenunterschiede in der Entwicklung der Sprintleistung zu Gunsten der KTG in allen Altersklassen ermittelt werden. Allerdings zeigen sich nicht zwischen allen Messzeitpunkten und allen Streckenabschnitten signifikante Unterschiede. Daher wird die Hypothese **H3d** nur teilweise angenommen.

**F3:** Die Sprintleistung im Linearsprint über die ersten 30m von leistungssportorientierten Jugendfußballspielern wird durch ein Krafttraining mit der Langhantel über einen Zeitraum von zwei Jahren in allen Juniorenbereichen (C-, B- und A-Junioren) positiv beeinflusst. Diese Leistungsentwicklungen sind jedoch nicht in allen Altersklassen den Entwicklungen der CG überlegen.

Für die Linearsprintdaten der Schüler zeigen sich eine Varianzhomogenität und eine Normalverteilung. Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigt ein signifikantes Ergebnis für den Faktor Alter (10m:  $F = 18,587$ ,  $p < 0.000$ ; 20m:  $F = 15,354$ ,  $p < 0.000$ ; 30m:  $F = 21,952$ ,  $p < 0.000$ ). In Tab. 18 zeigt die post-hoc Analyse die jeweiligen Unterschiede zwischen den Altersklassen. Für die Schüler ergibt sich im Linearsprint bei 10m, 20m und 30m der nahezu gleiche Verlauf in der Altersentwicklung (siehe Abb. 38). Je älter die Schüler werden, desto besser werden die Sprintleistungen. Zwischen U13 und U14 kommt es bei 30m zu einem Plateau, für die Distanzen 10m und 20m sogar zu einer leichten Verschlechterung der Sprintleistung. Die höchsten Steigerungsraten in der Sprintleistung über alle erfassten Distanzen zeigen sich zwischen den Altersbereichen U14 und U15. Im weiteren Altersverlauf

## 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

flacht die Kurve wieder ab, sodass es wieder nahezu zu einem Plateau zwischen der U17 und der U19 kommt.

Tabelle 18: Darstellung der signifikanten Unterschiede im Linearsprint über 10m, 20m und 30m zwischen den Altersklassen U13 und U19 bei den untrainierten Schülern

Altersklassen	Signifikante Unterschiede mit $p < 0.05$		
	10m	20m	30m
<b>U19</b>	U15, U14, U13	U15, U14, U13	U15, U14, U13
<b>U17</b>	U15, U14, U13	U14, U13	U14, U13
<b>U16</b>	U14	U14, U13	U14, U13
<b>U15</b>	U19, U17	U19	U19
<b>U14</b>	U19, U17, U16	U19, U17, U16	U19, U17, U16
<b>U13</b>	U19, U17	U19, U17, U16	U19, U17, U16

U13 bis U19 = 12 bis 18 Jahre alt; m = Meter

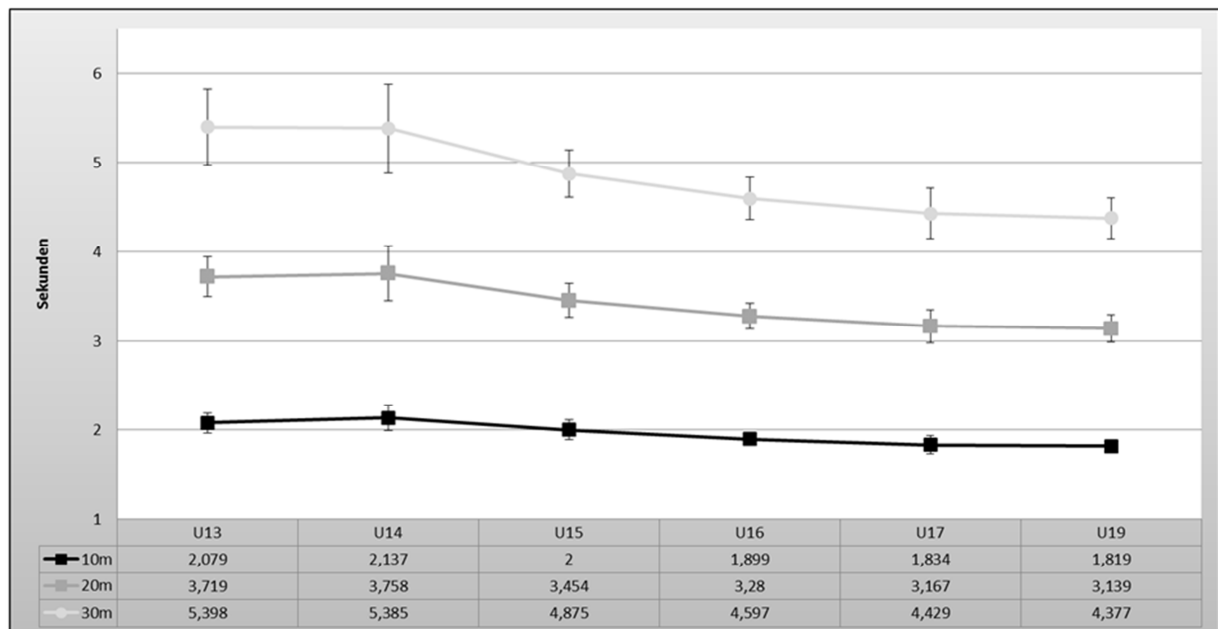


Abbildung 38: Verlauf der Sprintzeiten über 10m, 20m, und 30m im Querschnitt der Schüler von U13 bis U19 (U13 bis U19 = 12 bis 18 Jahre alt; m = Meter)

### 4.4 Richtungswechselsprint

Für alle Daten im Richtungswechselsprint zeigen sich eine Normalverteilung und eine Varianzhomogenität. Die errechneten Unterschiede der Varianzanalyse bei den C-Junioren sind in Tab. 19 und Abb. 39 dargestellt. Der T-Test für unabhängige Stichproben zeigt in T1 für keine Distanz einen Gruppenunterschied. Für den Richtungswechselsprint über 5m links zeigt sich auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 32,487$ ;

$p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird ebenfalls ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 4,224$ ;  $p < 0.019$ ). Post hoc weist die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T2 nach T3 und von T1 nach T3 auf. Von T1 nach T2 wird kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt. Für den Richtungswechselsprint 5m rechts ermittelt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 11,894$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG besteht zwischen allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung zeigt sich kein signifikantes Ergebnis ( $F = 1,661$ ;  $p < 0.198$ ). Für den Richtungswechselsprint 10m links ermittelt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 25,544$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Der Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung ist ebenfalls signifikant ( $F = 4,994$ ;  $p < 0.01$ ). Post hoc beweist die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T2 nach T3 und von T1 nach T3. Von T1 nach T2 wird kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ermittelt. Für den Richtungswechselsprint 10m rechts ergibt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 15,491$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 ein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird ebenfalls ein signifikantes Ergebnis verzeichnet ( $F = 4,423$ ;  $p < 0.016$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T2 nach T3 und von T1 nach T3. Von T1 nach T2 ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festzustellen.

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Tabelle 19: Mittelwerte und Standardabweichungen der Richtungswechselsprints bei den jugendlichen Fußballspielern im C-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf

Gruppe	Sprintdistanz (m)	T1	T2	T3
KTG (18)	5m links	1,856±0,097	1,767±0,083*	1,688±0,068*#
	10m links	3,506±0,172	3,288±0,133*	3,208±0,150*
	5m rechts	1,845±0,081	1,752±0,075*	1,728±0,111*
	10m rechts	3,485±0,132	3,348±0,140*	3,236±0,187*#
CG (19)	5m links	1,863±0,094	1,767±0,064*	1,774±0,091*
	10m links	3,501±0,187	3,347±0,104*	3,397±0,164*
	5m rechts	1,855±0,086	1,803±0,072	1,806±0,095
	10m rechts	3,545±0,196	3,376±0,187*	3,452±0,152*

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Testzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zu T1 (p<0.05); # = signifikanter Unterschied zu T2 (p<0.05)

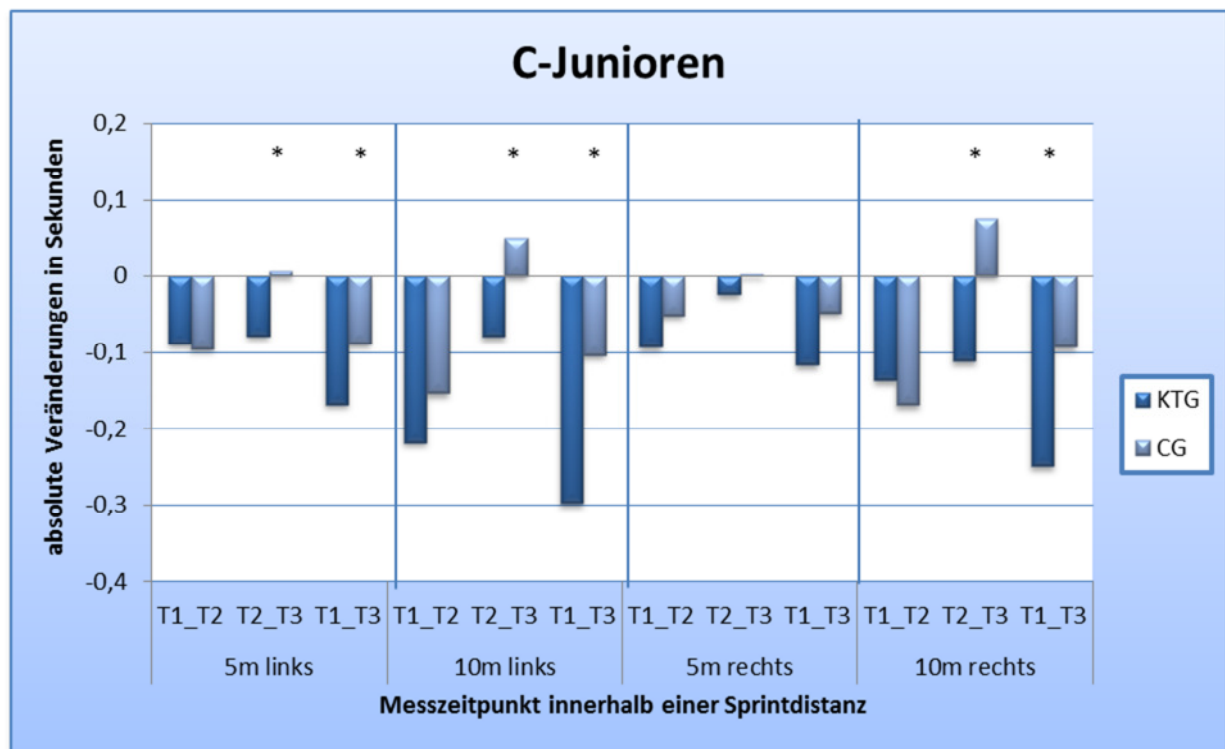


Abbildung 39: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Richtungswechselsprint bei den C-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

Die errechneten Unterschiede der Varianzanalyse bei den B-Junioren sind in Tab. 20 und Abb. 40 dargestellt. Der T-Test für unabhängige Stichproben zeigt in T1 für alle Distanzen einen Gruppenunterschied. Die CG ist in allen Sprintdistanzen signifikant besser als die KTG. Die Varianzanalyse ergibt für den Richtungswechsel 5m links auf dem Messwiederholungsfaktor kein signifikantes Ergebnis ( $F = 2,866$ ;  $p < 0,062$ ). Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird hingegen ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 25,769$ ;  $p < 0,000$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2, T2 nach T3 und von T1

nach T3. Die Varianzanalyse weist für den Richtungswechsel 5m rechts auf dem Messwiederholungsfaktor kein signifikantes Ergebnis nach ( $F = 2,407$ ;  $p < 0.096$ ). Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 18,172$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2, T2 nach T3 und von T1 nach T3. Die Varianzanalyse ergibt für den Richtungswechsel 10m links auf dem Messwiederholungsfaktor kein signifikantes Ergebnis ( $F = 0,858$ ;  $p < 0.427$ ). Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 25,105$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2, T2 nach T3 und von T1 nach T3. Für den Richtungswechsel 10m rechts ergibt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor kein signifikantes Ergebnis ( $F = 0,992$ ;  $p < 0.374$ ). Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 48,892$ ;  $p < 0.000$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2, T2 nach T3 und von T1 nach T3.

Tabelle 20: Mittelwerte und Standardabweichungen der Richtungswechselsprints bei den jugendlichen Fußballspielern im B-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf

Gruppe	Sprintdistanz (m)	T1	T2	T3
KTG (30)	5m links	1,778±0,059§	1,732±0,072	1,676±0,089
	10m links	3,302±0,117§	3,261±0,127	3,181±0,152
	5m rechts	1,774±0,072§	1,743±0,061	1,695±0,073
	10m rechts	3,374±0,114§	3,310±0,125	3,189±0,117
CG (22)	5m links	1,672±0,057	1,692±0,070	1,722±0,072
	10m links	3,141±0,097	3,229±0,114	3,276±0,120
	5m rechts	1,678±0,058	1,723±0,061	1,726±0,066
	10m rechts	3,179±0,105	3,257±0,112	3,331±0,104

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Testzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zu T1 ( $p < 0.05$ ); # = signifikanter Unterschied zu T2 ( $p < 0.05$ ); § = signifikanter Unterschied zu CG ( $p < 0.05$ ) in T1

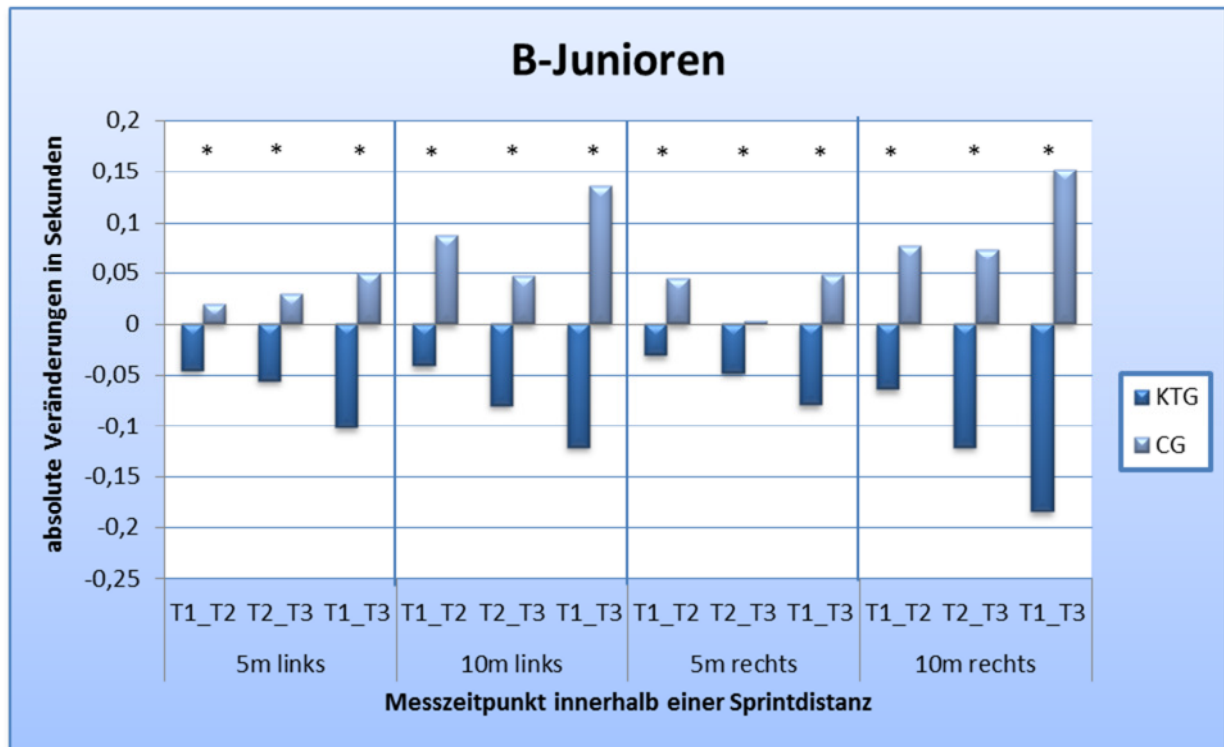


Abbildung 40: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Richtungswechselsprint bei den B-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

Auf dem Messwiederholungsfaktor zeigen sich für alle Parameter keine Signifikanzen. Anhand der deskriptiven Betrachtung der Mittelwerte in den jeweiligen Gruppen werden jedoch mögliche Unterschiede ersichtlich. Demnach wird in der Nachbetrachtung in den jeweiligen Gruppen auf dem Faktor Zeit ein T-Test für abhängige Stichproben durchgeführt, um sicherzustellen, ob Unterschiede vorhanden sind. Dazu wird ein Korrekturverfahren nach Bonferroni für die  $\alpha$ -fehler Kumulierung ( $\alpha' = \alpha/m$ ;  $m$  = Anzahl der Testungen) angewendet. Bei einem gewählten  $\alpha = 5\%$  ergibt sich nach der Korrektur ein  $\alpha' = 1,67\%$  mit  $p < 0.016$ . Bei der Analyse des T-Tests sind nahezu alle Berechnungen (T1/T2, T2/T3 und T1/T3) bei allen Parametern des Richtungswechselsprints in der CG und der KTG mit  $p < 0.000$  signifikant. Nur für die 5m rechts zwischen T2 und T3 und 5m links zwischen T1 und T2 kann bei der CG kein signifikanter Unterschied ermittelt werden.

Die errechneten Unterschiede der Varianzanalyse bei den A-Junioren sind in Tab. 21 und Abb. 41 dargestellt. Der T-Test für unabhängige Stichproben zeigt in T1 für alle Distanzen einen Gruppenunterschied. Die CG ist in allen Sprintdistanzen signifikant besser als die KTG. Für den Richtungswechselsprint über 5m links zeigt der Mauchly-Test auf Sphärizität ein signifikantes Ergebnis ( $p < 0.006$ ). Demnach werden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-

Geisser korrigiert. Die Varianzanalyse ermittelt beim Richtungswechselsprint über 5m links auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 12,419$ ;  $p < 0,000$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG ist zwischen allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird ebenfalls ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 6,691$ ;  $p < 0,007$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2 und von T1 nach T3. Von T2 nach T3 besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Für den Richtungswechselsprint über 5m rechts zeigt der Mauchly-Test auf Sphärizität ein signifikantes Ergebnis ( $p < 0,005$ ). Demnach werden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Für den Richtungswechselsprint über 5m rechts wird auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 3,336$ ;  $p < 0,024$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich zwischen allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung ergibt sich ebenfalls ein signifikantes Ergebnis ( $F = 9,425$ ;  $p < 0,000$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2, T2 nach T3 und von T1 nach T3. Für den Richtungswechselsprint über 10m links zeigt der Mauchly-Test auf Sphärizität ein signifikantes Ergebnis ( $p < 0,02$ ). Demnach werden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Für den Richtungswechselsprint über 10m links zeigt sich auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 6,386$ ;  $p < 0,007$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2, T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich zwischen allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied. Für den Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird ein signifikantes Ergebnis ermittelt ( $F = 8,550$ ;  $p < 0,002$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2, T2 nach T3 und von T1 nach T3. Für den Richtungswechselsprint über 10m rechts zeigt der Mauchly-Test auf Sphärizität ein signifikantes Ergebnis ( $p < 0,024$ ). Demnach werden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Für den Richtungswechselsprint über 10m rechts zeigt sich auf dem Messwiederholungsfaktor ein signifikantes Ergebnis ( $F = 7,793$ ;  $p < 0,01$ ). Post hoc ergibt sich für die KTG ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3. Für die CG zeigt sich zwischen allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied. Für den

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Gruppenunterschied in der Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung wird ebenfalls ein signifikantes Ergebnis verzeichnet ( $F = 3,281$ ;  $p < 0,046$ ). Post hoc zeigt die KTG gegenüber der CG eine signifikant bessere Leistungssteigerung von T1 nach T2, T2 nach T3 und von T1 nach T3.

Tabelle 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der Richtungswechselsprints bei den jugendlichen Fußballspielern im A-Juniorenbereich im zweijährigen Verlauf

Gruppe	Sprintdistanz (m)	T1	T2	T3
KTG (14)	5m links	1,752±0,097§	1,677±0,070*	1,604±0,054*#
	10m links	3,261±0,138§	3,162±0,111*	3,071±0,089*#
	5m rechts	1,733±0,086§	1,704±0,088	1,629±0,068*#
	10m rechts	3,298±0,123§	3,153±0,127*	3,081±0,133*
CG (11)	5m links	1,678±0,058	1,696±0,064	1,653±0,055
	10m links	3,162±0,112	3,191±0,088	3,175±0,081
	5m rechts	1,647±0,038	1,708±0,057	1,694±0,055
	10m rechts	3,144±0,081	3,202±0,098	3,223±0,113

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Testzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zu T1 ( $p < 0,05$ ); # = signifikanter Unterschied zu T2 ( $p < 0,05$ ); § = signifikanter Unterschied zu CG ( $p < 0,05$ ) in T1

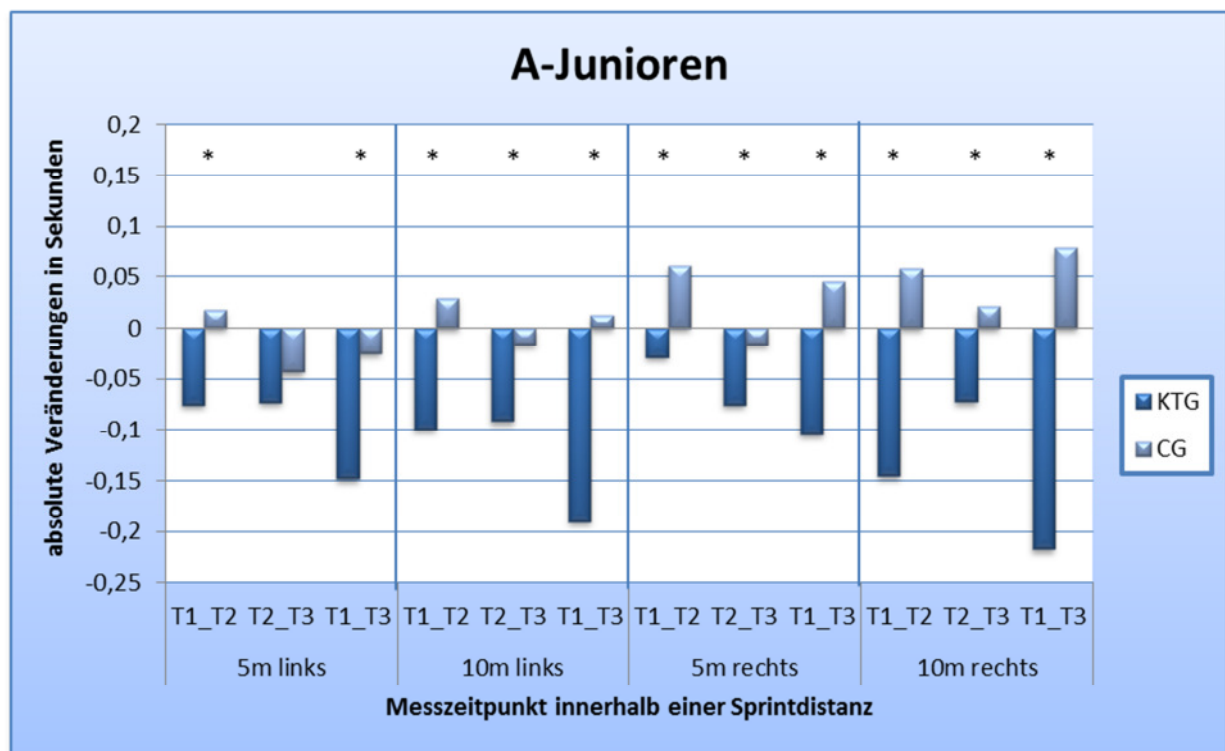


Abbildung 41: Gruppenvergleich der Entwicklungen im Richtungswechselsprint bei den A-Junioren über einen zweijährigen Verlauf (KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; m = Meter; \* = signifikanter Unterschied zwischen KTG und CG)

Auf dem Messwiederholungsfaktor zeigen sich für alle Altersklassen der KTG signifikante Leistungsentwicklungen über die verschiedenen Sprintdistanzen im Richtungswechselsprint. Daher wird Hypothese **H5a** angenommen. Für die CG zeigen sich bei den C-Junioren ebenfalls signifikante Leistungssteigerungen über den einjährigen und zweijährigen Verlauf in



nahezu allen Sprintdistanzen. Die B-Junioren hingegen weisen eine negative Entwicklung der Sprintleistung im Richtungswechselsprint auf. Daher wird die Hypothese **H5b** teilweise angenommen. Die A-Junioren der CG zeigen über den einjährigen und zweijährigen Verlauf keine Leistungsentwicklungen über alle Sprintdistanzen. Daher wird die Hypothese **H5c** angenommen. Zwischen der KTG und der CG können Gruppenunterschiede in der Entwicklung der Sprintleistung zu Gunsten der KTG in allen Altersklassen ermittelt werden. Allerdings zeigen sich nicht zwischen allen Messzeitpunkten und allen Streckenabschnitten signifikante Unterschiede. Daher wird die Hypothese **H5d** nur teilweise angenommen.

**F5:** Die Sprintleistung im Richtungswechselsprint von leistungssportorientierten Jugendfußballspielern wird durch ein Krafttraining mit der Langhantel über einen Zeitraum von zwei Jahren in allen Altersklassen (C-, B- und A-Junioren) und allen Sprintdistanzen positiv beeinflusst. Diese positiven Effekte sind den positiven Leistungsentwicklungen der CG im C-Juniorenbereich jedoch nicht immer überlegen.

In die Berechnung der Richtungswechselsprintdaten der Schüler fließen nur 195 Datensätze über alle Altersklassen ein. Der Grund für die im Gegensatz zu den anderen Berechnungen (426 Datensätze) geringe Anzahl an Datensätzen liegt in der nicht korrekten Ausführung des Richtungswechselsprinttests. Hier zeigen viele untrainierte Schüler, dass sie nicht in der Lage sind, einen Richtungswechsel bei einer mittleren bis hohen Laufgeschwindigkeit zu absolvieren. Zu meist sind sie außerhalb der aufgestellten Pylonen oder sogar außerhalb an den Lichtschranken vorbeigelaufen. Dies zeigt sich vor allem für den Sprintabschnitt von 5m bis 10m. Weitere Fehlversuche sind durch das häufige Umwerfen der Stangen entstanden, um die gesprintet werden muss. Selbst nach mehrmaligen Versuchen zeigt sich bei der Testung keine Verbesserung in der Ausführung, sodass viele Datensätze aus Unvollständigkeit herausgenommen werden müssen.

Für die in die Berechnung eingeflossenen Daten des Richtungswechselsprints der Schüler zeigen sich eine Varianzhomogenität und eine Normalverteilung. Die einfaktorielle Varianzanalyse führt zu einem signifikanten Ergebnis auf dem Faktor Alter (5m links:  $F = 8,052$ ,  $p < 0.000$ ; 5m rechts:  $F = 8,515$ ,  $p < 0.000$ ; 10m links:  $F = 12,128$ ,  $p < 0.000$ ; 10m rechts:  $F = 20,155$ ,  $p < 0.000$ ). In Tab. 22 zeigt die post-hoc Analyse die jeweiligen Unterschiede zwischen den Altersklassen. Des Weiteren zeigt sich für alle Sprintdistanzen über den Altersbereich von U13 bis U19 nahezu der gleiche Verlauf (siehe Abb. 42). Zwischen den

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Altersbereichen U13 und U14 weisen die Zeiten einen leichten Anstieg auf, bevor es zu einem stetigen Abfall der Sprintzeiten bis zur U19 kommt. Für die Richtungswechselsprintzeit 10m rechts zeigt sich dies deutlicher als für die anderen Sprintdistanzen. In der post-hoc Analyse kommt es nur zwischen den Altersbereichen U19 mit U13 und U14 sowie zwischen den Altersbereichen U17 mit U13 und U14 zu Unterschieden. Für alle weiteren Altersbereiche können keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Eine Ausnahme liegt bei der Zeit des Richtungswechselsprints 10m rechts vor. Hier zeigt die U19 zu allen anderen Altersbereichen signifikant bessere Leistungen.

Tabelle 22: Darstellung der signifikanten Unterschiede im Richtungswechselsprint zwischen den Altersklassen U13 und U19 bei den untrainierten Schülern

Altersklassen	Signifikante Unterschiede mit $p < 0.05$			
	5m links	5m rechts	10m links	10m rechts
<b>U19</b>	U13, U14	U14	U13, U14	U13, U14, U15, U16, U17
<b>U17</b>	U14	ns	U13, U14	U19
<b>U16</b>	ns	ns	ns	U19
<b>U15</b>	ns	ns	ns	U19
<b>U14</b>	U17, U19	U19	U17, U19	U19
<b>U13</b>	U19	ns	U17, U19	U19

U13 bis U19 = 12 bis 18 Jahre alt; m = Meter; ns = nicht signifikant

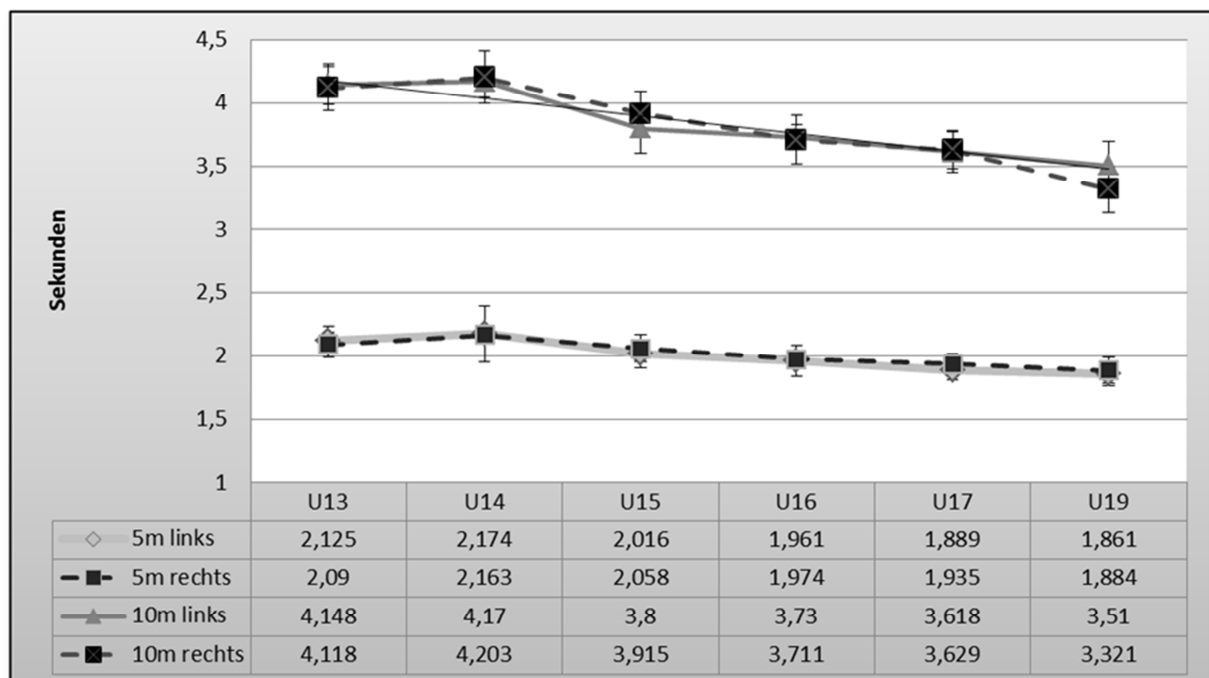


Abbildung 42: Verlauf der Sprintzeiten im Richtungswechselsprint über den Querschnitt der Schüler von U13 bis U19 (U13 bis U19 = 12 bis 18 Jahre alt, m = Meter)

#### 4.5 Korrelationsanalyse zwischen Maximalkraft und Linearsprint

Für die Zusammenhangsanalyse nach Pearson werden die Werte aus T3 von allen Fußballspielern genommen, weil die Werte des 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge zu diesem Testzeitpunkt besser geeignet sind, da hier von aussagekräftigeren Maximalkraftwerten als zum Zeitpunkt T1 gesprochen werden kann. Dies resultiert aus den Gewöhnungseffekten der Testungen für die CG sowie den Effekten des Krafttrainings für die KTG. Die Abbruchgründe in der Testung der Maximalkraftwerte im Testzeitpunkt T3 sind meist auf ein Versagen der Beinmuskulatur und weniger auf technische Fehler oder einem Versagen der Rückenmuskulatur zurückzuführen. Dies zeigt sich in T1 hingegen häufiger.

Zunächst werden die Korrelationen zwischen dem 1RM der Front- und Nackenkniebeuge mit den Werten aus dem Linearsprint in den Altersklassen getrennt betrachtet und miteinander auf Unterschiede getestet. Die errechneten empirischen Z-Werte nach Fisher werden mit dem kritischen Z-Wert bei einer Annahme von 95% verglichen (siehe Tab. 23). Für  $p = 0,95$  gilt ein kritischer Z-Wert von 1,645. Beim Korrelationsvergleich zeigt sich nur für die 15m Sprintdistanz mit den Maximalkraftparametern bei den Altersbereichen C- und B-Junioren ein höherer empirischer Z-Wert als der kritische Z-Wert. Demnach besteht ein altersbedingter Unterschied. Da der Wert jedoch nur geringfügig überschritten wird, fließen in die Berechnung der Korrelationsanalyse zwischen den Maximalkraft- und Linearsprintparametern alle Altersklassen ein.

Tabelle 23: Korrelationsvergleichsanalyse zwischen allen Altersklassen bezogen auf die Maximalkraftparameter und die Parameter im Linearsprint über 30m

Altersklasse	5m/1RM Front	5m/1RM Nacken	10m/1RM Front	10m/1RM Nacken
<b>C/B</b>	1,26	0,97	1,27	1,15
<b>C/A</b>	0,78	0,42	1,32	0,82
<b>B/A</b>	0,36	0,47	0,24	0,20
	15m/1RM Front	15m/1RM Nacken	20m/1RM Front	20m/1RM Nacken
<b>C/B</b>	1,71	1,65	0,54	0,59
<b>C/A</b>	1,07	0,76	1,08	0,74
<b>B/A</b>	0,82	0,75	0,67	0,24
	25m/1RM Front	25m/1RM Nacken	30m/1RM Front	30m/1RM Nacken
<b>C/B</b>	0,37	0,48	0,31	0,42
<b>C/A</b>	1,09	0,85	1,32	1,04
<b>B/A</b>	0,84	0,48	1,15	0,75

C = U14/U15; B = U16/17; A = U18/U19; 1RM = Einer-Wiederholungsmaximum; m = Meter

In Tab. 24 sind die Korrelationen aus der Gesamtanalyse nach Pearson für die Maximalkraft- und Linearsprintparameter dargestellt. Die Korrelationsanalyse zeigt für das 1RM der

Frontkniebeuge und den Linearsprintwerten mittlere Korrelationen bis  $r = -.53$  bei 20m und 25m. Demnach ist das 1RM in der Frontkniebeuge als leistungslimitierend für den Linearsprint zu sehen. Für das 1RM der Nackenkniebeuge zeigen sich ebenfalls mittlere Korrelationen. Die höchsten Korrelationen werden mit  $r = -.56$  bei 20m, 25m und 30m ermittelt. Demnach ist auch die Leistung im 1RM der Nackenkniebeuge leistungslimitierend für den Linearsprint. Interessant ist der Korrelationsverlauf, der bei beiden Kniebeugevarianten aufsteigend ist, wenn die Sprintdistanz steigt. Der Nonzentralitätsparameter zeigt für alle Korrelationen eine Teststärke von mehr als 99,9% bei  $p < 0.05$  ( $\lambda > 25,50$ ).

Tabelle 24: Korrelationen nach Pearson zwischen dem Linearsprint und den Maximalkraftparametern 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge (n = 114)

	5m	10m	15m	20m	25m	30m
<b>1RM Front</b>	-.47*	-.49*	-.36*	-.53*	-.53*	-.52*
<b>1RM Nacken</b>	-.48*	-.51*	-.42*	-.56*	-.56*	-.56*

m = Meter; 1RM = Einer-Wiederholungsmaximum; \* = signifikant ( $p < 0.05$ )

Die Korrelationsanalyse nach Pearson ergibt mittlere signifikante Zusammenhänge zwischen den Zeiten im Linearsprint über 30m mit den Teilstrecken 5m, 10m, 15m, 20m sowie 25m und dem 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge bei jugendlichen Fußballspielern. Demnach können die Hypothesen **H4a** und **H4b** angenommen werden.

**F4:** Es gibt zwischen dem Linearsprint über die ersten 30m und der Maximalkraft gemessen im 1RM der Kniebeuge bei jugendlichen Fußballspielern einen mittleren Zusammenhang.

### 4.6 Korrelationsanalyse zwischen Maximalkraft und Richtungswechselsprint

Für die Zusammenhangsanalyse nach Pearson werden die Werte aus T3 von allen Fußballspielern genommen, weil die Werte des 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge zu diesem Testzeitpunkt besser geeignet sind, da hier von aussagekräftigeren Maximalkraftwerten als zum Zeitpunkt T1 gesprochen werden kann. Dies resultiert aus den Gewöhnungseffekten der Testungen für die CG sowie den Effekten des Krafttrainings für die KTG. Die Abbruchgründe in der Testung der Maximalkraftwerte im Testzeitpunkt T3 sind meist auf ein Versagen der Beinmuskulatur und weniger auf technische Fehler oder einem Versagen der Rückenmuskulatur zurückzuführen. Dies zeigt sich in T1 hingegen häufiger.

#### 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Zunächst werden die Korrelationen zwischen dem 1RM der Front- und Nackenkniebeuge mit den Werten aus dem Richtungswechselsprint in den Altersklassen getrennt betrachtet und auf mögliche Unterschiede getestet. Die errechneten empirischen Z-Werte nach Fisher werden mit dem kritischen Z-Wert bei einer Annahme von 95% verglichen (siehe Tab. 25). Für  $p = 0,95$  gilt ein kritischer Z-Wert von 1,645. Der Korrelationsvergleich ergibt für mehrere Sprintdistanzen mit den Maximalkraftparametern einen höheren empirischen Z-Wert als der kritische Z-Wert. Demnach bestehen altersbedingte Unterschiede in mehreren Fällen. Eine getrennte Betrachtung der Altersbereiche für die Berechnung der Korrelationen zwischen den Maximalkraft- und Richtungswechselsprintparametern ist daher erforderlich.

Tabelle 25: Korrelationsvergleichsanalyse zwischen allen Altersklassen bezogen auf die Maximalkraftparameter und die Parameter im Richtungswechselsprint

	5m li/1RM Front	5m li/1RM Nacken	5m re/1RM Front	5m re/1RM Nacken
<b>C/B</b>	1,24	1,08	1,84	1,61
<b>C/A</b>	1,71	2,08	1,71	1,62
<b>B/A</b>	0,86	1,19	0,09	0,24
	10m li/1RM Front	10m li/1RM Nacken	10m re/1RM Front	10m re/1RM Nacken
<b>C/B</b>	0,92	0,72	0,80	0,97
<b>C/A</b>	1,52	1,53	1,73	1,66
<b>B/A</b>	0,80	1,00	1,11	1,01

C = U14/U15; B = U16/17; A = U18/U19; 1RM = Einer-Wiederholungsmaximum; m = Meter; re = rechts; li = links

Die Korrelationsanalyse zwischen den Maximalkraftparametern 1RM der Front- und Nackenkniebeuge und den Richtungswechselsprintzeiten zeigt bei den C-Junioren mittlere bis hohe Korrelationen (siehe Tab. 26). Die höchsten Korrelationen werden zwischen dem 1RM Front- und Nackenkniebeuge mit dem Richtungswechselsprint 10m rechts bei einer Höhe von  $r = -.66$  und  $-.68$  verzeichnet. Bei den B-Junioren hingegen zeigt die Korrelationsanalyse geringe bis mittlere Korrelationen zwischen dem Richtungswechselsprint und dem 1RM der Front- bzw. Nackenkniebeuge (siehe Tab. 27). Hier kommt es zwischen den Zeiten auf den ersten 5m rechts und dem 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge zu den geringsten Korrelationen von  $r = -.27$  bis  $-.33$ . Für die 10m Zeiten gibt es zu den Maximalkraftparametern mittlere Zusammenhänge. Hier werden Korrelationen von  $r = -.42$  bis  $-.59$  ermittelt. Für die A-Junioren zeigen sich gegenüber den anderen beiden Altersbereichen nur sehr niedrige bis niedrige Zusammenhänge zwischen den Zeiten im Richtungswechselsprint und dem 1RM in der Kniebeuge (siehe Tab. 28). Ähnlich zu den B-Junioren werden hier die höchsten Korrelationen bei den 10m Sprintstrecken ermittelt. Die höchsten Werte liegen bei  $r = -.35$  bis  $-.37$ . Die niedrigsten Werte zeigen sich bei 5m links mit  $r = -.18$  bis  $-.20$ . Der Nonzentralitätsparameter zeigt für die Korrelationen der C-Junioren

## 4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

eine Teststärke von mehr als 99,9% bei  $p < 0.05$  ( $\lambda > 25,50$ ). Für die Korrelationen der B-Junioren wird eine Teststärke von mehr als 99% bei  $p < 0.05$  ( $\lambda > 18,37$ ) bis mehr als 99,9% bei  $p < 0.05$  ( $\lambda > 25,50$ ) ermittelt, für die Korrelationen der A-Junioren hingegen eine Teststärke von mehr als 50% bei  $p < 0.05$  ( $\lambda > 3,84$ ) bis mehr als 95% bei  $p < 0.05$  ( $\lambda > 13$ ).

Tabelle 26: Korrelationen zwischen dem Richtungswechselsprint und den Maximalkraftparametern 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge bei den C-Junioren

	5m links	5m rechts	10m links	10m rechts
<b>1RM Front</b>	-.57*	-.59*	-.57*	-.66*
<b>1RM Nacken</b>	-.61*	-.60*	-.60*	-.68*
m = Meter; 1RM = Einer-Wiederholungsmaximum; * = signifikant ( $p < 0.05$ )				

Tabelle 27: Korrelationen zwischen dem Richtungswechselsprint und den Maximalkraftparametern 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge bei den B-Junioren

	5m links	5m rechts	10m links	10m rechts
<b>1RM Front</b>	-.36*	-.27*	-.42*	-.55*
<b>1RM Nacken</b>	-.44*	-.33*	-.49*	-.59*
m = Meter; 1RM = Einer-Wiederholungsmaximum; * = signifikant ( $p < 0.05$ )				

Tabelle 28: Korrelationen zwischen dem Richtungswechselsprint und den Maximalkraftparametern 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge bei den A-Junioren

	5m links	5m rechts	10m links	10m rechts
<b>1RM Front</b>	-.18	-.25	-.26	-.35
<b>1RM Nacken</b>	-.20	-.28	-.30	-.37
m = Meter; 1RM = Einer-Wiederholungsmaximum; * = signifikant ( $p < 0.05$ )				

Die Korrelationsanalyse nach Pearson führt bei den C- und B-Junioren zu einem signifikanten mittleren bis hohen Zusammenhang zwischen den Zeiten im Richtungswechselsprint und dem 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge. Bei den A-Junioren hingegen werden nur geringe Zusammenhänge ermittelt. Demnach können die Hypothesen **H6a** und **H6b** nur teilweise angenommen werden.

**F6:** In der Korrelationsanalyse zwischen den Zeiten im Richtungswechselsprint und dem 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge zeigt sich in Abhängigkeit von den Altersklassen eine Spannweite der Zusammenhänge von sehr niedrig bis hoch. Im Altersbereich der C- und B-Junioren werden höhere Zusammenhänge als bei den A-Junioren ermittelt.

### 4.7 Korrelationsanalyse zwischen Linearsprint und Richtungswechselsprint

Für die Zusammenhangsanalyse nach Pearson werden die Werte aus T1 von allen Fußballspielern genommen ( $n = 114$ ), da alle Spieler bezüglich der Sprintleistung die gleichen Voraussetzungen haben. Der Nonzentralitätsparameter zeigt für alle Korrelationen eine

Teststärke von mehr als 99,9% bei  $p < 0.05$  ( $\lambda > 25,50$ ). Die Korrelationen zwischen den jeweiligen Distanzen im Linearsprint und dem Richtungswechselsprint sind in Tab. 29 dargestellt.

Tabelle 29: Korrelationsanalyse nach Pearson zwischen dem Linearsprint über 30m und dem Richtungswechselsprint (n = 114)

Distanz	5m	10m	15m	20m	25m	30m
<b>5m links</b>	.53*	.57*	.60*	.61*	.61*	.60*
<b>10m links</b>	.54*	.62*	.64*	.66*	.66*	.64*
<b>5m rechts</b>	.56*	.61*	.62*	.63*	.64*	.62*
<b>10m rechts</b>	.53*	.61*	.61*	.62*	.62*	.61*

m = Meter; \* = signifikant ( $p < 0.05$ )

Bei allen dargestellten Korrelationen handelt es sich um signifikante mittlere bis hohe Zusammenhänge. Die Korrelationen zwischen den Distanzen des Richtungswechselsprints und der 5m Distanz des Linearsprints sind am geringsten. Zwischen 20m bzw. 25m und dem Richtungswechselsprint 10m links werden die höchsten Korrelationen verzeichnet. Die Varianzaufklärung beträgt für alle Korrelationen zwischen 28,1% und 43,6%. Demnach kann von einer moderaten bis hohen Varianzaufklärung zwischen dem Linearsprint und dem Richtungswechselsprint gesprochen werden. Die Hypothese **H7a** muss verworfen werden.

**F7:** Es besteht ein mittlerer bis hoher Zusammenhang zwischen dem Linearsprint und dem Richtungswechselsprint bei jugendlichen Fußballspielern. Die limitierenden Einflussparameter sind bei beiden Sprintformen demnach gleich. Dass der Richtungswechselsprint und der Linearsprint definitiv getrennte konditionelle Fähigkeiten darstellen, kann aufgrund der Ergebnisse nicht bestätigt werden.

### 5 Diskussion der Ergebnisse

#### 5.1 Limitationen der Untersuchung

Jede empirische Untersuchung unterliegt methodischen Limitationen, die es in der Einordnung der ermittelten Ergebnisse zu berücksichtigen gilt. In dieser Untersuchung handelt es sich um eine Längsschnittbetrachtung von jugendlichen Fußballspielern im Nachwuchsleistungssport über zwei Jahre, die die Entwicklung von relevanten athletischen Leistungen im Fußball mit und ohne Krafttrainingsintervention beobachtet. Methodische Limitationen ergeben sich hierbei in der Wahl der Stichprobe, dem Gruppenvergleich, dem Testdesign und dem Datensatz der untrainierten Schüler.

##### 5.1.1 Wahl der Stichprobe

Die Stichprobe dieser Untersuchung besteht aus jugendlichen Fußballspielern im Nachwuchsleistungssport. Hier kommt es zu zwei zu berücksichtigenden Limitationen. Die Auswahl der Stichprobe ist unter dem Aspekt kontrollierter Studien mit Einschränkungen behaftet. Eine randomisierte Gruppenzuweisung der Fußballspieler ist nicht erfolgt. Dies ist in der Tatsache begründet, dass sich professionelle Vereine, dort beschäftigte Trainer und die Fußballspieler nicht überzeugen lassen, dass ein Teil der Mannschaft ein möglicherweise leistungssteigerndes Training durchführt, der andere Teil hingegen ein Placebotraining oder kein zusätzliches Training absolviert und damit einen möglichen Nachteil gegenüber den Mitspielern hinnehmen muss (vgl. auch Meyer 2006). Gerade in der Sportart Fußball, in der die Leistungsdichte sehr hoch ist und nur wenigen Spielern der Sprung in den Profifußball gelingt, ist eine Randomisierung unter diesem Gesichtspunkt nahezu unmöglich. Unter dem zusätzlich erschwerenden Aspekt des Interventionszeitraums von zwei Jahren ist eine Randomisierung aussichtslos mit den Vereinsverantwortlichen diskutiert worden. Daher ist die Auswahl der Stichprobe mit einem möglichst gleichen Leistungsniveau und Trainingsinhalten über zwei Vereine vollzogen worden. Dabei ist die Gruppenzugehörigkeit über die Vereinszugehörigkeit erfolgt. Die Mannschaften beider Vereine spielen im Zeitraum der Untersuchung in der jeweils gleichen Liga mit ähnlichen Platzierungen, sodass von einem gleichen Leistungsniveau ausgegangen werden kann. Da der DFB für Nachwuchsleistungszentren gleiche Trainingsinhalte und Trainingsumfänge festschreibt, ist auch bezüglich des gesamten Trainingsspektrums von einem nahezu gleichen Stand auszugehen, wobei exakt gleiche Trainingsinhalte nicht garantiert werden können. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Stichprobenumfang in den jeweiligen Gruppen nicht hoch ist, was aus zwei wesentlichen Faktoren resultiert. Zum einen werden die Gesamtkader von



Juniorenmannschaften auf in der Regel maximal 23 Spieler limitiert, da für die Weiterentwicklung von jugendlichen Fußballspielern die Wettkampfpraxis ein wesentlicher Bestandteil ist und diese mit dieser maximalen Anzahl an Spielern ohnehin kaum für alle Spieler geboten werden kann. Demnach bestehen Kader oft auch nur aus 20 Spielern. Zum anderen findet im Jugendfußball noch immer eine hohe Fluktuation an Spielern zwischen den jeweiligen Saisons statt. In dieser Untersuchung absolvieren insgesamt 214 Fußballspieler den Eingangstest T1. Im ersten Jahr sind etwa 25% aus beiden Gruppen (KTG und CG) aufgrund von Vereinswechselln ausgeschieden, weitere 29% im zweiten Jahr. Dabei ist die Quote aus beiden Vereinen in etwa gleich. Weiterhin sind verletzungsbedingt etwa 4% der Spieler ausgefallen. Eine Festlegung in der Untersuchung ist die Teilnahme an allen Testphasen. Demnach sind nur die Daten der Spieler aus T1 in die Ergebnisauswertung eingeflossen, die an allen Testphasen teilgenommen haben. Die Ausfallquote dieser Untersuchung ist dennoch relativ gering im Vergleich zu den in der Literatur angegebenen Ausfallquoten von bis zu 50% in einem halben Jahr (vgl. Casajus 2001). In jedem Fall sind die Gruppengrößen in den jeweiligen Altersklassen in Bezug auf die Ergebnisse der Varianzanalyse zu berücksichtigen, obwohl die Gruppengröße laut Bortz & Döring (2006, S.633) für das Varianzanalysemodell im optimalen Bereich zu erwartender großer Effekte liegt.

### 5.1.2 Gruppenvergleich

Für die Interventionsuntersuchung über zwei Jahre hat die KTG zusätzlich zum Fußballtraining zweimal wöchentlich ein Krafttraining durchgeführt. Die CG hingegen hat nur das reguläre Fußballtraining absolviert. Bei gleicher Anzahl an Fußballtrainingseinheiten hat die KTG in der Summe betrachtet zwei TE mehr pro Woche als die CG. Dieser Aspekt muss in jedem Gruppenvergleich berücksichtigt werden. Demnach ist es möglich, dass eventuelle Gruppenunterschiede zwischen der KTG und der CG in den einzelnen Testparametern nicht auf den Trainingsinhalt Krafttraining zurückzuführen sind, sondern auf den höheren Trainingsumfang. Die Fragestellung dieser Untersuchung, ob ein zusätzliches Krafttraining zum Fußballtraining einen Einfluss auf die Leistung im Sprint hat, begründet die Wahl dieses Methodik-Designs. Dass Krafttraining die Sprintleistung beeinflussen kann, ist mehrfach in Untersuchungen gezeigt worden (vgl. u.a. Chelly et al. 2009; Comfort, Haigh & Matthews. 2012; Dasteridis et al. 2011). Jedoch existieren keine empirischen Belege für eine langfristige Adaption durch ein Krafttraining, da die bekannten Untersuchungen eine Dauer von weniger als einem Jahr haben. Weiterhin ist das Ergebnisbild bezüglich des Krafttrainingseinflusses auf die Sprintleistung stark differenziert. Demnach geht es primär um

die Frage, ob die Sprintleistung durch ein Krafttraining zusammen mit den möglicherweise konträren Inhalten aus dem Fußballtraining langfristig positiv zu beeinflussen ist und ob es gegenüber dem regulären Fußballtraining zu Unterschieden kommt. Inwiefern andere Trainingsinhalte außer dem Krafttraining die Sprintleistung langfristig beeinflussen, muss in weiteren Untersuchungen thematisiert werden. Unabhängig davon wird der Aspekt eines Trainingseffekts allein durch das höhere Trainingsvolumen der KTG berücksichtigt. Während der Diskussion der Ergebnisse wird diese Thematik allerdings nicht in jedem Aspekt diskutiert, um eine ständige Wiederholung zu vermeiden. Im Fazit wird dieser Aspekt jedoch nochmals aufgegriffen.

### 5.1.3 Testdesign

Die durchgeführten Testphasen sind in einem Feldversuch angelegt. Damit können die unter Laborbedingungen standardisierten Ansprüche an einen Test nicht gewährleistet werden. Da diese Untersuchung mit ihren Fragestellungen eine hohe Praxisrelevanz für den Fußball aufweist, ist es nachvollziehbar, dass die im Fußball gängigen Testverfahren für Sprintleistungen unter wettkampfählichen Bedingungen durchgeführt werden. Neben dem Untergrund (Kunstrasen), auf dem regelmäßig trainiert wird, beinhaltet dies auch die Zulassung äußerer Störfaktoren wie Temperatur und Wetterbedingungen. Um die Störfaktoren so gering wie möglich zu halten, ist jede Testphase bei annähernd gleichen Wetterbedingungen durchgeführt worden. Auch Faktoren wie Ermüdungszustand, Kleidung und Schlaf bzw. Ernährungsverhalten sind im Rahmen der Möglichkeiten standardisiert worden. Des Weiteren zeigen die Sprinttests hohe Intrakorrelationskoeffizienten und demnach eine hohe Reliabilität. Durch die hohe Praxisrelevanz ist weiterhin eine hohe Validität des Testdesigns gegeben.

### 5.1.4 Datensatz der untrainierten Schüler

Neben der Stichprobenwahl der Fußballspieler sind ebenfalls Daten von untrainierten Schülern in die Untersuchung eingeflossen, um den Effekt des Fußballspielens auf die Sprintleistung herauszukristallisieren. Diese Daten sind jedoch ausschließlich in einer Querschnittsbetrachtung erhoben worden, da die Schulen aufgrund des hohen organisatorischen Umfangs nicht bereit gewesen sind, die Schüler für mehr als eine Testphase zur Verfügung zu stellen. Da die Tests im Rahmen des Sportunterrichts durchgeführt worden sind, haben die Schulen mit dem Argument des Unterrichtsausfalls jegliche Möglichkeit einer Längsschnittbetrachtung unterbunden. Ein weiteres Problem besteht darin, dass zum einen

nicht alle Klassen für die Untersuchung zur Verfügung gestanden hätten und zum anderen eine Testphase im Längsschnitt mit möglichst vielen Klassen in jedem Altersbereich eine Dauer von etwa vier Wochen aufgrund anderer Termine (Ausflüge, etc.) überschritten hätte. Aus diesen Gründen ist nur eine Querschnittsbetrachtung erfolgt und sind die Daten der Schüler nicht mit in die Berechnung der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung integriert worden, da der Methodenfehler bei einer Zusammenführung von Quer- und Längsschnittdaten zu hoch gewesen wäre. Um dennoch eine tendenzielle Aussage treffen zu können, sind die Querschnittsdaten bei der Einordnung der Daten der CG einbezogen worden.

### **5.2 Entwicklung der anthropometrischen Werte im Verlauf des Trainingsinterventionszeitraums**

Alle ermittelten Daten der Körpergröße in den verschiedenen Altersklassen der Fußballspieler zeigen, dass diese der durchschnittlichen Körpergröße entsprechen (siehe Abb. 43). Auch Meyer et al. (2005) zeigen in diesen Altersbereichen die gleichen Körpergrößen bei jugendlichen Fußballspielern. Die erfassten Körpergrößen der Schüler liegen etwa 2cm über denen der Fußballspieler und demnach über dem Durchschnitt der in der Literatur angegebenen Daten. Demnach hat die Sportart Fußball keinen besonderen Einfluss auf die Körpergröße, obwohl sich aufgrund der Selektion im Jugendbereich oft die Frühentwickler mit den höheren Körpergrößen durchsetzen (vgl. Helsen, Starkes & vanWinckel 2000). Die Ergebnisse der anthropometrischen Tests zeigen im Verlauf der zweijährigen Interventionszeit in beiden Gruppen für alle Altersklassen im Parameter Körpergröße eine signifikante Entwicklung. Für die Altersbereiche der C- und B-Junioren ist dies aufgrund der Angaben in der gängigen Literatur anzunehmen (vgl. Cronau & Brown 1998; Mühl, Herkner & Swoboda 1992). Für die A-Junioren ist eine signifikante Erhöhung der Körpergröße nicht zu erwarten, da in diesem Alter von einem weitgehend abgeschlossenen Längenwachstum ausgegangen wird. Dennoch zeigen sich auch in diesem Altersbereich signifikante Entwicklungen, die allerdings geringfügiger sind als in den beiden anderen Altersklassen (siehe Tab. 30). Die erfassten Daten der Schüler zeigen im Alter von 13 bis 14 Jahren den höchsten Entwicklungsschub bezüglich der Körpergröße.

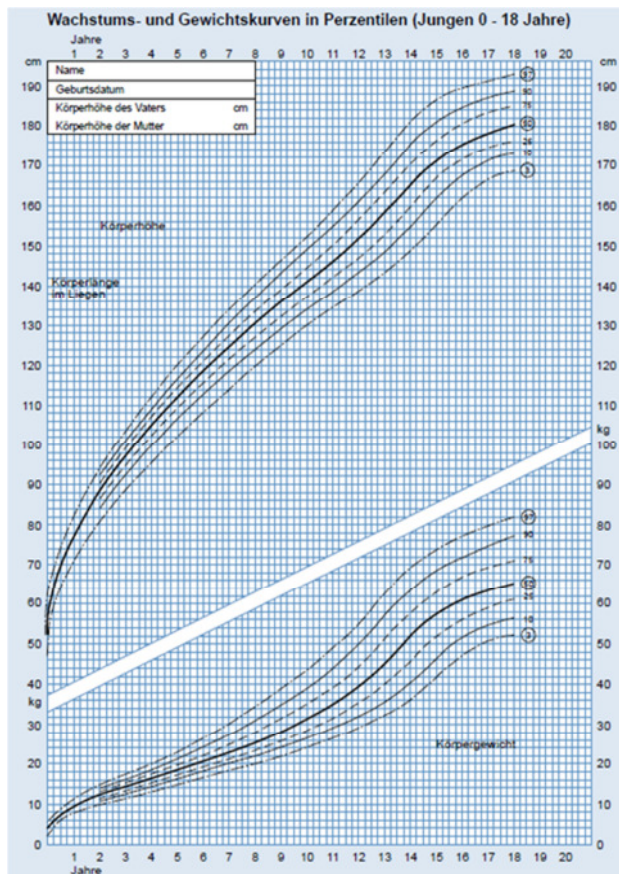


Abbildung 43: Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen für Jungen im Alter von 0 bis 18 Jahren (nach Brandt & Reinken 1988)

Tabelle 30: Prozentuale Steigerungen der Körpergröße der jugendlichen Fußballspieler im zweijährigen Verlauf

Alter	Gruppe	T1/T2	T2/T3	T1/T3
<b>A</b> <b>Junioren</b>	KTG (n=14)	0,57	0,62	1,20
	CG (n=11)	0,40	0,51	0,90
<b>B</b> <b>Junioren</b>	KTG (n=30)	1,62	1,26	2,90
	CG (n=22)	2,46	1,72	4,23
<b>C</b> <b>Junioren</b>	KTG (n=18)	2,82	3,80	6,73
	CG (n=19)	4,32	4,63	9,15

KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1 - T3 = Testzeitpunkt 1 - 3

Die ermittelten Längenwachstumsraten der C- und B-Junioren über die beiden Jahre sind weniger ausgeprägt als in der Literatur oft dargestellt (vgl. Cronau & Brown 1998; Mühl, Herkner & Swoboda 1992). In der Literatur wird das höchste Körperlängenwachstum pro Jahr im Alter von 15 Jahren angegeben. Die leistungssportlich orientierten Fußballspieler zeigen hingegen im Altersbereich von 13 und 14 Jahren die höchsten Wachstumsraten. Auch Vääntinen et al. (2011) zeigen bei jugendlichen Fußballspielern das höchste Körperlängenwachstum im Altersbereich von 13 bis 14 Jahren. Ebenso ermitteln Meyer et al. (2005) die höchste Längenwachstumsrate im Alter von etwa 13 Jahren bei leistungssportlich orientierten Fußballspielern (vgl. LeGall et al. 2010). Daraus ist zu schließen, dass im leistungssportlich orientierten Jugendfußball eher frühentwickelte Jugendliche spielen, die im

Alter von 12 bis 14 Jahren den Höhepunkt ihres Körperlängenwachstums pro Jahr erleben. Die Schüler zeigen ebenfalls die höchste Wachstumsrate der Körpergröße zu einem Zeitpunkt, der ein bis zwei Jahre vor den Angaben in der Literatur liegt. Demnach sind diese Daten kongruent zu denen der Fußballspieler. Möglicherweise ist der Querschnittsdatensatz der Schüler zu gering und ein hoher selektiver Anteil an Jugendlichen mit dem gleichen Entwicklungsstatus hat zu diesem Ergebnis geführt. Daher ist es nicht möglich, eine evidente Aussage in Bezug auf die Gesamtpopulation zu treffen. Die Ergebnisse der A-Junioren dieser Untersuchung liegen im Rahmen der in der Literatur angegebenen Längenwachstumsraten von 2cm in zwei Jahren (vgl. Cronau & Brown 1998; Mühl, Herkner & Swoboda 1992). Für beide Gruppen der Fußballspieler ist dies aus statistischer Sicht über den Faktor Messzeitpunkt für ein signifikantes Ergebnis ausreichend. Diesen Wert zeigen auch die Schüler im Altersbereich U17 bis U19. Allerdings verzeichnen Meyer et al. (2005) bei jugendlichen Leistungsfußballspielern keine Körperlängenwachstumsraten in diesem Altersbereich, was ein Indiz für die Auswahl an Frühentwicklern, die im leistungsorientierten Fußball aktiv sind, darstellt. Demnach ist es offensichtlich, dass in dieser Untersuchung die KTG und CG im A-Juniorenbereich vermehrt Spätentwickler aufweisen. Auch Helsen, Starkes & vanWinckel (2000) beobachten in ihrer Untersuchung ein erhöhtes Vorkommen an Spätentwicklern im A-Juniorenbereich. Durch das Ausgleichen körperlicher Defizite können sich oft technisch starke Spieler, die aufgrund dieser Defizite in den frühen Altersklassen eher ausgesiekt werden, bei den A-Junioren durchsetzen. Dies führt dazu, dass selbst im A-Juniorenbereich hohe Fluktuationen vorhanden sind.

Im Gruppenvergleich zeigen sich mit Ausnahme des A-Juniorenbereichs Unterschiede in der Entwicklung der Körpergröße. Die CG generiert hierbei höhere Wachstumsraten als die KTG. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass die Fußballspieler der KTG im biologischen Alter durchschnittlich höher liegen als die Fußballspieler der CG. Damit wäre eine Erklärung für den signifikanten Unterschied in der Körpergrößenentwicklung der C- und B-Junioren im ersten Jahr zu erklären, der sich im zweiten Jahr relativiert. Demnach ist zu Beginn der Untersuchung von einem höheren Entwicklungsstadium der KTG im C- und B-Juniorenbereich auszugehen, obwohl keine Gruppenunterschiede in T1 vorliegen. Allerdings ist eine Klärung dieses Aspekts aufgrund fehlender Tests des Entwicklungsstands nach Tanner nicht möglich (vgl. Malina et al. 2004). Für die A-Junioren zeigt sich erwartungsgemäß in der Entwicklungsrate der Körpergröße kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen, da bei den A-Junioren grundsätzlich alle Spieler nahezu ausgewachsen sind.

Es ist davon auszugehen, dass die KTG und CG aufgrund gleicher Sichtungskriterien der beiden Vereine denselben Entwicklungsstand haben.

Für den Parameter Körpergewicht wird auf dem Faktor Zeit für beide Gruppen ein signifikantes Ergebnis in allen Altersklassen ermittelt. Für den Altersbereich der C-Junioren werden die höchsten Steigerungsraten im Körpergewicht festgestellt. Entgegen der Angaben in der Literatur, Kinder im Alter von etwa 14 Jahren hätten die höchste Körpergewichtszunahme (Brandt & Reinken 1988), wird dies bei den Fußballspielern schon im Alter von 12 bis 13 Jahren gezeigt. Dies deutet ähnlich wie in der Thematik der Körpergrößenentwicklung auf einen biologisch höheren Altersbereich hin. Die Schüler dieser Untersuchung zeigen eher den Verlauf der in der Literatur dargestellten Entwicklungen des Körpergewichts. Hier sind im Altersbereich U14 bis U15 die höchsten Gewichtssteigerungen erfasst. Vääntinen et al. (2011) geben die höchste mit dem Körperlängenwachstum einhergehenden Gewichtssteigerungen bei jugendlichen Fußballspielern im Alter von 13 bis 14 Jahren an. Weiterhin wird die höchste Zuwachsrate der Muskelmasse im Altersbereich von 14 bis 15 Jahren erreicht. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass leistungsorientierte Fußballspieler aufgrund der Auswahl bei der Talentsichtung in der biologischen Entwicklung ein bis zwei Jahre weiter sind als untrainierte Schüler. Bencke et al. (2002) zeigen ebenfalls in einer Untersuchung mit elfjährigen Handballspielern, Schwimmern und Tennisspielern, dass leistungssportlich orientierte Kinder gegenüber Kindern, die den Sport nicht leistungsorientiert betreiben, einen höheren Entwicklungsstatus nach Tanner von 1 bis 1,5 und eine höhere IGF-1 Konzentration vorweisen. Auch dies spricht für eine entsprechende Auswahl bei der Talentsichtung. Für den Bereich der B-Junioren wird ebenfalls ein signifikanter Zuwachs des Körpergewichts festgestellt. Ein Grund hierfür ist der günstige Zeitpunkt des Breitenwachstums in diesem Altersbereich (vgl. Lohman 1989). Poortmans et al. (2005) und Kim et al. (2006) können mit Hilfe einer Querschnittsanalyse ein sehr hohes Muskelwachstum im Altersbereich von 15 bis 16 Jahren andeuten, das bis zum Alter eines Erwachsenen nicht mehr in hohem Maße zunimmt. Eine Untersuchung von Neu et al. (2002) zeigt ebenfalls, dass das Muskeldickenwachstum am Unterarm die höchste Entwicklungsrate im Altersbereich zwischen 15 und 16 Jahren hat. Hingegen zeigt eine Querschnittsuntersuchung von Ruff (2003), dass die höchste Wachstumsrate des Muskelumfangs noch vor dem 15. Lebensjahr erreicht wird. Allerdings stammen die Daten aus der Zeit von 1941 bis 1967, in der die Ernährungssituation nicht mit der heutigen gleichgesetzt werden kann. Demnach ist möglicherweise die Ernährungssituation und damit

verbunden ein unterschiedlicher Entwicklungsstand für die differierenden Angaben verantwortlich. Neben der Muskelmasse steigt in diesem Alter auch die Knochendichte in einem höheren Maße an (vgl. Lohman 1989). Es kann gezeigt werden, dass die Knochendichte mit dem Muskelwachstum einhergeht. Auch Schoenau et al. (2000) zeigen, dass eine hohe Korrelation zwischen der Muskelmasse und der vorherrschenden Knochenmasse besteht. Diese beiden Faktoren sind damit entscheidend für die Zunahme des Körpergewichts im Altersbereich der B-Junioren. Zusätzlich unterstützt Fußballspielen mit den erhöhten Belastungen auf den aktiven und passiven Bewegungsapparat diesen Prozess (vgl. Daly et al. 2004). Für den A-Juniorenbereich zeigt sich ebenfalls, wenn auch geringer als für die anderen beiden Altersklassen, eine signifikante Steigerung des Körpergewichts über zwei Jahre, die die Angaben aus der Literatur übertrifft (vgl. Brandt & Reinken 1988). Dieses Ergebnis ist unter der Betrachtung der Körpergrößenzunahme der KTG und CG auf wachstumsbedingte Prozesse zurückzuführen. Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Sportart Fußball durch das vorhandene Belastungsschema auf den aktiven und passiven Bewegungsapparat zu einer zusätzlichen Muskelzunahme und Knochendichte führt. Die Gewichtssteigerung wird aufgrund des hohen Trainingsumfangs nicht einem gesteigerten Körperfettanteil zugeschrieben, auch wenn dies nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, da der Körperfettanteil nicht gemessen worden ist. Allerdings bestätigen Gorostiaga et al. (1999) in ihrer Untersuchung, dass es zu keiner Steigerung des Körperfettanteils bei Jugendlichen aus dem Handball kommt. Hetzler et al. (1997) zeigen sogar Reduktionen des Körperfettanteils nach zwölf Wochen Krafttrainingsintervention bei jugendlichen Baseballspielern. Auch Lillegard et al. (1997) zeigen nach einem Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen einen reduzierten Körperfettanteil nach zwölf Wochen. Vanttinen et al. (2011) zeigen ebenfalls bei jugendlichen Fußballspielern eine stetige Reduktion des Körperfettanteils im Altersverlauf. Bestätigt werden die Ergebnisse auch durch die Untersuchung von Takai et al. (2013), in der sportlich aktive Jugendliche im Durchschnittsalter von 13,7 Jahren sowohl mit als auch ohne Krafttraining nach acht Wochen eine Zunahme des Muskelvolumens, jedoch nicht dem Körperfettanteil aufweisen. Für die Schüler zeigt sich im Altersbereich der A-Junioren mit 3kg ebenfalls eine zusätzliche Erhöhung des Körpergewichts, wobei hier von einer Zunahme des Körperfettanteils ausgegangen werden muss, da es kaum zu Veränderungen der Körpergröße kommt und die Schüler sportlich nur sehr wenig aktiv bzw. inaktiv sind.

Im Gruppenvergleich bezogen auf die Entwicklung des Körpergewichts zeigt sich in zwei von drei Altersklassen ein signifikanter Unterschied. Allerdings ist die Richtung des Unterschieds zu Gunsten der CG nicht zu erwarten gewesen. Die Annahme, ein zweijähriges Krafttraining führt im Juniorealter zu einem höheren Muskelwachstum als ein reines Fußballtraining muss daher verworfen werden. Für den C-Juniorenbereich ist eine signifikant höhere Gewichtssteigerung zwischen allen Messzeitpunkten gegenüber der KTG zu verzeichnen. Diesem Verlauf unterliegen wahrscheinlich mehrere Faktoren. Im Messzeitpunkt T1 zeigt sich zwar kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen, was allerdings der hohen Standardabweichung bei der KTG geschuldet ist. Ein durchschnittlich höheres Körpergewicht von 3kg der KTG gegenüber der CG ist demnach statistisch nicht signifikant, aber eine deutliche Tendenz. Weiterhin zeigt sich bei der CG im Vergleich zur KTG im Körperlängenwachstum eine höhere Entwicklungsrate. Daraus resultiert zwangsläufig eine höhere Gewichtszunahme (vgl. Hetzler et al. 1997). Hinzu kommt, dass die CG im Messzeitpunkt T3 durchschnittlich etwa 2kg schwerer ist als die KTG, was ebenfalls auf die höhere Körpergröße von etwa 3cm in T3 zurückzuführen ist. Eine erhöhte Zunahme des Körperfettanteils bei der CG ist aufgrund des hohen Trainingsumfangs eher auszuschließen. Weiterhin sind eventuelle Hypertrophieeffekte der KTG durch wachstumsbedingte Entwicklungen der CG überkompensiert worden. Eine endgültige Aufklärung für dieses Ergebnis kann aufgrund fehlender physiologischer Messungen jedoch nicht gegeben werden.

Für den B-Juniorenbereich wird ebenfalls ein Gruppenunterschied in der Entwicklung des Körpergewichts zwischen den Messzeitpunkten T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 ermittelt. Auch hier ist der erwartete signifikante Unterschied eingetroffen, allerdings nicht zu Gunsten der KTG. Dieses Ergebnis resultiert unter anderem aus dem signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen in T1, in dem die KTG durchschnittlich etwa 5kg schwerer ist als die CG. Der praxisrelevante Effekt liegt bei  $d = 0,4$  und kann demnach als mittel eingestuft werden. Begründet liegt dieser Unterschied möglicherweise im Entwicklungsstand des biologischen Alters der beiden Gruppen. Da der Verlauf der Körpergrößenentwicklung zwischen den beiden Gruppen nahezu identisch ist mit dem der Körpergewichtsentwicklung, muss die Gewichtssteigerung größtenteils auf das Körperlängenwachstum und aufgrund des Alters auch auf das Breitenwachstum zurückgeführt werden (Tab. 31). Damit sind die prozentualen Steigerungen in Körpergewicht und Körpergröße nach zwei Jahren für die CG um 50% bis 60% höher als die der KTG.



Tabelle 31: Prozentuale Steigerungen der Körpergröße und des Körpergewichts der jugendlichen Fußballspieler im B-Juniorenbereich über die beiden Jahre

Parameter/Zeitpunkt		KTG	CG
<b>Körpergröße</b>	T1/T2	1,62	2,46
	T2/T3	1,26	1,72
	T1/T3	2,90	4,23
<b>Körpergewicht</b>	T1/T2	6,01	10,88
	T2/T3	4,62	6,54
	T1/T3	10,91	18,13
KTG = Krafttrainingsgruppe; CG = Kontrollgruppe; T1 – T3 = Testzeitpunkt 1 – 3			

Für die A-Junioren wird kein signifikanter Unterschied in der Entwicklung des Körpergewichts festgestellt. Auch dieses Resultat ist in dieser Form nicht zu erwarten gewesen, da davon ausgegangen werden muss, dass durch das Krafttraining ähnlich wie bei den beiden anderen Altersklassen ein Muskelzuwachs zu Körpergewichtssteigerungen führt. Die CG erzielt hier jedoch ebenfalls prozentual höhere Steigerungsraten, obwohl diese nicht zu einem signifikanten Gruppenunterschied führen. Bei einem Vergleich dieses Verlaufs mit denen der beiden anderen Altersklassen ist möglicherweise die gleiche Körpergrößenentwicklung der KTG und CG für dieses Ergebnis verantwortlich.

Für alle Altersklassen erscheint es dennoch un schlüssig, warum das Krafttraining durch den erwarteten höheren Muskelzuwachs bei der KTG im Vergleich zur CG nicht zu einer höheren Körpergewichtszunahme geführt hat. In der Literatur wird klar darauf verwiesen, dass ein Krafttraining über einen längeren Zeitraum (mehr als drei Monate) zu einem Muskelzuwachs führt (vgl. Baechle & Earle 2000). Dies zeigen Fukunaga, Funato & Ikegawa (1992) bereits bei elfjährigen Kindern mit einem isometrischen Hypertrophietraining. Da das Hypertrophietraining in dieser Untersuchung 12 bis 16 Wochen pro Halbjahr durchgeführt worden ist, kann von einem zu geringen Trainingsreiz nicht ausgegangen werden. Auch die Wiederholungszahlen sind identisch zu denen, die in der Literatur zu nachgewiesenen Hypertrophieeffekten führen (vgl. Aagaard et al. 2001; Andersen et al. 2005; Bührle 1985; Conley et al. 1997; Goto et al. 2005; Seynnes, De Boer & Narici 2007; Shepstone et al. 2005; Wirth 2007; Wirth & Schmidtbleicher 2007). Möglicherweise ist das Krafttraining, das nicht bis zum Muskelversagen durchgeführt worden ist, nicht effektiv genug, um einen überzufälligen Effekt auszulösen, da eine entsprechende Energieausschöpfung für einen Hypertrophieeffekt notwendig ist (vgl. Goto et al. 2005; Schott, McCully & Rutherford 1995). Allerdings zeigen Gorostiaga et al. (1999) bei 15-jährigen Handballspielern schon nach einem sechswöchigen Krafttraining, bei dem nicht bis zur Erschöpfung der Muskulatur trainiert worden ist, eine Steigerung des Oberarmumfangs. Auch bei Hetzler et al. (1997) führt ein

zwölfwöchiges Krafttraining bei 14-jährigen Baseballspielern mit Krafttrainingserfahrung zu eine Erhöhung des Muskelumfangs. Christou et al. (2006) zeigen allerdings, dass bei 14-jährigen Fußballspielern nach 16 Wochen Krafttrainingsintervention mit großen Hypertrophieblöcken kein Unterschied im Muskelumfang und Körpergewicht zu denjenigen entsteht, die nur das reguläre Fußballtraining absolvieren. Ein Ansatz für dieses Ergebnis wäre der mögliche kontraproduktive Effekt des Fußballtrainings. Die Trainingsinhalte und die sich daraus ergebende Stoffwechsellage sind eher katabol und demnach gegensätzlich zum anabolen Stoffwechsel des Krafttrainings, der für das Muskelwachstum benötigt wird. Hier zeigen Gorostiaga et al. (1999), dass es durch ein Krafttraining über sechs Wochen nicht zu einer Steigerung der Wachstumshormonkonzentration kommt. Demnach ist ein hoher anaboler Effekt in einer Spielsportart durch ein Krafttraining als unwahrscheinlich zu sehen, da die weiteren Trainingsinhalte der Sportart unter katabolen Bedingungen verlaufen und möglicherweise die anabolen Effekte des Krafttrainings überlagern. Auch Eliakim et al. (1998) zeigen bei Jugendlichen mit einem Training bei 90% Ausdauerbelastung und 10% Kraftbelastung, dass es zu einer Reduktion des Wachstumshormons IGF-1 sowie des Proteins IGFBP-3 bei gleichzeitiger Erhöhung des IGFBP-2 kommt, was einen Indikator für eine Reduktion von Wachstumshormonen der IGF-1 Achse darstellt (vgl. Frystyk 2010). Die Hormone GH und Testosteron bleiben nach der Intervention unverändert. Dies deutet darauf hin, dass der katabole Effekt bei gleichzeitigen Ausdauerbelastungen und Kraftbelastungen überwiegt (vgl. Bell et al. 1997). Dennoch stellen Eliakim et al. (1998) Gewichtssteigerungen und Muskelvolumenerhöhungen fest, ähnlich den Ergebnissen in dieser Untersuchung. Es wird darauf verwiesen, dass es im Mittel zu einer Reduktion der Wachstumshormone kommt, jedoch die ausgeschütteten Wachstumshormone in kurzen Phasen der Regeneration den üblichen Konzentrationsgehalt übersteigen (vgl. Frystyk 2010). Dies könnte der Grund für das ermittelte Muskelwachstum sein. Weiterhin ist es möglich, dass es allein durch das Fußballspielen aufgrund der hohen Belastungen zu einem erhöhten Muskelkorsett und damit verbunden einer Gewichtssteigerung kommt, und demnach ein zusätzlicher Effekt des Krafttrainings kompensiert wird. Auch Farup et al. (2012) zeigen nach einem zwölfwöchigen Ausdauertraining Tendenzen des Muskelzuwachses und Kraftsteigerungen im 1RM der Beinpresse bei untrainierten jungen Männern, obwohl ein Ausdauertraining nicht auf das Ziel eines Muskelzuwachses bzw. Kraftzuwachses gerichtet ist. Demnach führt ein Fußballtraining über mehrere Jahre offensichtlich ebenfalls zu einem erhöhten Muskelkorsett und damit zu Steigerungen des Körpergewichts.

Zusammenfassend wird in den Altersklassen C-, B- und A-Junioren von einem entwicklungsbedingten Knochen- und Muskelwachstum über die beiden Jahre des Untersuchungszeitraums ausgegangen (vgl. Vääntinen et al. 2011). Es wird weiter festgehalten, dass ein Krafttraining bei leistungssportorientierten Fußballspielern keinen zusätzlichen Effekt auf das Körpergewicht ausübt (vgl. Takai et al. 2013). Ob dies in Anpassungen der hohen Belastungen, die im Fußball gerade auf einem Kunstrasenplatz vorherrschen, begründet liegt und demnach schon ein hohes muskuläres Potential aufgebaut wird, muss in weiteren Forschungsvorhaben geklärt werden.

### **5.3 Effekte des Krafttrainings auf die Maximalkraft**

Die ermittelten Ergebnisse bezüglich der Maximalkraft im 1RM der beiden Kniebeugevarianten zeigen auf dem Messwiederholungsfaktor für alle Altersklassen der KTG das gleiche Ergebnis. Zwischen allen Messzeitpunkten wird eine signifikante Steigerung der 1RM Werte beobachtet. Aufgrund der langen Interventionsdauer von einem bzw. zwei Jahren sind Steigerungen zu erwarten gewesen. Die prozentualen Leistungssteigerungen von bis zu 280% nach zwei Jahren liegen jedoch weit über den Erwartungen (siehe Tab. 32). In der Literatur werden prozentuale Steigerungen von bis zu 75% bei Kindern nach acht Wochen Krafttrainingsintervention angegeben (vgl. Faigenbaum et al. 1993). Die häufigsten Angaben von Maximalkraftsteigerungen durch Krafttrainingsinterventionen für die unteren Extremitäten liegen jedoch bei etwa 20% bis 30% (vgl. Chelly et al. 2009; Hartmann et al. 2012; Hoffman & Kang 2003; Ronnestad et al. 2008). Einzelne Untersuchungen zeigen auch Maximalkraftsteigerungen von etwa 42% (vgl. Hetzler et al. 1997). Blimkie (1992) verweist in einem Übersichtsartikel auf Steigerungen der Maximalkraft von etwa 52% nach einer Krafttrainingsintervention. Diese geringeren Steigerungsraten im Vergleich zu dieser Untersuchung resultieren aus den kürzeren Interventionsdauern von meist 8 bis 16 Wochen. Somit ist allein das erste Jahr dieser Untersuchung ausreichend, um die Angaben der Literatur zu übertreffen.

Tabelle 32: Prozentuale Steigerungen der 1RM-Werte in den beiden Kniebeugevarianten für alle Altersklassen der KTG

Altersklassen	Testzeitpunkt	Frontkniebeuge (%)	Nackenkniebeuge (%)
<b>A-Junioren</b>	T1/T2	76,31	84,87
	T2/T3	13,02	9,54
	T1/T3	99,25	102,52
<b>B-Junioren</b>	T1/T2	76,29	81,57
	T2/T3	18,95	18,71
	T1/T3	109,70	115,55
<b>C-Junioren</b>	T1/T2	100,47	94,4
	T2/T3	89,74	85,18
	T1/T3	280,37	260

T1-T3 = Messzeitpunkt 1-3; KTG = Krafttrainingsgruppe; 1RM = Einer-Wiederholungs-Maximum

Die Steigerungen der 1RM Werte sind in allen Altersklassen im ersten Jahr höher als im zweiten Jahr. Dies entspricht den Erwartungen, da es sich bei den Fußballspielern um krafttrainingsunerfahrene Jugendliche handelt, die einen mäßigen Krafttrainingszustand in T1 aufzeigen. Zurückzuführen ist dies primär auf Anpassungen der intermuskulären und intramuskulären Koordination in den ersten Wochen (vgl. Andersen et al. 2005; Gabriel, Kamen & Frost 2006; Häkkinen et al. 2003) und resultiert aus einem Lerneffekt in der durchgeführten Trainingsübung, die als Testübung angewandt worden ist (vgl. Jones, Rutherford & Parker 1989). Weiterhin ist von einer höheren Anzahl aktivierter Motoneuronen auszugehen, die zusätzliche Muskelfasern rekrutieren (vgl. Jones, Rutherford & Parker 1989). Demnach sollten die neuronalen Anpassungen in den ersten Wochen und Monaten überwiegen. Auch Häkkinen et al. (2001) zeigen mit krafttrainingsunerfahrenen Probanden Steigerungen der Maximalkraft durch primär neuronale Anpassungen. Faude et al. (2013) stellen bei Amateurspielern im Fußball ebenfalls Steigerungen der Kraftwerte in der Halbkniebeuge nach sieben Wochen Krafttrainingsintervention fest, die auf neuronale Anpassungen zurückzuführen sind. Die zum Krafttraining in Konkurrenz stehenden Ausdauerbelastungen des Fußballspielens beeinflussen nach Häkkinen et al. (2003) die Anpassungen im neuronalen Bereich nur geringfügig. Hier zeigen sich keine negativen Anpassungsprozesse für die Maximalkraft, jedoch für die Explosivkraft. Ähnliche Ergebnisse bezüglich der Maximalkraft geben auch Teng et al. (2008) mit 13- bis 16-jährigen Taekwondo Sportlern an, die neben dem Krafttraining das reguläre Training absolvieren. Sie ermitteln Steigerungen der Maximalkraft nach einer Krafttrainingsintervention von sechs Wochen. Ausgehend von der Annahme, dass nach sechs Wochen Krafttraining keine signifikanten Hypertrophieeffekte erzeugt werden, sollte dies eine Bestätigung für neuronale Anpassungen

sein. Bei Häkkinen et al. (2001) zeigen sich weiterhin Anpassungen im Muskeldickenwachstum nach einer 21-wöchigen Krafttrainingsintervention. Allgemein wird davon ausgegangen, dass ein Muskeldickenwachstum durch Krafttraining nach zwölf Wochen nachweisbar ist (vgl. Jones, Rutherford & Parker 1989). Dies zeigen auch Lillegard et al. (1997) nach einem zwölfwöchigen Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen. Dieser Effekt des Muskeldickenwachstums ist nach zwei Jahren Krafttrainingsintervention für alle Altersklassen der KTG ebenfalls als Anpassungsfaktor für die Maximalkraftsteigerung zu sehen. Einen Muskelzuwachs geben ebenfalls Häkkinen et al. (2003) nach einem Krafttraining von 21 Wochen an. Auch ein Krafttraining kombiniert mit einem Ausdauertraining zeigt diesen Effekt. Ebenfalls können Häkkinen et al. (2003) beobachten, dass es zwischen einem Krafttraining und einem Krafttraining kombiniert mit einem Ausdauertraining zu keinen Unterschieden bezüglich der Verschiebung des Muskelfaseranteils kommt. Auch in der Veränderung des jeweiligen Muskelfaservolumens finden sich keine Unterschiede zwischen den beiden Interventionen. Demnach ist bei den Fußballspielern der KTG ebenfalls davon auszugehen, dass die morphologischen Anpassungseffekte durch das Fußballspielen mit dem hohen Anteil an Ausdauerbelastungen nicht negativ beeinflusst werden. Im C-Juniorenbereich zeigen sich weiterhin höhere Steigerungen der Maximalkraftwerte im Vergleich zu den anderen beiden Jahrgängen. Dies ist möglicherweise auf wachstumsbedingte Faktoren zurückzuführen. Die C-Junioren der KTG weisen das größte Längenwachstum innerhalb der zwei Jahre auf. Almuzaini (2007) zeigt bei Kindern und Jugendlichen einen mittleren bis hohen Einfluss der Körpergröße auf Kraftparameter. Das Knochenlängenwachstum führt dazu, dass auch die Sehnen- und Muskelstrukturen zu Längen Anpassungen gezwungen werden (vgl. DeSteCroix, Deighan & Armstrong 2003). Vääntinen et al. (2011) zeigen, dass im Altersbereich der C-Junioren entwicklungsbedingt die höchsten Kraft- und Muskelzuwachsraten entstehen. Diese hängen in hohem Maße mit dem Körperlängenwachstum zusammen. Der maximale Testosteronschub wird nach Vääntinen et al. (2011) erst bei einem Alter von 15 bis 16 Jahren angegeben. Demnach werden die höchsten Kraft- und Muskelwachstumsraten erzeugt bevor das Testosteron in seiner maximalen Steigung liegt. Allerdings zeigt sich auch, dass der Kraftzuwachs ab dem Alter von 15 bis 16 Jahren konstant bis zum Altersbereich von 17 Jahren relativ niedrig bleibt. DeSteCroix (2007) geht davon aus, dass anthropometrische Parameter wie Körpergröße und Körpergewicht sowie Alter und Geschlecht eine Varianzaufklärung von etwa 40% bis 70% für die Maximalkraftwerte beinhalten. Demnach

kann angenommen werden, dass auch die Körpergrößenentwicklung bei den C-Junioren für die hohen prozentualen Steigerungen im 1RM im ersten und zweiten Jahr verantwortlich ist.

Ein weiterer Grund für die hohen Entwicklungsraten aller Altersklassen der KTG über die beiden Jahre sind die niedrigen 1RM Werte zu Beginn der Untersuchung. Hier ist klar zu erkennen, dass meist nicht das Versagen der Beinmuskulatur zum Abbruch in den Testphasen geführt hat, sondern das Nachgeben der Rückenmuskulatur im Lenden- oder Brustwirbelbereich. Weiterhin sind oft Ausweichbewegungen zu erkennen gewesen, die vom Testkriterium der technisch sauberen Durchführung der Kniebeuge abgewichen sind. Demnach sind zu Beginn der Untersuchung eher geringere 1RM Werte erzielt worden. Durch das Krafttraining über die beiden Jahre können die Schwächen der Rückenmuskulatur, die zu Beginn der Untersuchung noch zum Abbruch führen, behoben werden. In T3 sind alle Fußballspieler der KTG in der Lage, hohe Gewichte mit der Rumpfmuskulatur zu halten, sodass letztlich meist das Versagen der Beinmuskulatur zum Abbruch führt.

Die CG zeigt auf dem Messwiederholungsfaktor ebenfalls über alle Altersklassen eine Steigerung des 1RM in den beiden Kniebeugevarianten. Die Steigerungen ergeben sich jedoch nur aus dem ersten Jahr der Untersuchung. Im zweiten Jahr werden keine weiteren Steigerungen in allen Altersklassen ermittelt. Der Grund hierfür liegt wie bei der KTG schon angedeutet in den zu Beginn der Untersuchung niedrigen Maximalkraftwerten. Während der Testungen in T1 ist meist das Nachgeben der Rückenmuskulatur im Lendenwirbel- oder Brustwirbelbereich leistungslimitierend. Weiterhin sind oft Ausweichbewegungen zu erkennen gewesen, die vom Testkriterium der technisch sauberen Durchführung der Kniebeuge abgewichen sind. Dies führt dazu, dass bedingt durch einen Lerneffekt in T2 weitaus höhere Werte erzielt werden als in T1. Im zweiten Jahr ist ein weiterer Lerneffekt eher ausgeschlossen, da die CG die Übung Kniebeuge nur in den Testphasen und jeweils zweiwöchig vorgeschaltet zu den Testphasen absolviert hat, und durch die geringen Umfänge ein weiterer Effekt auf neuromuskulärer Ebene unwahrscheinlich ist, obwohl davon ausgegangen werden muss, dass die neuromuskulären Strukturen sich durch die Pubertät weiterentwickeln und höhere Kraftwerte erzeugt werden (vgl. Belanger & McComas 1989). In T3 zeigt sich eindeutig eine Limitation der Kraft der Bein- und Rückenmuskulatur in vielen Fällen als Abbruchkriterium für das Testgewicht. Demnach ist festzuhalten, dass eher ein Lerneffekt als ein entwicklungsbedingter Faktor bei der CG für die Ergebnisse in allen Altersklassen verantwortlich ist (vgl. Jones, Rutherford & Parker 1989). Dies erklärt letztlich,

dass es zwischen T2 und T3 nicht mehr zu einer Steigerung im 1RM der Kniebeuge kommt, obwohl die C- und B-Junioren hohe wachstumsbedingte Veränderungen aufweisen. Aus diesen Ergebnissen ist daher zu folgern, dass in zukünftigen Untersuchungen längere Vorlaufzeiten als die gewählten zwei Wochen für das Erlernen solcher koordinativ anspruchsvollen Übungen wie die Kniebeuge gewählt werden, um den ermittelten Nebeneffekt dieser Untersuchung weitgehend zu verhindern.

Für die Entwicklung der Maximalkraft in der Front- und Nackenkniebeuge zeigt sich über die beiden Jahre in allen Altersklassen ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen in T1 und T2, T2 und T3 sowie T1 und T3. Dieser Unterschied in der Entwicklung des 1RM entspricht der Erwartung, da die KTG mit dem Krafttraining zusätzlich zum Fußballtraining auf eine Steigerung im 1RM zielt. Weiterhin kommt es durch das zusätzliche Krafttraining zu einem höheren Trainingsumfang pro Woche gegenüber der CG, die nur das reguläre Fußballtraining durchführt. Zahlreiche Interventionsstudien im Kraftbereich, die mit einer Kontrollgruppe ohne Alternativtraining zur Interventionsgruppe arbeiten, bestätigen diese Ergebnisse (vgl. u.a. Abe et al. 2000; Harber et al. 2004; Kyröläinen et al. 2005; MacDougall et al. 1980). Festzuhalten ist, dass ein periodisiertes Krafttraining über einen Zeitraum von zwei Jahren bei Fußballspielern einen positiven Effekt auf die Entwicklung der Maximalkraft hat und einem reinen Fußballtraining überlegen ist. In anderen Sportarten wie dem American Football kann ein geeignetes Krafttraining innerhalb der Saison ebenfalls zu Steigerungen im 1RM führen (vgl. Hoffman & Kang 2003). Ein solches sollte langfristig über mehrere Jahre durchgeführt werden, da trainierte Athleten nachweislich Steigerungen in der Maximalkraft erreichen können (vgl. Alcaez, Elvira & Palao 2012). Demnach ist eine Ausschöpfung von Leistungsreserven in diesem Bereich erst nach vielen Jahren zu erwarten. Dennoch ist auch darauf zu verweisen, dass es früher zu einer Ausschöpfung von Leistungsreserven im Bereich der Maximalkraft kommen kann. Dies zeigen Häkkinen et al. (1988) bei Gewichthebern. Hier werden nach zwei Jahren Krafttraining kaum Anpassungen im neuronalen Bereich und nur sehr geringe Anpassungen im morphologischen Bereich erzielt. Daraus müssen schließlich entsprechende trainingsinhaltliche Konsequenzen gezogen werden. Auch beschäftigt die Wissenschaft immer noch die bisher ungeklärte Frage, wie hoch die Maximalkraftausprägung für Fußballspieler sein muss. Nach aktueller Meinung gilt es, die Maximalkraft nicht maximal, sondern optimal auszuprägen. Dieser Aspekt ist gerade aus verletzungspräventiver Sicht ein wichtiger Faktor (vgl. Hewett, Myer & Ford 2005).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass im Jugend- und Juniorenbereich die Anpassungsmöglichkeiten der Maximalkraft über einen längeren Zeitraum zunächst als sehr hoch einzuschätzen sind (vgl. Faigenbaum et al. 2009). Dies zeigen auch Lillegard et al. (1997), die mit Kindern und Jugendlichen über zwölf Wochen mit unterschiedlichen Krafttrainingsübungen für den gesamten Körper Maximalkraftsteigerungen erzielen. Weiterhin ist festzuhalten, dass die tiefe Kniebeuge mit der Langhantel eine geeignete Übung für die Steigerung der Maximalkraft darstellt (vgl. auch Otto III et al. 2012). Demnach ist es möglich, mit nur einer komplexen Krafttrainingsübung pro TE für die unteren Extremitäten bei jugendlichen Fußballspielern über einen längeren Zeitraum entsprechende positive Effekte zu erzielen.

### **5.4 Effekte des Krafttrainings auf den Linearsprint**

#### 5.4.1 Zusammenhang der Teilstrecken über 30 Meter

Die Korrelationsanalyse innerhalb der Teilstrecken des Linearsprints zu der 5m Sprintleistung führt zu signifikanten hohen Zusammenhängen. Demnach ist eine gute 5m Sprintleistung die Grundlage für gute Sprintleistungen über die weiteren Teilabschnitte innerhalb der Beschleunigungsphase über 30m. Dies bestätigt die Annahme, dass die ersten Schritte in einem Sprint für weitere Leistungen im Sprintverlauf entscheidend sind (vgl. Little & Williams 2005; Schiffer 2009). Cronin & Hansen (2005) ermitteln nahezu identische Ergebnisse in einer Untersuchung. Hier zeigen sich sehr hohe Zusammenhänge zwischen 5m und 10m ( $r = .92$ ), die mit den weiteren Streckenabschnitten bis 30m stetig leicht fallen, sodass bei 30m noch Zusammenhänge von  $r = .78$  beobachtet werden (vgl. Berthoin et al. 2001). Auch Nesser et al. (1996) weisen hohe Zusammenhänge zwischen 10m und 40m innerhalb eines Sprints nach ( $r = .86$ ). Rehhagel (2011) ermittelt in einer Untersuchung mit Profifußballspielern zwischen den Sprintstrecken 10m und 20m, 10m und 30m sowie zwischen 20m und 30m ebenfalls hohe Korrelationen von  $r = .84$  bis  $.93$  (vgl. auch Brechue, Mayhew & Piper 2010). Entsprechend der in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnisse nimmt die Bedeutung der ersten Schritte in der Beschleunigungsphase des Sprints zu. Dies gilt anhand dieser Untersuchung zunächst für den Bereich des Nachwuchsfußballs, obwohl die Untersuchungslage mit den ermittelten Ergebnissen einhergeht.



### 5.4.2 C-Junioren

Auf dem Messwiederholungsfaktor ergibt sich für die KTG im C-Juniorenbereich für alle Teilstrecken zwischen allen Messzeitpunkten eine positive Entwicklung der Sprintleistung, mit Ausnahme der 5m Sprintleistung zwischen T1 und T2. Dies lässt sich möglicherweise anhand eines Reißfehlers der Lichtschranke bei einigen Athleten begründen, da alle weiteren Zeiten zwischen allen Messzeitpunkten ein deutlich signifikantes Ergebnis zeigen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Christou et al. (2006) und Wong et al. (2010) bei Fußballspielern im gleichen Altersbereich. Auch hier werden durch ein Krafttraining mit translatorischen Übungen (Beinpresse, Kniebeuge, Umsetzen) positive Leistungsentwicklungen beobachtet. Der Interventionszeitraum ist jedoch wesentlich geringer als in dieser Untersuchung. Als wesentliche Begründung für die höheren prozentualen Steigerungen der Sprintleistungen der KTG (5m = 5,5%; 10m = 5,7%; 15m = 5,3%; 20m = 5,7%; 25m = 6%; 30m = 6,2%) gegenüber den Angaben von Christou et al. (2006) und Wong et al. (2010) ist der Interventionszeitraum von zwei Jahren zu sehen, der mindestens eineinhalb Jahre länger dauert als in den beiden angegebenen Untersuchungen. Die Anpassungen sind aufgrund des Interventionszeitraums sowohl auf neuronaler als auch auf morphologischer Ebene zurückzuführen. Ein Krafttraining in diesem Altersbereich mit dem Ziel einer Leistungssteigerung im Sprint kann demnach für Fußballspieler als äußerst sinnvoll erachtet werden.

Für die CG zeigt sich auf dem Messwiederholungsfaktor ebenfalls eine signifikante Steigerung der Sprintleistung. Diese Steigerung resultiert aus den ermittelten Daten zwischen T1 und T2 auf allen Teilstrecken außer der Teilstrecke 5m. Im Bereich 5m kommt es zu keinem Zeitpunkt zu signifikanten Veränderungen. Zwischen T2 und T3 zeigt sich eine leichte Stagnation der Sprintleistungen auf den ersten 10m, die ohne statistische Relevanz bleibt. Alle weiteren Distanzen bis 25m zeigen leichte Verbesserungen zwischen T2 und T3, die ebenfalls ohne statistische Relevanz bleiben. Ausschließlich bei 30m kommt es zu einem signifikanten Unterschied zwischen T2 und T3. Für alle Teilstrecken außer der 5m Teilstrecke wird in T3 ein noch signifikant besserer Wert zum Ausgangsniveau ermittelt. Diese Ergebnisse zeigen auf den ersten Blick, dass Fußballspieler im C-Juniorenbereich auch ohne Krafttraining Steigerungen in der Sprintleistung erwirken können. Christou et al. (2006) erfassen hingegen keine Steigerungen der Sprintleistungen nach 16 Wochen Fußballtraining. Unter dem Aspekt des langen Interventionszeitraums dieser Untersuchung gibt es zwei naheliegende Begründungen für die Ergebnisse der CG auf dem Messwiederholungsfaktor.

Eine Möglichkeit der Leistungssteigerung in diesem Altersbereich kann durch die entwicklungsbedingte Körpergrößenveränderung gegeben sein, da die CG im C-Juniorenbereich eine hohe Wachstumsrate der Körpergröße und des Körpergewichts über beide Jahre aufweist (vgl. Chatzilazaridis, Panoutsakopoulos & Papaiakevou 2012). Neben der CG zeigen die Querschnittsdaten der untrainierten Schüler in diesem Altersbereich ebenfalls hohe Leistungssteigerungen über zwei Jahre. Vääntinen et al. (2011) beobachten bei Jugendlichen im Alter von 13 bis 14 Jahren die höchsten Schnellkeitszuwächse im Sprint und begründen sie ebenfalls über entwicklungsbedingte Faktoren. Eine erhöhte Körpergröße führt zwangsläufig zu einer erhöhten Beinlänge, die sowohl die Schrittlänge als auch die Schrittfrequenz positiv beeinflusst (vgl. Schiffer 2009). Dadurch kann eine höhere Geschwindigkeit generiert werden. Je größer der zurückgelegte Streckenabschnitt bei einem Sprint wird, desto höher wird der Einfluss der Lauftechnik (vgl. Schiffer 2009). Einflussfaktoren wie die Schrittlänge und die Schrittfrequenz spielen dabei eine große Rolle. Damit wäre eine Begründung für die verbesserte Leistung auf der 30m Teilstrecke über alle Messzeitpunkte gegeben. Weiterhin würde dies auch eine Begründung für die nicht vorhandenen Leistungssteigerungen auf die ersten Meter erklären. Gerade die ersten 10m des Sprints sind durch das Schnell- und Maximalkraftniveau stark leistungslimitiert (vgl. Slawinski et al. 2010; Young et al. 2001). Die Schnellkraft verändert sich durch entwicklungsbedingte Faktoren nicht zwangsläufig in dem Ausmaß, um für den Sprint über 10m relevante Veränderungen zu erzwingen. Eine weitere Begründung für die positive Leistungsentwicklung der CG im Linearsprint über 30m sind das Training und Spielen beim Fußball. Da das Anforderungsprofil des Fußballs viele Sprints aufweist, werden diese im Training in einer gewissen Häufigkeit durchgeführt (vgl. Rehhagel 2011). Unter der Betrachtung der in Tab. 33 dargestellten Linearsprintwerte für den Altersbereich U13 und U15 der Schüler bzw. T1 und T3 der CG zeigt sich ein höherer Leistungsstand der Fußballspieler über alle Teilstrecken, der diesen Ansatz bestätigt. Allerdings zeigen die prozentualen Leistungssteigerungen im Altersverlauf über zwei Jahre, dass die Schüler zum Teil doppelt so hohe Steigerungsraten aufweisen als die CG (siehe Abb. 44). Auch Vääntinen et al. (2011) können in ihrer Untersuchung bei jugendlichen Fußballspielern im C-Juniorenalter keine höheren Leistungssteigerungen im Sprint gegenüber Schülern feststellen. Demnach ist davon auszugehen, dass Fußballspieler einen höheren Leistungsstand im Sprint in den jeweiligen Altersbereichen aufweisen, was entweder durch die sportliche Ausübung in den Jahren davor oder naheliegender durch selektive Sichtungmaßnahmen zu begründen ist. Weiter kann durch den Vergleich zwischen der CG und den untrainierten Schülern auch

gezeigt werden, dass die Ausübung von Fußball im C-Juniorenbereich nicht zwangsläufig zu Leistungssteigerungen im Sprint führt, sondern eher entwicklungsbedingte Faktoren eine Rolle spielen. Hingegen zeigen Gravina et al. (2008) bei 10- bis 14-jährigen Fußballspielern, die in Reservisten und Spieler der ersten Elf unterteilt werden, bereits nach sechs Monaten Unterschiede in der Entwicklung der 30m Sprintleistung. Dies verhält sich konträr zu den hier ermittelten Ergebnissen gerade vor dem Hintergrund, dass in der Untersuchung mit den jungen Fußballspielern auch die Reservisten am regelmäßigen Training teilgenommen haben. Allerdings handelt es sich bei der Untersuchung von Gravina et al. (2008) um eine leistungsstarke Gruppe, in der kleine Unterschiede in der sportlichen Aktivität größere Auswirkungen haben können.

Tabelle 33: Darstellender Vergleich der Linearsprintwerte zwischen CG und Schülern im Altersbereich der C-Junioren

Sprintstrecke/Gruppe	CG (T1)	Schüler (U13)
<b>10m</b>	1,912	2,079
<b>20m</b>	3,360	3,719
<b>30m</b>	4,746	5,398

m = Meter; CG = Kontrollgruppe; T1 = Messzeitpunkt 1; U13 = 12 Jahre alt

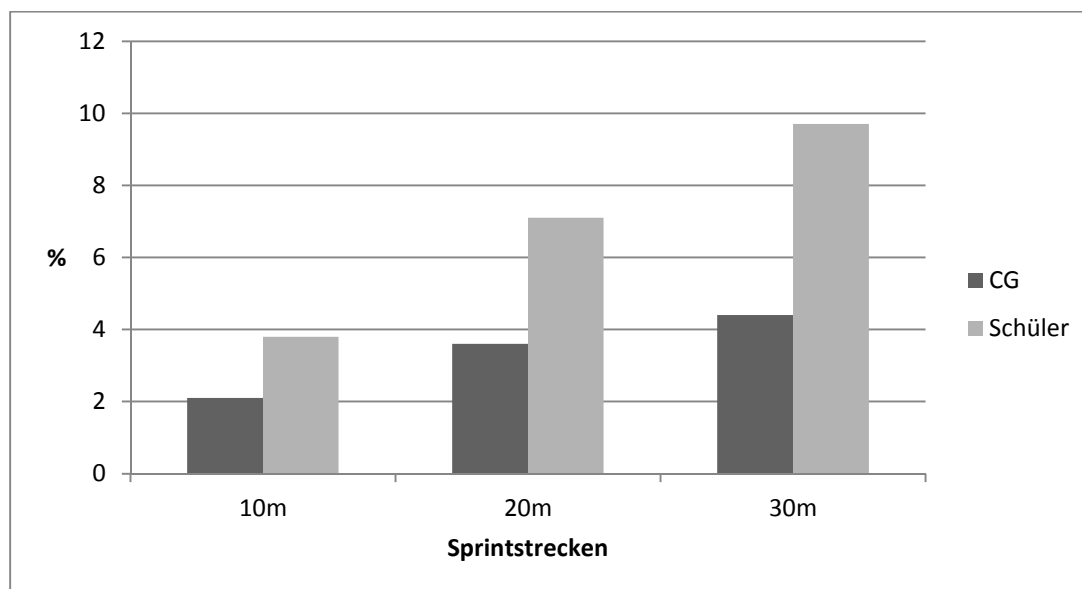


Abbildung 44: Darstellung der prozentualen Steigerungen der CG (C-Junioren) über zwei Jahre sowie der Altersbereiche U13 bis U15 der Schüler im Linearsprint (U13 bis U15 = 12 bis 14 Jahre alt; CG = Kontrollgruppe; m = Meter)

Im Gruppenvergleich zwischen KTG und CG zeigt sich im Linearsprint auf den Teilstrecken 5m, 10m, 15m und 20m eine signifikant höhere Leistungssteigerung der KTG. Für die

Strecken 25m und 30m werden hingegen keine Gruppenunterschiede festgestellt. Auffällig bei der Betrachtung des Gruppenvergleichs bezogen auf die Zeiträume der jeweiligen Messzeitpunkte sind die fehlenden Gruppenunterschiede innerhalb des ersten Jahres auf allen Teilstrecken. Hier zeigen beide Gruppen nahezu identische Leistungsentwicklungen, was durch die signifikant höheren Wachstumsraten der CG in der Körpergröße begründet werden kann (vgl. Philippaerts et al. 2006). Auch Papaïakovou et al. (2009) zeigen, dass in Phasen des hohen Körperlängenwachstums die Sprintzeiten am stärksten positiv beeinflusst werden. Daraus resultiert möglicherweise ein Effektausgleich zwischen den erworbenen höheren Kraftwerten der KTG gegenüber der CG und den höheren Körperlängenwachstumsraten der CG gegenüber der KTG. Da beide Faktoren einen hohen Einfluss auf die Sprintleistung ausüben können, ist ein günstiger Zeitpunkt im Körperlängenwachstum für die CG ausreichend, um den Krafttrainingseffekt der KTG zu kompensieren. Für alle Teilstrecken auf den ersten 15m kann die KTG gegenüber der CG signifikant höhere Leistungssteigerungen zwischen T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3 aufweisen. Die signifikanten Unterschiede in der Leistungsentwicklung im Gesamtzeitraum der Untersuchung zwischen den beiden Gruppen sind demnach auf die Entwicklungsunterschiede der Sprintleistung innerhalb des zweiten Jahres zurückzuführen. Auch für die 20m Sprintzeit gibt es diese Tendenz, in der es zwischen T2 und T3 zu einem signifikanten Gruppenunterschied kommt, das Signifikanzniveau zwischen T1 und T3 jedoch knapp verpasst wurde. Zunächst ist davon auszugehen, dass sich das Krafttraining der KTG auf den ersten 20m auf allen Teilstrecken positiv ausgewirkt hat. Dies bestätigt zum großen Teil die in der Literatur vorherrschenden Aussagen zum hohen Maximal- und Schnellkrafteinfluss in der Beschleunigungsphase (vgl. Young et al. 2001). Dabei nimmt der Einfluss der Kraftparameter aufgrund weiterer Faktoren, die mit der Lauflänge eine größere Rolle einnehmen, stetig ab. Auch Wong et al. (2010) zeigen bei Fußballspielern im Alter von etwa 14 Jahren, die ein Krafttraining absolvieren, höhere Steigerungen der Sprintleistung über die ersten 30m. Hingegen können einige andere Untersuchungen in diesem Altersbereich durch ein Krafttraining keine besseren Sprintleistungen nachweisen (vgl. Buchheit et al. 2010; Christou et al. 2006; Faigenbaum et al. 2007; Lillegard et al. 1997). Der Grund für die unterschiedlichen Aussagen liegt in dem Interventionszeitraum der meisten Untersuchungen. Keine der angegebenen Untersuchungen weisen einen Zeitraum von mehr als einem Jahr auf. Auch in dieser Untersuchung zeichnen sich im Altersbereich der C-Junioren erst im zweiten Jahr bessere Entwicklungen der Sprintleistung bei der KTG ab. Die Begründung dafür liegt möglicherweise in einem sehr langen Anpassungszeitraum für eine Sprintleistung aufgrund hoher koordinativer

Anforderungen, die einen Übertrag des Krafttrainings erschweren (vgl. Korhonen et al. 2009). Des Weiteren kann der erhöhte Wachstumsschub der CG im ersten Jahr dazu geführt haben, dass sich koordinative Bewegungsmuster aufgelöst haben und sich dies zu Ungunsten der Sprintleistung im zweiten Jahr entwickelt hat (vgl. Philippaerts et al. 2006). Gegen diese Annahme sprechen allerdings die gleichen Entwicklungen der beiden Gruppen in der Sprintleistung über 25m und 30m. In dieser Phase des Sprints sind Schnellkraftparameter möglicherweise nicht mehr die entscheidenden Faktoren für eine gute Leistung, sondern technische Elemente rücken in den Vordergrund.

Unter der Gesamtbetrachtung der Ergebnisse ist ein Defizit der Maximalkraftleistungen bei Muskelschlingen in der Wachstumsphase ein limitierender Faktor. Dieser Faktor spiegelt sich gerade in der Beschleunigungsphase auf den ersten Metern wider. Während der hohen Längenwachstumsschübe ist ein Fußballtraining allein nicht ausreichend, um Effekte, die durch ein zusätzliches langfristiges Krafttraining erzielt werden, zu kompensieren. Vielmehr muss die Muskulatur unter der Bedingung der Schnellkraftentwicklung einem entsprechenden Reiz ausgesetzt werden. Allerdings sind die wachstumsbedingten Leistungsentwicklungen in der Lage, Effekte eines Krafttrainings auf Sprintleistungen ab der Sprintstrecke von 25m zu kompensieren.

### 5.4.3 B-Junioren

Die KTG zeigt im Verlauf der zwei Jahre auf dem Messwiederholungsfaktor für alle Teilstrecken im Linearsprint ein signifikantes Ergebnis. Dabei ergibt sich im ersten Jahr eine positive signifikante Entwicklung ab der Teilstrecke 15m. Das Signifikanzniveau für die Teilstrecke 10m zwischen T1 und T2 wurde nur geringfügig verfehlt ( $p < 0.062$ ). Im zweiten Jahr (T2/T3) zeigt sich für fast alle Teilstrecken eine signifikante Steigerung der Sprintleistung, mit Ausnahme der 5m Sprintleistung. Auch hier wird das Signifikanzniveau nur geringfügig verpasst ( $p < 0.054$ ). Diese Ergebnisse bestätigen zunächst die Annahme, dass sich die Sprintleistung in dieser Gruppe in zwei Jahren positiv entwickelt. Demnach ist von einem positiven Effekt des Krafttrainings kombiniert mit entwicklungsbedingten Faktoren auszugehen. Lediglich im ersten Jahr werden über 5m und 10m keine Steigerungen der Sprintleistung erreicht. Eine Begründung für dieses Ergebnis liegt möglicherweise darin, dass die Fußballspieler nicht in der Lage sind, aus dem Ruhezustand schon ab dem ersten Meter das maximale Leistungspotential über die Schnellkraftfähigkeit abzurufen. Dies kann auch damit zusammenhängen, dass die hohe Körpergewichtszunahme für eine von Beginn an

maximale Beschleunigung negative Auswirkungen zeigt (vgl. Brechue, Mayhew & Piper 2010). Gerade vor dem Hintergrund des Leistungstransfers können auch solche Parameter von Beginn an leistungslimitierend sein. Möglicherweise müsste im ersten Jahr verstärkter an zusätzlichen Transferleistungen auf den ersten Metern im Sprint gearbeitet werden.

Die CG zeigt im Verlauf der zwei Jahre keine Steigerungen der Sprintleistung über 5m und 10m. Ab der 15m Teilstrecke zeigen sich signifikante Leistungssteigerungen, die sich jedoch erst im zweiten Jahr einstellen. Zwischen T1 und T2 können keine Leistungssteigerungen beobachtet werden. Philipaerts et al. (2006) zeigen in der Phase nach dem höchsten Längenwachstum eine Stagnation der Sprintleistungen. Auch die B-Junioren fallen in diese Phase hinein. Erklärt wird die Stagnation mit den mangelnden automatisierten Bewegungsmustern, deren Koordination während und nach dem Körperlängenwachstum optimiert werden muss. Im zweiten Jahr zeigt sich schließlich eine Leistungssteigerung für alle Teilstrecken ab 15m, wobei allerdings keine signifikanten Werte zwischen T2 und T3 für die Teilstrecken 20m und 30m ermittelt werden können. Das Ergebnis ist aus rein statistischer Sicht zu erklären, da die Standardabweichung und die Veränderung der Standardabweichung zwischen T2 und T3 hoch sind. Die Standardabweichung und damit die Varianz sind stark anfällig für sogenannte Ausreißwerte, die sich zum Teil für die Sprintstrecken 20m und 30m ergeben (vgl. Koschack 2008). Demnach ist für die Teilstrecken 20m und 30m von einem überzufälligen Unterschied zwischen T2 und T3 auszugehen. Letztlich zeigt sich ähnlich zu den C-Junioren eine Leistungssteigerung im Sprint über zwei Jahre auf denselben Teilstrecken. Für die nicht eingetretene Entwicklung auf den 5m und 10m Teilstrecken ist ebenfalls die Begründung der nicht trainierten Schnellkraft anzuführen, die durch das Fußballtraining nicht einbezogen wird. Inwiefern entwicklungsbedingte Faktoren oder das Fußball spielen an sich für die Steigerungen der Sprintleistung über die restlichen Teilstrecken verantwortlich sind, ist in der vergleichenden Betrachtung zwischen der CG und den Schülern zu erkennen (siehe Abb. 45). Die Schüler zeigen über den Altersverlauf von U15 bis U17 wesentlich höhere prozentuale Steigerungsraten der Sprintleistung als die Fußballspieler. Dennoch sind die Veränderungen der Sprintleistungen zwischen U15 und U17 nur in der 10m Teilstrecke signifikant. Für die weiteren Leistungssteigerungen zeigt sich aufgrund der hohen Standardabweichungen statistisch keine Überzufälligkeit. Eine entwicklungsbedingte Steigerung der Sprintleistung ist demnach bei den Schülern nicht gegeben (vgl. Philipaerts et al. 2006). Auch Vanttinen et al. (2011) zeigen im Altersbereich von 15 bis 16 Jahren keine entwicklungsbedingten Steigerungen der Schnellkeitsleistungen.

Die Körperlängenwachstumsraten haben in diesem Altersbereich den höchsten Punkt überschritten und fallen stetig ab, wodurch eine Steigerung der Sprintleistung nicht mehr gegeben ist. Hinzu kommt das Breitenwachstum, das durch die erhöhte Wachstumshormonausschüttung zu einer Körpergewichtszunahme führt. Die entwicklungsbedingt zusätzliche Muskelmasse ist durch mangelnde Reizsetzung als eher leistungshemmend für den Sprint einzustufen. In Tab. 34 ist weiter eine vergleichende Betrachtung der Sprintwerte aus T1 der CG und der U15 der Schüler dargestellt. In allen Sprintbereichen zeigt sich eine deutliche Überlegenheit der Leistungsfähigkeit seitens der CG. Dies steht im Gegensatz zu den ermittelten Ergebnissen von Vanttinen et al. (2011). Demnach kann dem Fußballspielen eine leistungsfördernde Wirkung für den Sprint zugeschrieben werden. Auch die Tatsache, dass die CG signifikante Steigerungen über zwei Jahre erreicht, die Schüler in diesem Altersbereich hingegen nicht, ist dem Fußballspielen zuzuschreiben. Somit ist anzunehmen, dass das Fußballspielen für die Steigerungen der Sprintleistungen der CG über zwei Jahre verantwortlich ist.

Tabelle 34: Darstellender Vergleich der Linearsprintwerte zwischen CG und Schülern im Altersbereich der B-Junioren

Sprintstrecke/Gruppe	CG (T1)	Schüler (U15)
<b>10m</b>	1,801	2,000
<b>20m</b>	3,128	3,454
<b>30m</b>	4,398	4,875

m = Meter; CG = Kontrollgruppe; T1 = Messzeitpunkt 1; U15 = 14 Jahre alt

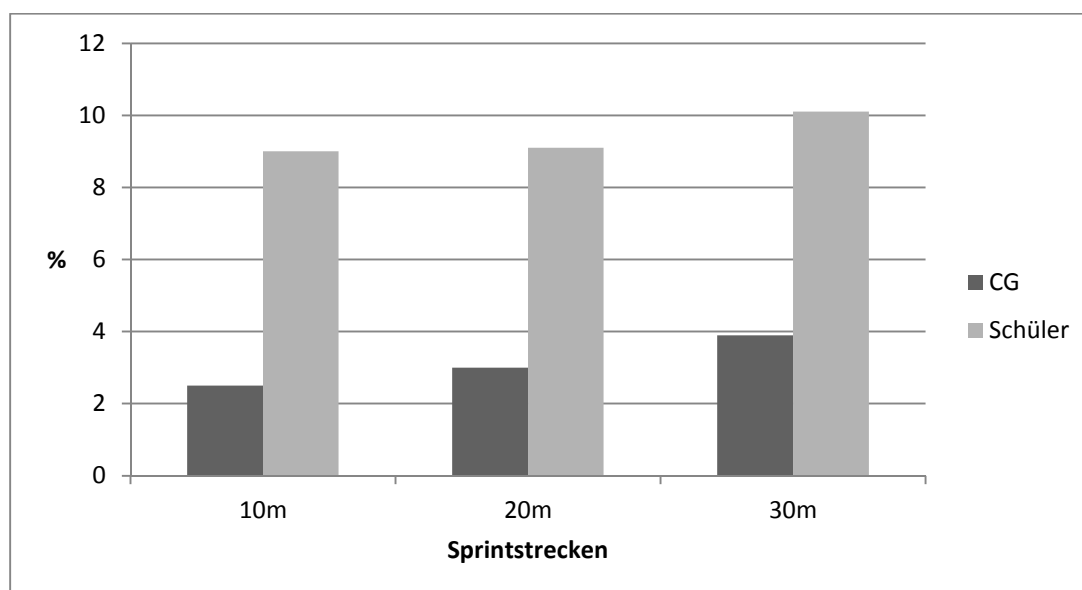


Abbildung 45: Darstellung der prozentualen Steigerungen der CG (B-Junioren) über zwei Jahre sowie der Altersbereiche U15 bis U17 der Schüler im Linearsprint (U15 bis U17 = 14 bis 16 Jahre alt; CG = Kontrollgruppe; m = Meter)

Im Gruppenvergleich zwischen der KTG und der CG zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen T1 und T3 in den Teilstrecken 5m, 20m und 25m. Für alle weiteren Teilstrecken und Entwicklungszeiträume kann kein signifikantes Ergebnis ermittelt werden. Diese Ergebnisse sind differenziert zu betrachten. Für die Teilstrecken 5m und 10m zeigt sich zwischen jedem Zeitpunkt eine tendenziell höhere Steigerung der Sprintleistungen bei der KTG. In der 5m Teilstrecke kann die Summe aus den nicht signifikanten Unterschieden aus beiden Jahren (T1/T2 und T2/T3) im Zweijahresverlauf schließlich eine signifikante Relevanz erreichen. Für die 10m Teilstrecke ergibt sich ein ähnliches Bild wie für die 5m Teilstrecke. Allerdings reichen die tendenziell besseren Steigerungsraten der KTG nicht für eine signifikante Relevanz. Meyer et al. (2005) zeigen nach einem Krafttraining sogar negative Entwicklungen bei 5m und 10m. Auch Faude et al. (2013) beobachten nach einem siebenwöchigen Krafttraining keine Steigerungen über 10m, obwohl neben dem Krafttraining auch Transferinhalte wie Sprints und Sprünge absolviert werden. Dennoch wäre ein Gruppenunterschied nach zwei Jahren auf der 10m Teilstrecke zu erwarten, gerade weil dieser Streckenabschnitt schnellkraftdominant ist (vgl. Young et al. 2001). Auch Chaleh, Fatemi & Shahavasar (2012) zeigen bei B-Junioren eine hohe Korrelation ( $r = .91$ ) der Schnellkraft mit der 10m Sprintleistung. Hier müssten im Gesamttrainingsprozess möglicherweise Transferinhalte für den Sprint eingebaut werden, um den Krafttrainingseffekt für die 10m zu erhöhen (vgl. Reilly 2005). Für den Unterschied in der 5m Teilstrecke ist eine explosivere Bewegung aus dem Stand möglicherweise verantwortlich. Durch das höhere Kraftniveau und damit verbunden ein größeres Vermögen, aus dem Stand explosiv zu starten, ist ein Gruppenunterschied ersichtlich (vgl. Slawinski et al. 2010). Für die 20m und 25m Sprintleistung zeigt sich das gleiche Ergebnis wie für die 5m Sprintleistung. Erst die Summe der besseren Entwicklungen der KTG aus beiden Einzeljahren ergibt ein statistisch relevantes Ergebnis für den Zweijahresverlauf. Die 30m Sprintleistung hingegen verläuft adäquat zu der Leistung über 10m. Beide Gruppen zeigen Verbesserungen zwischen allen Messzeitpunkten, wobei die KTG tendenziell jeweils höhere Steigerungen erzielt. Für eine statistische Relevanz reicht es jedoch nicht aus. Auch hier hätten Transferinhalte im Training den Effekt des Krafttrainings möglicherweise positiv beeinflusst. Dies zeigen auch Alcaez, Elvira & Palao (2012) bei gut trainierten Sprintern, die durch ein Krafttraining und zusätzlich durchgeführte Zugwiderstandsläufe über vier Wochen Steigerungen in der Sprintleistung über 30m erzielen. Dabei verändern sich die kinematischen Parameter wie Schrittlänge, Schrittfrequenz und Kontaktzeit nicht. Die Leistungssteigerung wird durch ein größeres Vorlehnen des Körpers,



eine verbesserte Explosivkraft und veränderte Knie- (kleiner) und Hüftwinkel (größer) ermöglicht. Für die 15m Teilstrecke zeigt sich ein Ergebnis, das nur auf statistischer Ebene zu erklären ist. Für den Zeitraum zwischen T1 und T2 ist eine Leistungsentwicklung der KTG bei gleichzeitigem Leistungsrückgang der CG zu verzeichnen. Hingegen kommt es zwischen T2 und T3 zu einer deutlichen Leistungssteigerung der CG gegenüber der KTG. In beiden Jahren sind die Unterschiede jedoch statistisch nicht relevant. Für den Zeitraum T1 nach T3 ist schließlich eine nahezu gleiche Entwicklung der Sprintleistung zwischen den beiden Gruppen festzustellen. Die fehlende statistische Relevanz zwischen T1 und T2 sowie zwischen T2 und T3 ist auf die sehr hohe Standardabweichung der T2 und T3 Werte der CG zurückzuführen. Hier zeigen sich Standardabweichungen, die um etwa 0,1s höher liegen als bei allen weiteren Zeiten der 15m Sprintleistung. Eine Erklärung hierfür geben die Veränderungen aus der Gruppe der CG. Allein zwischen T1 und T2 liegen die Spannungsweiten der Veränderungen zwischen 0,16s und -0,33s. Dabei zeigen nur zwei Sportler negative Leistungsveränderungen (0,16s und 0,15s). Alle anderen Sportler der CG verzeichnen positive Leistungsentwicklungen. Auch zwischen T2 und T3 zeigt sich eine Spanne von 0,09 bis -0,29 in den Veränderungen der Sprintleistungen. Dies spricht für die sich erhöhenden Standardabweichungen in T2 und T3 bei der CG und stellt damit ein Indiz für einzelne Ausreißwerte, die ein nicht signifikantes Ergebnis in der Varianzanalyse bewirken, dar.

Zusammenfassend ist anzumerken, dass ein Fußballtraining mit zusätzlichem Krafttraining gegenüber einem regulären Fußballtraining eher zu Steigerungen in der Sprintleistung im B-Juniorenbereich führt. Allerdings muss das Training über einen langen Zeitraum durchgeführt werden, um letztlich Effekten wachstumsbedingter Faktoren sowie Effekten des Fußballspielens überlegen zu sein. Die Länge des Zeitraums müsste diesbezüglich möglicherweise mehr als zwei Jahre betragen.

### 5.4.4 A-Junioren

Für die A-Junioren zeigt die Varianzanalyse auf dem Messwiederholungsfaktor für keine Teilstrecke ein signifikantes Ergebnis über zwei Jahre. Dieses Ergebnis ist überraschend und bedarf einer genauen Betrachtung, gerade unter dem Aspekt der Entwicklung der Ergebnisse der C- und B-Junioren. Eine Betrachtung der Veränderungen der Sprintleistungen über alle Strecken zeigt bei der KTG zum Teil Steigerungen bis zu 3,5% (siehe Abb. 46). Auf den

meisten Teilstrecken werden mindestens 2%ige Leistungssteigerungen erzielt. Hier müsste in Anbetracht der im normalen Bereich einzustufenden Standardabweichungen eine Signifikanz auftreten. Bei der CG zeigt sich hingegen eine Leistungsminderung der Sprintleistung von bis zu 4% (siehe Abb. 47). Auch in dieser Betrachtung liegen die meisten Leistungsminderungen bei über 2%, sodass eine Signifikanz auf der Messwiederholung ersichtlich sein müsste. Eine Signifikanz auf dem Messwiederholungsfaktor müsste sich bei der Betrachtung der jeweiligen Veränderungen in den beiden Gruppen demnach ergeben. Die Varianzanalyse als statistisches Verfahren zeigt hier unter der besonderen Konstellation der Datenverteilung eine große Schwäche. In der Varianzanalyse werden alle Daten aus beiden Gruppen zu einem Mittelwert zusammengefügt (vgl. Bortz & Döring 2006). Für den Messwiederholungsfaktor ist es nun entscheidend, ob sich der Gesamtmittelwert auf dem Faktor Zeit vom Basismittelwert unterscheidet. Dabei werden die Varianzen der jeweiligen Einzelwerte aus den Gruppen zum Gesamtmittelwert herangezogen. Die Entwicklung der Einzelwerte gestaltet sich allerdings so ungünstig, dass die positiven Veränderungen der KTG durch die negativen Veränderungen der CG mit den nahezu gleichen Varianzen kompensiert werden. Dadurch kommt es im Gesamtmittelwert aus allen Daten, den die Varianzanalyse für die Berechnung heranzieht, nur zu geringen nicht signifikanten Veränderungen (siehe Tab. 35).

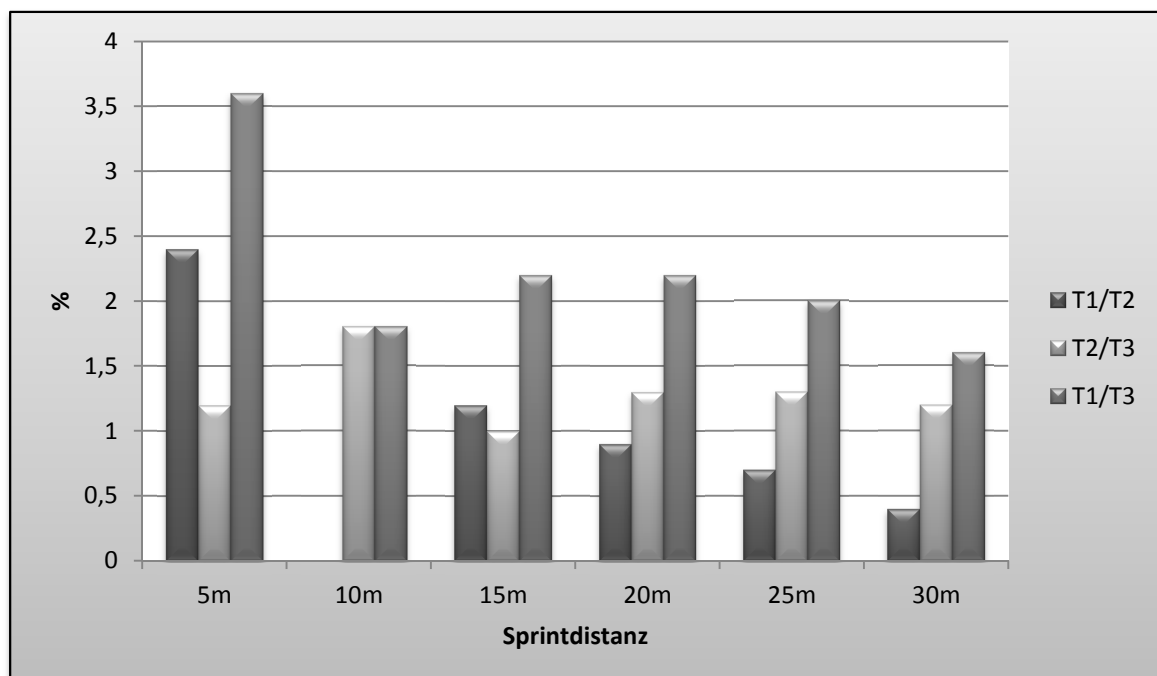


Abbildung 46: Prozentuale Entwicklung der Sprintleistung der KTG über die verschiedenen Messzeiträume innerhalb der zwei Jahre (T1/T2: Erstes Jahr; T2/T3: Zweites Jahr; T1/T3: Zweijahresabschnitt)

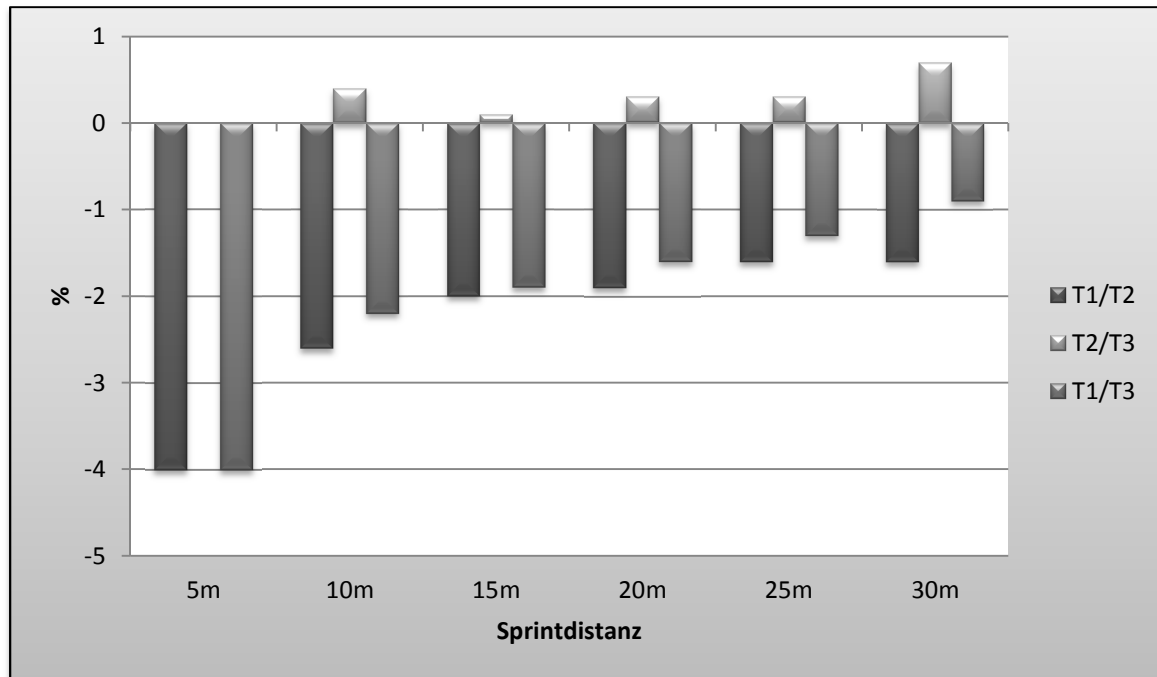


Abbildung 47: Prozentuale Entwicklung der Sprintleistung der CG über die verschiedenen Messzeiträume innerhalb der zwei Jahre (T1/T2: Erstes Jahr; T2/T3: Zweites Jahr; T1/T3: Zweijahresabschnitt)

Tabelle 35: Darstellung der Gesamtmittelwerte und Standardabweichungen des Linearsprints aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung

	T1	T2	T3
<b>5m</b>	1,017±0,035	1,025±0,051	1,016±0,061
<b>10m</b>	1,741±0,047	1,764±0,066	1,745±0,077
<b>15m</b>	2,395±0,055	2,405±0,081	2,391±0,097
<b>20m</b>	3,017±0,078	3,032±0,102	3,008±0,102
<b>25m</b>	3,617±0,090	3,633±0,122	3,599±0,121
<b>30m</b>	4,209±0,107	4,235±0,144	4,195±0,132

T1 – T3 = Messzeitpunkt 1 – 3; m = Meter

In der Nachbetrachtung des T-Tests für abhängige Stichproben zeigt sich für alle Messzeitpunkte bei der CG und KTG auf allen Teilstrecken ein signifikantes Ergebnis. Demnach ist davon auszugehen, dass das Krafttraining bei der KTG zu einer positiven Entwicklung der Sprintleistung geführt hat. Hingegen ist bei der CG davon auszugehen, dass über den Zeitraum von zwei Jahren eine negative Leistungsentwicklung vorhanden ist. Allerdings muss auch bei der Betrachtung der Ergebnisse aus dem T-Test beachtet werden, dass durch die niedrige Probandenzahl der T-Test eher zu einer Verwerfung der Nullhypothese neigt (vgl. Bortz & Döring 2006). Daher wird empfohlen, bei einem T-Test mit Stichproben  $n > 20$  zu arbeiten. Dies kann bei der Analyse der A-Junioren nicht gewährleistet werden, sodass die Ergebnisse mit Vorsicht zu betrachten sind. Ausgehend von

positiven Anpassungen der Sprintleistung bei der KTG nach einem zweijährigen Krafttraining sind diese Effekte auf die Hypertrophie des Muskelquerschnitts und auf Verbesserungen der neuronalen Ansteuerung zurückzuführen (vgl. Baechle & Earle 2000). Die Steigerung des Körpergewichts lässt auf Hypertrophieeffekte schließen, auch wenn die Steigerung nur im ersten Jahr ermittelt wird. Des Weiteren ist von Anpassungen in der Ansteuerung der Muskulatur über erhöhte Frequenzladungen und eine erhöhte Rekrutierung von Muskelfasern auszugehen (vgl. Moritani 1994; Sale 1994). Ein verstärkter Transfer des Krafttrainings auf die Sprintleistung anhand zusätzlich durchgeführter spezifischer Übungen verspricht eventuell noch höhere Anpassungen für die Sprintleistung.

Die anzunehmenden überzufälligen Leistungsminderungen der CG sind nicht durch einen erhöhten Ermüdungsgrad zu erklären. Alle Spieler waren ausgeruht und hatten zwei Tage zuvor keine ermüdenden Einheiten absolviert. Möglicherweise kann bei einer angenommenen abgeschlossenen pubertären Entwicklung, die in den beiden Altersklassen (C- und B-Junioren) zuvor noch vorhanden ist, eine Sprintleistung nicht mehr gesteigert werden, wenn nicht spezielle Trainingsinhalte durchgeführt werden. Auch Vääntinen et al. (2011) können ab dem Alter von 17 Jahren bei der Schnelligkeit ein Leistungsplateau beobachten. Demnach ist in diesem Altersbereich nicht mehr von einer entwicklungsbedingten Steigerung der Sprintleistung auszugehen. Vielmehr besteht bei unzureichenden Trainingsreizen die Gefahr, dass sich die Leistungen in diesem Altersbereich verringern, da die entwicklungsbedingt höchste Leistungsfähigkeit überschritten ist. Im betrachtenden Vergleich der CG mit den Schülern zeigen sich bei den Schülern zwar leichte positive jedoch nicht signifikante Entwicklungen (siehe Abb. 48). Zwar können die Angaben von Vääntinen et al. (2011) demnach nicht eindeutig bestätigt werden, dennoch ist von einem Plateau in der Entwicklung der Sprintleistungen auszugehen, wenn keine adäquaten Trainingsreize gesetzt werden. Allerdings erklärt der Verlauf der Querschnittsbetrachtung der Schülerdaten nicht den Leistungsabfall der CG. Hier ist die Körpergewichtszunahme der CG über die beiden Jahre möglicherweise verantwortlich für eine Leistungsstagnation im Sprint, die bei den Schülern nicht zu verzeichnen ist. Gerade im ersten Jahr (T1/T2) zeigt die CG hohe Leistungsverluste. In diesem Zeitfenster steigt das Körpergewicht um etwa 3kg an, was über einen entwicklungsbedingten Muskelquerschnittszuwachs zu erklären ist. Eine Erhöhung des Körperfettanteils ist bei der Anzahl an TE und Wettkämpfen pro Woche eher unwahrscheinlich (vgl. Gorostiaga et al. 1999; Hetzler et al. 1997). Eine Erhöhung der Muskelmasse spiegelt auch den erklärten Effekt der Maximalkraftsteigerung wider (siehe

Kap. 5.2). Wird die erhöhte Muskelmasse entsprechenden Trainingsreizen wie einem IK-Training im Kraftbereich oder einem Schnellkrafttraining nicht ausgesetzt, kann das Vermögen, explosiv zu kontrahieren, nicht verbessert werden (vgl. DeVillareal, Izquierdo & Gonzalez-Badillo 2011; Fatouros et al. 2000; Holcomb et al. 1996). Demnach sind ein erhöhtes Körpergewicht und damit eine höhere zu beschleunigende Masse bei gleichem muskulärem Potential vorhanden, was eine Verbesserung der Sprintleistung vermindert (vgl. Brechue, Mayhew & Piper 2010). Allerdings ist zu bedenken, dass es im zweiten Jahr trotz nochmaliger Erhöhung des Körpergewichts zu keiner weiteren Verschlechterung der Sprintleistung kommt. Hier zeigen sich im Zeitraum zwischen T2 und T3 sogar Verbesserungen für alle Teilstrecken. Möglicherweise kann das Fußballspielen, wenn Trainingsreize in Form von Sprints und fußballspezifischen Bewegungen in angemessenem Umfang über einen langen Zeitraum durchgeführt werden, zu Leistungssteigerungen im Sprint führen (vgl. Jovanovic et al. 2011). Dies zeigt sich auch in einer besseren Leistungsfähigkeit der Fußballspieler der CG gegenüber den Schülern (siehe Tab. 36). Demnach ist davon auszugehen, dass Fußballspielen in diesem Altersbereich die Sprintleistung positiv beeinflussen kann, obwohl die Längsschnittbetrachtung unter Einbeziehung der Körpergewichtsentwicklung einen anderen Verlauf zeigt.

Tabelle 36: Darstellender Vergleich der Linearsprintwerte zwischen CG und Schülern im Altersbereich der A-Junioren

Gruppen	CG (T1)	Schüler (U17)
<b>10m</b>	1,729	1,834
<b>20m</b>	2,987	3,167
<b>30m</b>	4,175	4,429

m = Meter; CG = Kontrollgruppe; T1 = Messzeitpunkt 1; U17 = 16 Jahre alt

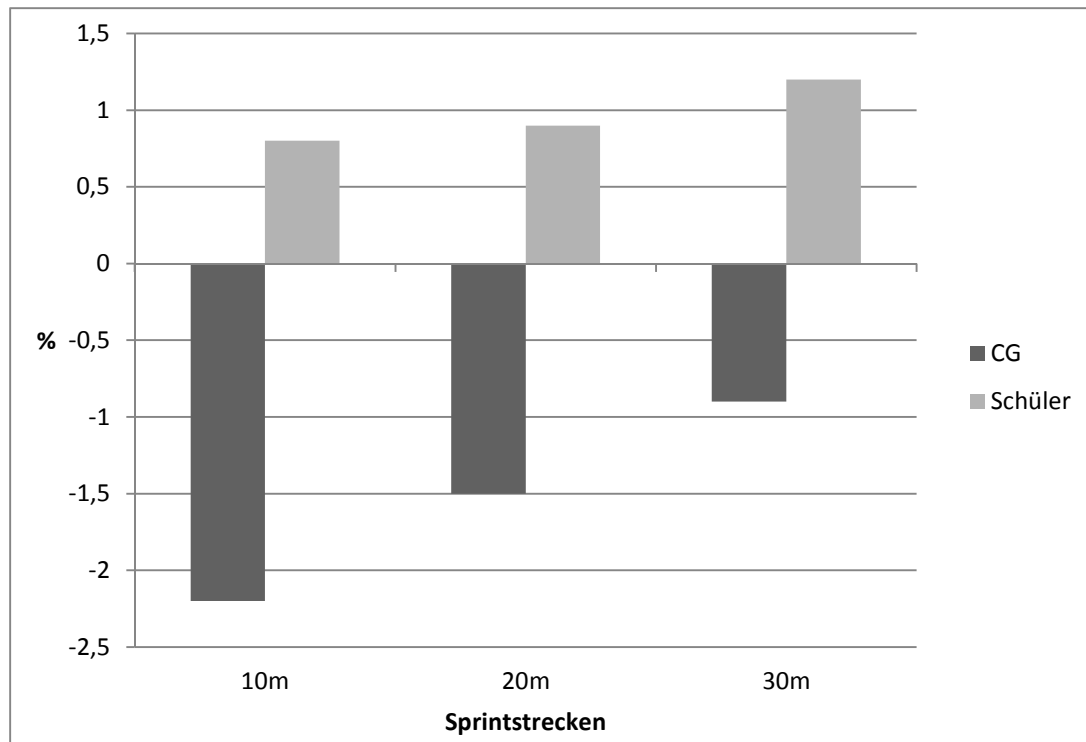


Abbildung 48: Darstellung der prozentualen Steigerungen der CG (A-Junioren) über zwei Jahre sowie der Altersbereiche U17 bis U19 der Schüler im Linearsprint (U17 bis U19 = 16 bis 18 Jahre alt; CG = Kontrollgruppe; m = Meter)

Im Gruppenvergleich zeigt die KTG im Vergleich zur CG in allen Teilstrecken des Linearprints über zwei Jahre eine bessere Entwicklung. Dieses Resultat wird durch den negativen Verlauf der Sprintleistungen bei der CG zwischen T1 und T2 maßgeblich bestimmt. Im ersten Jahr kommt es in nahezu allen Teilstrecken ebenfalls zu einem signifikanten Unterschied in der Entwicklung der Sprintleistung zwischen den beiden Gruppen. Für den Sprint über 10m und 30m ist zwar kein signifikantes Ergebnis zwischen T1 und T2 zu verzeichnen, allerdings wird das Signifikanzniveau ( $p < 0.056$  und  $p < 0.059$ ) nur geringfügig verfehlt. Im zweiten Jahr (T2/T3) kommt es aufgrund der leicht positiven Entwicklung der Leistungen der CG zu keinem Gruppenunterschied. Die möglichen Begründungen für die Leistungsentwicklungen der beiden Gruppen sind in diesem Kap. bereits erörtert. Es zeigt sich schließlich, dass ein zum Fußballtraining separat durchgeführtes Krafttraining einem reinen Fußballtraining in der Entwicklung der Sprintleistungen überlegen ist (vgl. Bogdanis et al. 2009; Chelly et al. 2009; Ronnestad et al. 2008; Wong et al. 2010a). Gerade vor dem Hintergrund der abgeschlossenen Pubertät und damit verbunden der nicht mehr zu erwartenden Leistungsentwicklungen in der Sprintleistung (vgl. Vääntinen et al. 2011) ist ein Krafttraining eine Möglichkeit, Leistungen im Sprint zu steigern (vgl. Young et al. 2001). Durch die provozierten Anpassungen eines periodisierten Krafttrainings im neuromuskulären

und morphologischen Bereich können konditionelle Schnelligkeitsparameter verbessert werden, die durch ein sportartspezifisches Training alleine nicht erzwungen werden können. Neben dem Krafttraining sind zusätzliche Trainingsinhalte zu integrieren, die einen höheren Transfer der erworbenen Kraftfähigkeiten auf die Sprintleistung zulassen. Dazu geben Mero & Komi (1994) sprintähnliche Bewegungsformen wie horizontale Sprungformen sowie den Sprint an (vgl. Habibi et al. 2010). Dies bestätigen auch Jovanovic et al. (2011) bei 19-jährigen Fußballspielern über acht Wochen Trainingsintervention.

### **5.5 Effekte eines Krafttrainings auf den Richtungswechselsprint**

#### 5.5.1 C-Junioren

Die KTG zeigt für den Faktor Messzeitpunkt in allen Teilstrecken signifikant bessere Leistungen. Für den Richtungswechselsprint über 5m links werden zwischen allen Messzeitpunkten signifikante Leistungssteigerungen erzielt. Für den Richtungswechselsprint über 5m rechts werden hingegen nur zwischen den Messzeitpunkten T1 und T2 sowie zwischen T1 und T3 signifikante Leistungsentwicklungen ermittelt. Zwischen den Messzeitpunkten T2 und T3 sind nur tendenzielle Steigerungen erkennbar, die keine statistische Relevanz aufweisen. Demnach hat ein Krafttraining auf den Richtungswechselsprint aus dem Stand einen positiven Einfluss. Ein Grund für den nicht signifikanten Verlauf zwischen T2 und T3 beim Richtungswechselsprint über 5m rechts liegt darin, dass das vermeintlich schwächere Bein den Richtungswechsel einleiten muss (vgl. auch Hart & Spiteri 2013). Da nahezu alle Fußballspieler der KTG rechtsfüßig sind, ist der Richtungswechsel rechts eher ungewohnt. Demnach fehlt neben der zusätzlichen Maximalkraft möglicherweise eine gesonderte Transferleistung für diese Seite. Green, Blake & Caulfield (2011) zeigen weiter bei Rugbyspielern anhand von biomechanischen Parametern keine Unterschiede zwischen dem dominanten und dem nicht dominanten Bein bei Richtungswechselsprints. Da sich die Leistung im Richtungswechselsprint in T1 zwischen links und rechts nicht unterscheidet, kann möglicherweise die gesteigerte Maximalkraft beim dominanten Bein biomechanische leistungslimitierende Parameter in höherem Maße beeinflussen.

Für den Richtungswechselsprint über 10m rechts zeigt sich zwischen allen Messzeitpunkten eine signifikant bessere Leistungsentwicklung. Auch für den Richtungswechselsprint 10m links ergeben sich signifikante Leistungsentwicklungen zwischen den Messzeitpunkten T1

und T2 sowie zwischen T1 und T3. Zwischen den Messzeitpunkten T2 und T3 zeigt sich kein signifikantes Ergebnis, obwohl tendenzielle Leistungssteigerungen zu erkennen sind. Begründet liegt dies in den hohen Standardabweichungen, die ein signifikantes Ergebnis nicht ermöglichen. Demnach ist davon auszugehen, dass für alle Messzeitpunkte eine positive Leistungsentwicklung auf den 10m Strecken vorhanden ist. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit denen von Christou et al. (2006) und Pettersen & Mathisen (2012), die in diesem Altersbereich ebenfalls Steigerungen in der Richtungswechselsprintleistung nach 16 Wochen bzw. sechs Wochen erzielen. In Bezug auf die prozentualen Leistungssteigerungen wird dies nochmal explizit verdeutlicht. Cristou et al. (2006) erzielen durch Krafttraining Steigerungen von 5,4%, Pettersen & Mathisen (2012) durch ein Training aus Richtungswechselsprints hingegen 3,7%. Demnach sind die Ergebnisse mit denen dieser Untersuchung gleich (siehe Tab. 37). Nach zwei Jahren sind in dieser Untersuchung sogar Steigerungen von fast 10% erreicht worden. Demnach ist davon auszugehen, dass der Interventionszeitraum über die ersten beiden Jahre mit ausschlaggebend für die Steigerungsrate der Richtungswechselsprintleistung ist. Auch der Trainingsinhalt ist von Bedeutung, da zwar ein Krafttraining ebenso wie Sprints mit Richtungswechseln zu Leistungssteigerungen führen kann, ersteres allerdings als effektiver erscheint. Ein langfristiges durchgeführtes Krafttraining ist daher als nicht zu ersetzender Trainingsinhalt für die Entwicklung der Leistung im Richtungswechselsprint zu betrachten (vgl. Stodden & Galitski 2010).

Tabelle 37: Prozentuale Steigerungen der KTG in der Leistung des Richtungswechselsprints über den Verlauf des Interventionszeitraums

Sprintstrecke	T1/T2	T1/T3
<b>5m links</b>	5,04	9,95
<b>10m links</b>	6,60	9,29
<b>5m rechts</b>	5,31	6,77
<b>10m rechts</b>	4,09	7,69
m = Meter; T1 bis T3 = Messzeitpunkt 1 bis 3		

Die CG zeigt auf dem Faktor Messzeitpunkt für die Strecke 5m links zwischen T1 und T2 eine signifikante Leistungssteigerung. Zwischen T2 und T3 hingegen kommt es zu keiner Veränderung mehr. Die Steigerungen aus dem ersten Jahr reichen jedoch aus, um auch zwischen T1 und T3 ein signifikantes Ergebnis zu ermitteln. Für die Strecke 5m rechts zeigt sich hingegen eine tendenzielle Steigerung der Leistung, die ohne statistische Relevanz bleibt. Dieses Ergebnis spiegelt den Verlauf der KTG wider, die ebenfalls auf der vermeintlich nicht dominanten Seite geringere Steigerungen erzielt. Im Fußballtraining und Fußballspiel wird in



der Regel häufiger ein Richtungswechsel über das dominante Bein gewählt. Für die Strecken über 10m zeigt die CG über den Faktor Messzeitpunkt den gleichen Verlauf. Zwischen T1 und T2 kommt es zu einer signifikanten Leistungssteigerung. Im zweiten Jahr zeigt sich hingegen eine tendenzielle Leistungsminderung ohne statistische Relevanz. Trotz der Leistungsreduktion im zweiten Jahr reicht es zu einer signifikanten Steigerung der Leistung zwischen T1 und T3. Da die CG nur im ersten Jahr eine Steigerung der Maximalkraft generieren kann ist dies möglicherweise eine Begründung für den Verlauf der Richtungswechselsprintleistung (vgl. Vääntinen et al. 2011). Entgegen dieser Ergebnisse zeigen Meylan & Malatesta (2009) bei Fußballspielern gleichen Alters nach acht Wochen einen Abfall der Leistung von 3%, wobei der gewählte Zeitraum der Untersuchung womöglich der Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse ist. Da entwicklungsbedingte Faktoren einen großen Teil der Leistungsentwicklungen der CG erklären, sind für eine solche Erkenntnis acht Wochen in der Studie von Meylan & Malatesta (2009) nicht ausreichend.

Der Einfluss des Fußballspielens auf die Richtungswechselsprintleistung ist in einer vergleichenden Betrachtung zwischen der CG und den Querschnittsdaten der Schüler ersichtlich. Die CG ist den Schülern sowohl in der Leistungsfähigkeit (siehe Tab. 38) als auch in der Leistungsentwicklung im Verlauf der beiden Jahre überlegen. Die Schüler zeigen zwischen dem Alter von 13 und 15 Jahren keine signifikanten Veränderungen der Leistung im Richtungswechselsprint. Vääntinen et al. (2011) beobachten allerdings Steigerungen der Richtungswechselsprintleistung von untrainierten Schülern. Eine Gruppengröße von zehn Probanden schränkt die Aussagekraft jedoch etwas ein, wobei auch in der hier dargelegten Untersuchung die Gruppengröße nicht den Ansprüchen an eine hohe Aussagekraft für eine Gesamtpopulation genügt. Die CG hingegen kann Leistungssteigerungen generieren. Diese Ergebnisse zeigen auch Vääntinen et al. (2011), die bei Fußballspielern im Alter von 13 bis 15 Jahren eine Leistungssteigerung im Richtungswechselsprint ermitteln. Auch die Leistungsfähigkeit gegenüber Schülern ist besser. Gravina et al. (2008) zeigen in ihrer Untersuchung bei 10- bis 14-jährigen Fußballspielern über sechs Monate ebenfalls, dass diejenigen, die mehr Wettkampfeinsätze haben, ihre Leistung des Richtungswechselsprints besser entwickeln. Demnach ist zu konstatieren, dass Fußballspielen einen Einfluss auf die Leistungsentwicklung im Richtungswechselsprint im Altersbereich der C-Junioren erwirkt. Dies ist über die vielen Richtungswechsel, die in der Sportart Fußball im Spiel und Training zu absolvieren sind, zu erklären (vgl. Rehhagel 2011).

Tabelle 38: Vergleichende Betrachtung des Richtungswechselsprints der Schüler und der CG im C-Juniorenbereich

Sprintstrecke/Gruppe	CG (T1)	Schüler (U13)
<b>5m links</b>	1,863	2,125
<b>10m links</b>	3,501	4,128
<b>5m rechts</b>	1,855	2,090
<b>10m rechts</b>	3,545	4,118

m = Meter; T1 = Messzeitpunkt 1; U13 = 12 Jahre alt

Im Gruppenvergleich zwischen den beiden Gruppen aus dem Fußball zeigt die KTG gegenüber der CG für den Richtungswechselsprint 5m links eine signifikant bessere Leistungsentwicklung zwischen T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3. Zwischen T1 und T2 werden keine statistisch relevanten Unterschiede ersichtlich, da die CG im ersten Jahr des Interventionszeitraums ebenfalls eine positive Leistungsentwicklung generieren kann. Für die Sprintstrecke 5m rechts kommt es im Gruppenvergleich zu keinen signifikanten Unterschieden in der Leistungsentwicklung. Die KTG zeigt zwischen allen Messzeitpunkten höhere Leistungsentwicklungen, die jedoch nicht für ein signifikantes Ergebnis ausreichen. Zwischen T1 und T3 wird ein statistischer Unterschied mit  $p < 0.062$  nur geringfügig verfehlt. Für die Sprintstrecken über 10m zeigen sich für beide Richtungen die gleichen Ergebnisse. Zwischen T1 und T2 kommt es zu keinem signifikanten Gruppenunterschied, da beide Gruppen nahezu die gleichen Leistungsentwicklungen generieren. Zwischen T2 und T3 sowie zwischen T1 und T3 zeigt die KTG im Vergleich zur CG signifikant bessere Leistungsentwicklungen. Dies resultiert auch aus der Reduktion der Leistungsfähigkeit der CG zwischen T2 und T3. Eine Begründung für die nur teilweise signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen liegt in der Entwicklung der Maximalkraft. Steigt das Maximalkraftniveau, zeigen sich auch Entwicklungen im Richtungswechselsprint. Ein ähnliches Ergebnis ermitteln Christou et al. (2006) bei gleichaltrigen Fußballspielern nach einer 16-wöchigen Krafttrainingsintervention. Hier geht eine Steigerung der Maximalkraft mit der Erhöhung der Leistungsfähigkeit im Richtungswechselsprint einher. Gegeben ist dies bei der CG durch entwicklungsbedingte Faktoren, die durch Körperlängen- und Körperbreitenwachstum die Maximalkraft beeinflussen können. Demnach ist ein Krafttraining zur Verbesserung der Leistung im Richtungswechselsprint zu empfehlen. Weitere Trainingsinhalte können möglicherweise ebenfalls solche Effekte erzielen. Allerdings geben Söhnlein, Müller & Stöggel (2014) einen Hinweis darauf, dass ein plyometrisches Training über 16 Wochen bei Fußballspielern im Alter von 13 bis 15 Jahren keinen Effekt auf die Leistung im Richtungswechselsprint erzielt. Dies zeigen auch Ramirez-Campillo et al. (2014),

die nach einem siebenwöchigen Training mit plyometrischen Übungen bei 13-jährigen Fußballspielern keine höheren Steigerungen gegenüber der Kontrollgruppe generieren können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im C-Juniorenbereich entwicklungsbedingte Veränderungen im Körperbau und damit einhergehend Veränderungen in der Maximalkraftleistung die Leistung im Richtungswechselsprint positiv beeinflussen können. Auch das Fußballspielen kann die Leistung im Richtungswechselsprint positiv beeinflussen. Letztlich ist ein langfristig durchgeführtes Krafttraining dem Fußballspielen und wachstumsbedingten Faktoren in Bezug auf die Leistung im Richtungswechselsprint überlegen.

### 5.5.2 B-Junioren

Im Messzeitpunkt T1 zeigt die CG im Vergleich zur KTG in allen Sprintstrecken signifikant bessere Leistungen. Die Leistungsunterschiede betragen zum Teil 0,1s bis 0,2s. Die KTG weist zu diesem Zeitpunkt ein höheres Körpergewicht und eine höhere Maximalkraft auf. Unter den Bedingungen eines hohen Trainingszustands müsste sich dies positiv für die KTG darstellen. Die Spieler der KTG müssen jedoch zum Zeitpunkt T1 als krafttrainingsunerfahren mit einem für den Kraftbereich geringen Trainingszustand bezeichnet werden. Die höheren Maximalkraftwerte und das höhere Körpergewicht sind daher auf entwicklungsbedingte Faktoren zurückzuschließen. Demnach ist davon auszugehen, dass das muskuläre Potential neuronal nicht ausgereizt ist, was dazu führt, dass das höhere Körpergewicht in Schnelligkeitsleistungen eher leistungsmindernd wirkt (vgl. Wong, Chan & Smith 2012). Dies ist möglicherweise der Grund für die geringere Leistung im Richtungswechselsprint gegenüber der CG. Unterschiedliche Trainingsinhalte über die Jahre zuvor können ebenfalls ein Grund für die unterschiedliche Leistungsfähigkeit zwischen den beiden Gruppen sein. Dies ist allerdings unter der Betrachtung der Richtlinien für den Nachwuchsleistungssport seitens des DFB eher unwahrscheinlich. Auch die standardisierten Bedingungen zum Testzeitpunkt sind zwischen den beiden Gruppen gleich gewesen. Es wird daher davon ausgegangen, dass entwicklungsbedingte Unterschiede für den Leistungsunterschied verantwortlich sind (vgl. auch Dellal & Wong 2013).

Bei der Betrachtung des Faktors Messzeitpunkt kann für keinen Zeitpunkt auf den verschiedenen Sprintstrecken ein signifikantes Ergebnis im Richtungswechselsprint

## 5 Diskussion der Ergebnisse

beobachtet werden. Damit ergibt sich ein ähnliches Ergebnis, das sich bei den A-Junioren in den konditionellen Parametern des Linearsprints gezeigt hat. Die ersichtlichen Leistungssteigerungen der KTG werden durch die Leistungsminderungen der CG so weit kompensiert, dass die Varianzanalyse bei der Berechnung der Gesamtmittelwerte auf dem Faktor Messzeitpunkt keine Unterschiede feststellen kann (siehe Tab. 39; vgl. auch Bortz & Döring 2006). Die Leistungsentwicklungen in den jeweiligen Gruppen zeigen jedoch prozentuale Veränderungen, die zu einem signifikanten Ergebnis auf dem Faktor Zeit führen müssen (siehe Abb. 49 und Abb. 50).

Tabelle 39: Darstellung der Gesamtmittelwerte und Standardabweichungen des Richtungswechselsprints aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung

	T1	T2	T3
<b>5m links</b>	1,734±0,072	1,716±0,073	1,695±0,085
<b>10m links</b>	3,236±0,134	3,248±0,123	3,219±0,147
<b>5m rechts</b>	1,735±0,072	1,735±0,061	1,708±0,072
<b>10m rechts</b>	3,294±0,145	3,288±0,121	3,247±0,131

T1 – T3 = Messzeitpunkt 1 – 3; m = Meter

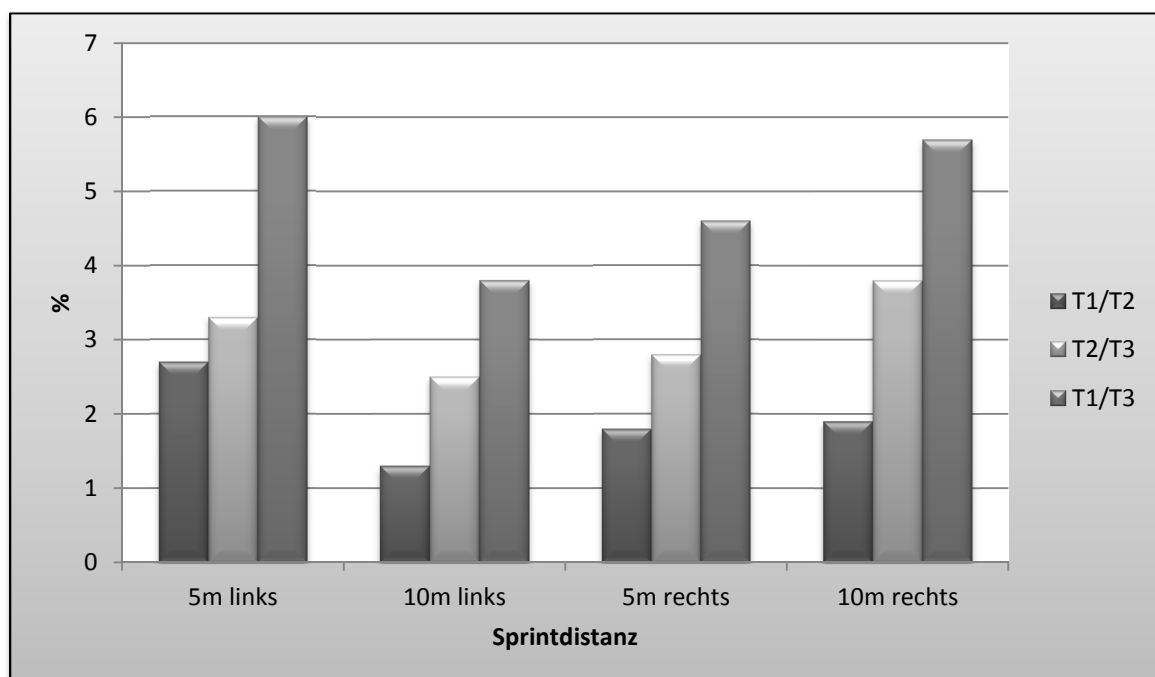


Abbildung 49: Prozentuale Entwicklung der Leistung im Richtungswechselsprint der KTG über die verschiedenen Messzeiträume innerhalb der zwei Jahre (T1/T2: Erstes Jahr; T2/T3: Zweites Jahr; T1/T3: Zweijahresabschnitt)

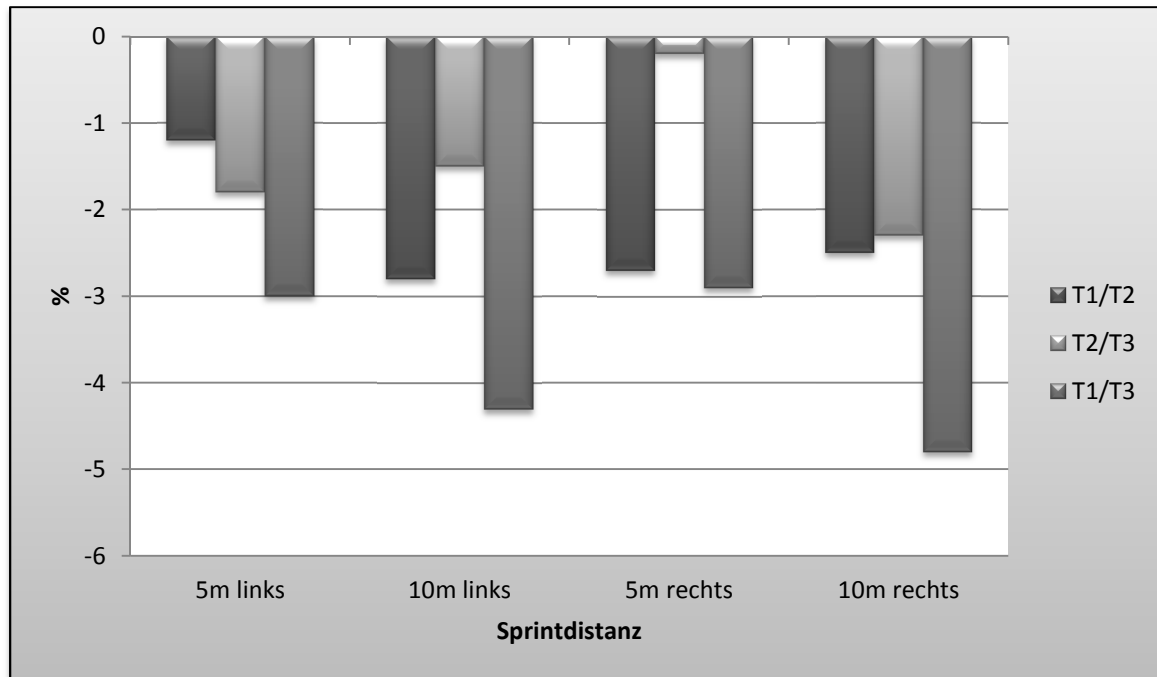


Abbildung 50: Prozentuale Entwicklung der Leistung im Richtungswechselsprint der CG über die verschiedenen Messzeiträume innerhalb der zwei Jahre (T1/T2: Erstes Jahr; T2/T3: Zweites Jahr; T1/T3: Zweijahresabschnitt)

Aufgrund des Ergebnisses aus der Varianzanalyse ist zusätzlich ein T-Test für abhängige Stichproben durchgeführt worden. Dieser ergibt für die KTG zwischen allen Messzeitpunkten der jeweiligen Sprintstrecken ein signifikantes Ergebnis. Demnach zeigt ein Krafttraining einen positiven Effekt auf die Leistung im Richtungswechselsprint bei Fußballspielern aus dem B-Juniorenbereich. Im zweiten Jahr zeigen sich gegenüber dem ersten Jahr in allen Sprintstrecken sogar höhere Steigerungen. Maio Alves et al. (2010) beobachten nach einem sechswöchigen Krafttraining mit der Kniebeuge bei Fußballspielern gleichen Alters keine signifikanten Steigerungen in der Leistung des Richtungswechselsprints. Die Länge des Interventionszeitraums für das Training ist möglicherweise auch in diesem Fall entscheidend für die Leistungsentwicklung. Ein Krafttraining über sechs Wochen bei unerfahrenen Fußballspielern kann kaum eine Maximalkraftentwicklung erzwingen, die sich positiv auf eine Transferleistung auswirkt. Meist sind die Probanden bei einem sechswöchigen Krafttraining nicht einmal in der Lage, die Technik einer komplexen Übung fehlerfrei auszuüben. Dadurch kann die benötigte Belastungsintensität ebenfalls kaum erzeugt werden. Garcia-Pinillos et al. (2014) ermitteln jedoch signifikante Steigerungen im Richtungswechselsprint nach einem zwölfwöchigen Training mit Kraft- und Sprungvarianten bei 16-jährigen Fußballspielern. Weiterhin zeigen Nimphius, McGuigan & Newton (2012) bei weiblichen Softballspielern positive Leistungsentwicklungen im Richtungswechselsprint von 5,5% nach einem Jahr Krafttraining. Diese Leistungsentwicklung gleicht den in dieser

Untersuchung ermittelten Ergebnissen. Demnach führt ein Krafttraining über einen langen Zeitraum von mehr als einem Jahr im Alter des B-Juniorenbereichs zu positiven Leistungsentwicklungen.

Die CG zeigt auf dem Faktor Messzeitpunkt für nahezu alle Sprintdistanzen eine negative Leistungsentwicklung im Richtungswechselsprint. Nur für die Sprintstrecke 5m rechts zwischen T2 und T3 sowie für die Sprintstrecke 5m links zwischen T1 und T2 werden keine Signifikanzen ermittelt. Aufgrund des Alters und der Tatsache, dass die Spieler der CG einen hohen Trainingsumfang pro Woche haben, stellt sich dieses Ergebnis entgegen den Erwartungen dar (vgl. Vääntinen et al. 2011). Die CG zeigt in Bezug auf die Maximalkraft im Verlauf des Interventionszeitraums nur im ersten Jahr Steigerungen, die jedoch nicht an die Entwicklungsraten der C-Junioren heranreichen. Im zweiten Jahr kommt es zu einer Stagnation in der Entwicklung der Maximalkraft. Dies könnte ein Grund für den negativen Verlauf der Leistung im Richtungswechselsprint sein (vgl. Sheppard & Young 2006), der sich gerade bei den Sprintstrecken über 10m bemerkbar macht, in denen die Kräfte beim Abbremsen noch höher sind als über die 5m Sprintstrecken, da bei der Testung der zweite Richtungswechsel aus dem Lauf mit höheren Geschwindigkeiten absolviert wird (vgl. Spiteri et al. 2013). Dennoch kommt es zu Steigerungen der Maximalkraft, was sich zumindest in einem Halten des Leistungsniveaus hätte ausdrücken müssen. Demnach kann der Verlauf der Maximalkraftentwicklung nicht allein der Grund für das Abfallen des Leistungsniveaus im Richtungswechselsprint sein. Weiterhin zeigt die CG im Verlauf der beiden Jahre Erhöhungen des Körpergewichts von etwa 10kg. Die Spieler sind möglicherweise durch das erhöhte Körpergewicht nicht in der Lage gewesen, beim Richtungswechselsprint eine höhere Leistung zu erzielen. Demnach ist die ungünstige Konstellation der Maximalkraftentwicklung und der Erhöhung des Körpergewichts für die Leistung im Richtungswechselsprint verantwortlich. Die Erhöhung des Körpergewichts ist nicht auf eine Erhöhung des Körperfettanteils zurückzuführen, sondern auf muskuläre Zuwächse. Allerdings ist ein erhöhter Muskelquerschnitt nicht immer gleichbedeutend mit einer Erhöhung des Maximal- oder Schnellkraftverhaltens (vgl. DiNaso et al. 2012). Wird die Muskulatur nicht entsprechend trainiert, kann das Schnellkraftverhalten nicht gesteigert werden. Dies ist wiederum ungünstig für die Kraftleistung, die für das Beschleunigen und Abbremsen beim Richtungswechselsprint benötigt wird. Chaleh, Fatemi & Shahavasar (2012) bestätigen dies in ihrer Untersuchung, die im B-Juniorenalter zwischen der Schnellkraftleistung und der Leistung im Richtungswechselsprint Korrelationen von  $r = .89$  ermittelte.

Um eine konkretere Begründung für den Verlauf der Leistung im Richtungswechselsprint geben zu können, wird eine vergleichende Betrachtung mit den Querschnittsdaten der Schüler herangezogen. Es zeigt sich eine höhere Leistungsfähigkeit der CG zum Zeitpunkt T1 im Vergleich zu den Schülern im Altersbereich der U15 (siehe Tab. 40). Demnach kann davon ausgegangen werden, dass das Fußballspielen einen positiven Einfluss auf die Leistungsfähigkeit im Richtungswechselsprint hat. In Bezug auf den Verlauf der Richtungswechselsprintleistung bei den Schülern ist keine Veränderung zwischen der U15, U16 und U17 zu beobachten. Demnach kommt es wie im Altersbereich der C-Junioren weder zu einer positiven noch zu einer negativen Entwicklung. Bedingt sind diese Ergebnisse möglicherweise auch durch das Testdesign an sich, da der Richtungswechselsprint eine spezifische Bewegungsform darstellt, die im Alltag nicht vorkommt. Die vergleichende Betrachtung zwischen den Schülern und der CG erklärt jedoch nicht den negativen Leistungsverlauf im Richtungswechselsprint der CG. Gerade vor dem Hintergrund, dass das Fußballspielen einen höheren Leistungsstandard generiert, müsste sich der Unterschied zwischen den Schülern und der CG im Altersverlauf weiter erhöhen. Letztlich bleibt nur die bereits aufgeführte Erklärung über einen Entwicklungsschub im Körperlängen- und Körperbreitenwachstum, der dazu führen kann, dass sich koordinative, automatisierte Bewegungsmuster kurzzeitig verschieben sowie die zu beschleunigende Körpermasse erhöht und dadurch eine Leistungsreduktion entstehen kann (vgl. Philippaerts et al. 2006).

Tabelle 40: Vergleichende Betrachtung des Richtungswechselsprints der Schüler und der CG im B-Juniorenbereich

Sprintstrecke/Gruppe	CG (T1)	Schüler (U15)
<b>5m links</b>	1,672	2,016
<b>10m links</b>	3,141	3,800
<b>5m rechts</b>	1,678	2,058
<b>10m rechts</b>	3,179	3,915
m = Meter; T1 = Messzeitpunkt 1; U15 = 14 Jahre alt		

Im Gruppenvergleich zwischen der KTG und der CG zeigen sich in allen Sprintstrecken signifikante Unterschiede in der Leistungsentwicklung. Diese resultieren daraus, dass die KTG einen positiven Verlauf in der Leistungsentwicklung über die beiden Jahre nimmt, die CG hingegen einen negativen Verlauf. Auch bei der Betrachtung der Schülerdaten muss konstatiert werden, dass ein Krafttraining zur Steigerung der Leistung im Richtungswechselsprint über zwei Jahre dem Fußballspielen und den entwicklungsbedingten

Faktoren im B-Juniorenbereich überlegen ist. Dies liegt auch an den hohen Maximalkraftsteigerungen der KTG, die dazu führen, dass ein Abbremsen und Beschleunigen des eigenen Körpergewichts bei einem Richtungswechselsprint wesentlich schneller vollzogen werden kann (vgl. Nimphius, McGuigan & Newton 2012; Swinton et al. 2014). Dabei spielt nicht nur das erhöhte Maximalkraftniveau der unteren Extremitäten eine Rolle, sondern auch ein wahrscheinlich erhöhtes Maximalkraftniveau der Rumpfmuskulatur. Diese wird durch die Übung Kniebeuge in erheblichem Maße beansprucht (vgl. Hamlyn, Behm & Young 2007). Die Rumpfstabilität, die durch das Maximalkraftniveau mitbestimmt wird, gilt als Einflussfaktor beim Abbremsen und Einleiten der Beschleunigung im Richtungswechselsprint (vgl. Kovacs, Roetert & Ellenbecker 2008). Insgesamt stehen diese Ergebnisse im Einklang mit denen anderer Untersuchungen, die einen positiven Effekt eines Krafttrainings mit der Langhantel auf die Leistung im Richtungswechselsprint ermitteln (vgl. Jullien et al. 2008; Nimphius, McGuigan & Newton 2012).

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass sich ein Krafttraining im B-Juniorenbereich positiv auf die Leistung im Richtungswechselsprint auswirkt. Im Gegensatz dazu reicht das reguläre Fußballtraining allein nicht aus, um diese Effekte kompensieren zu können. Vielmehr ist offensichtlich eine Stagnation bzw. Reduktion der Leistung im Richtungswechselsprint in diesem Altersbereich vorhanden.

### 5.5.3 A-Junioren

Die Varianzanalyse weist einen signifikanten Unterschied zwischen der KTG und der CG im Messzeitpunkt T1 für alle Sprintdistanzen nach, wobei die CG bessere Leistungen zeigt. Ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Leistungsfähigkeit des Richtungswechselsprints ist nicht zu erwarten gewesen. Sowohl die anthropometrischen Parameter Körpergewicht und Körpergröße als auch die Maximalkraftparameter sind zwischen den beiden Gruppen in T1 nicht signifikant. Auch für die Schnelligkeitsleistungen im Linearsprint wird in T1 kein Gruppenunterschied ermittelt. Demnach ist das Niveau von drei der vier wesentlichen Einflussfaktoren auf die Richtungswechselsprintleistung in beiden Gruppen gleich ausgeprägt (vgl. Sheppard & Young 2006). Auch die im Vorfeld mit den Trainern und Spielern abgeklärten standardisierten Bedingungen sind von beiden Gruppen eingehalten worden. Als Erklärungsansatz für das Ergebnis kann daher nur die technische Komponente herangezogen werden. Es ist möglich, dass der CG zum Zeitpunkt T1 eine schnellere Gewöhnung an den Testaufbau gelungen ist, obwohl beide Gruppen einen Test-Retest durchlaufen sind. Weiterhin könnte durch leichte Unterschiede in den Schwerpunkten



der Trainingsinhalte im Rahmen der Saisonvorbereitung die CG wesentlich häufiger den Richtungswechselsprint trainiert haben. Eine endgültige Klärung, wodurch dieses Ergebnis zu Stande gekommen ist, kann jedoch nicht gegeben werden.

Auf dem Messwiederholungsfaktor zeigt die KTG für alle Sprintdistanzen zwischen nahezu allen Messzeitpunkten ein signifikantes Ergebnis. Für die Sprintdistanz 10m rechts wird kein signifikantes Ergebnis zwischen T2 und T3 nachgewiesen, jedoch wird das Signifikanzniveau geringfügig verfehlt ( $p < 0.053$ ). Demnach wird durch ein Krafttraining ein positiver Effekt auf die Richtungswechselsprintleistung erzeugt (vgl. Jullien et al. 2008; Nimphius, McGuigan & Newton 2012; Tricoli et al. 2005). Ein periodisiertes Krafttraining mit Trainingsblöcken zur Erhöhung des Muskelquerschnitts und zur Steigerung der intramuskulären Koordination wirkt sich positiv auf die Maximalkraft aus (vgl. Hartmann et al. 2012). Das erhöhte Maximalkraftniveau wiederum wirkt aufgrund der Erhöhung des sich daraus ergebenden Schnellkraftniveaus leistungssteigernd auf den Richtungswechselsprint (vgl. Nimphius, McGuigan & Newton 2012; Swinton et al. 2014).

Für die CG wird auf dem Messwiederholungsfaktor kein signifikantes Ergebnis in allen Sprintdistanzen ermittelt. Auch Vääntinen et al. (2011) zeigen in diesem Altersbereich keine Leistungssteigerungen für den Richtungswechselsprint. Dies liegt an der nahezu abgeschlossenen pubertären Entwicklung, wodurch es in diesem Altersbereich nicht mehr zu einem entwicklungsbedingten Wachstum der Körperlänge und der Körperbreite kommt (vgl. Papaïakovou et al. 2009). Auch das Fußballtraining an sich scheint in diesem Alter keinen positiven Effekt mehr auf die Leistung im Richtungswechselsprint zu erwirken. Dies wird in der vergleichenden Betrachtung mit den Querschnittsdaten der Schüler näher erläutert. In Tab. 41 sind die Richtungswechselsprintdaten der Schüler (U17) und der CG in T1 dargestellt. Die CG weist einen höheren Leistungsstand in allen Sprintstrecken auf. Demnach ist auch unter der Betrachtung der C- und B-Junioren ein Fußballspieler im Richtungswechselsprint besser als untrainierte Schüler. Durch diese Ergebnisse bestätigt sich der Einfluss von Fußballspielen auf die Leistung im Richtungswechselsprint. Die Annahme, dass Fußballspieler besser als untrainierte Schüler im Richtungswechselsprint sind, ergibt sich schon durch den spezifischen Bewegungsablauf, der im Fußball häufig vorkommt (vgl. Rehhagel 2011). Daher ist ein positiver Effekt aufgrund von Gewöhnung und dem Training bei den Fußballspielern gegeben, dem die Schüler nicht unterliegen. Auch Chaouachi et al. (2014) zeigen, dass sich Richtungswechselsprints im Training bei Fußballspielern positiv auf die Leistung auswirken.

Die CG zeigt jedoch im Verlauf der beiden Jahre keine Veränderungen der Leistung im Richtungswechselsprint. Auch für die Schüler wird keine signifikante Veränderung ermittelt. Unter der Betrachtung von Abb. 51 ergibt sich der gleiche Verlauf für die CG und die Schüler. Entwicklungsbedingte Veränderungen, die einen Einfluss auf die Leistung im Richtungswechselsprint haben, sind in diesem Altersbereich demnach nicht mehr vorhanden. Dies ist aufgrund der Tatsache, dass Wachstumsprozesse meist schon abgeschlossen sind, nachzuvollziehen (vgl. Papaïakovou et al. 2009). Weiterhin ist zu beachten, dass das Fußballspielen in diesem Altersbereich ebenfalls keinen Einfluss auf eine positive Entwicklung des Richtungswechselsprints hat. Demnach ist das Fußballspielen allein nicht mehr ausreichend, um im A-Juniorenbereich eine Leistungssteigerung im Richtungswechselsprint zu generieren. Dies zeigen auch Magal et al. (2009) bei erwachsenen Fußballspielern, die über den Verlauf einer Saison keine Leistungssteigerungen im Richtungswechselsprint aufweisen.

Tabelle 41: Vergleichende Betrachtung des Richtungswechselsprints der Schüler und der CG im A-Juniorenbereich

Sprintstrecke/Gruppe	CG (T1)	Schüler (U17)
<b>5m links</b>	1,678	1,889
<b>10m links</b>	3,162	3,618
<b>5m rechts</b>	1,647	1,935
<b>10m rechts</b>	3,144	3,629

m = Meter; T1 = Messzeitpunkt 1; U17 = 16 Jahre alt

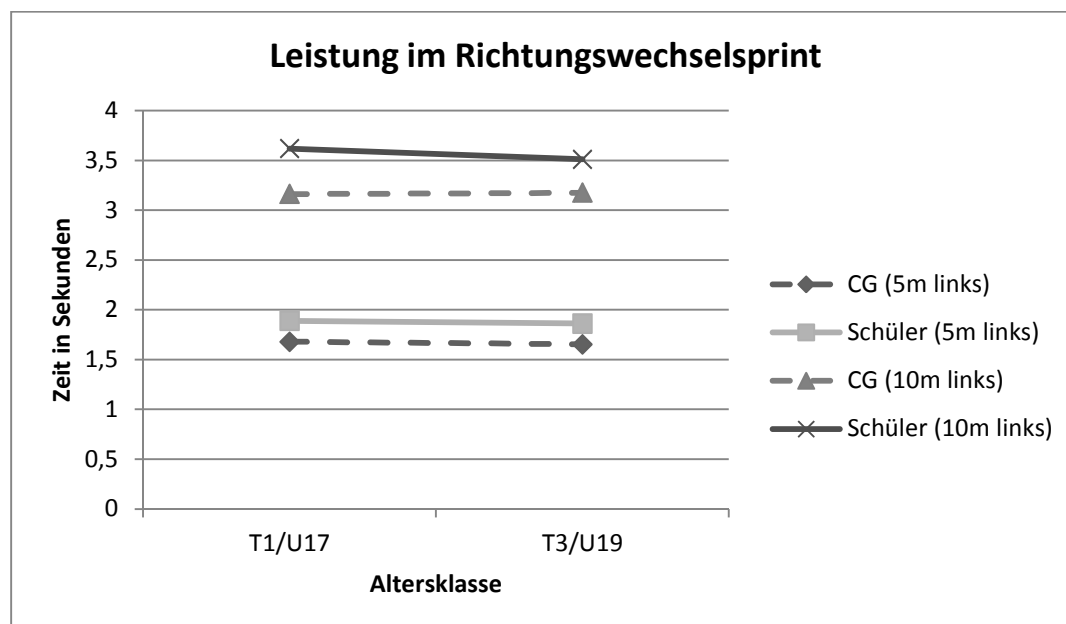


Abbildung 51: Verlauf der Leistung im Richtungswechselsprint 5m und 10m links bei den Schüler und der CG im A-Juniorenbereich über den Zeitraum von zwei Jahren

Im Gruppenvergleich zeigt die KTG eine signifikant bessere Leistungsentwicklung in allen Sprintstrecken zwischen den jeweiligen Messzeitpunkten, mit Ausnahme des Zeitraums von T2 nach T3 bei der Sprintstrecke 5m links. Hier zeigen beide Gruppen ähnliche Entwicklungsverläufe. Demnach wird davon ausgegangen, dass eine Kombination aus Krafttraining und Fußballtraining gegenüber einem reinen Fußballtraining eine höhere Leistungssteigerung im Richtungswechselsprint über einen Zeitraum von zwei Jahren generiert. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit weiteren Analysen, die diesen Altersbereich oder ältere Sportler untersuchen (vgl. Faude et al. 2013; Jullien et al. 2008; McBride et al. 2002; Nimphius, McGuigan & Newton 2012; Tricoli et al. 2005). Hingegen zeigen Shalfawi et al. (2013) keine Leistungssteigerungen durch ein Krafttraining in diesem Altersbereich, wobei dies durch die Länge des Interventionszeitraums, der maximal zehn Wochen beträgt, begründet wird. Eine vergleichende Untersuchung von länger als einem halben oder einem Jahr können nur Nimphius, McGuigan & Newton (2012) aufweisen. Daher ist davon auszugehen, dass ein langfristiges Krafttraining positive Effekte auf die Richtungswechselsprintleistung erzielt. Weiterhin ist das Trainingsmittel offensichtlich ein wichtiger Faktor für das Ergebnis. Die Untersuchungen, die positive Effekte eines Krafttrainings nachweisen, integrieren koordinativ anspruchsvolle translatorische Übungen wie die Kniebeuge oder Gewichthebeübungen in das Krafttraining (vgl. Faude et al. 2013; Jullien et al. 2008; McBride et al. 2002; Nimphius, McGuigan & Newton 2012; Tricoli et al. 2005). Shalfawi et al. (2013) arbeiten hingegen mit rotatorischen Übungen an Maschinen, wodurch kein Effekt auf die Leistung im Richtungswechselsprint generiert wird. Demnach sind koordinativ anspruchsvolle Übungen im Krafttraining zu bevorzugen (vgl. Wirth & Zawieja 2008). Der Unterschied zwischen der Entwicklung im Richtungswechselsprint der beiden Gruppen ist durch den differierenden Verlauf der Maximalkraft zu erklären. Beide Gruppen zeigen zwar Steigerungen der Maximalkraft, die KTG weist jedoch höhere Entwicklungen auf. Mit der gesteigerten Maximalkraft wird auch das Schnellkraftverhalten positiv beeinflusst (vgl. Hartmann et al. 2012). Unter den Bedingungen des Testdesigns für die Richtungswechselsprints nimmt das Kraftverhalten möglicherweise eine sehr hohe Bedeutung ein. Kurze Sprintstrecken erfordern hohe Beschleunigungen gefolgt von hohen Geschwindigkeitsreduktionen. Dies führt zu großen Bodenreaktionskräften, die nur durch ein ausgeprägtes Maximal- und Schnellkraftniveau kompensiert werden können, sodass eine bessere Leistung im Richtungswechselsprint erfolgt (vgl. Sheppard & Young 2006).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass ein langfristiges periodisiertes Krafttraining wichtig ist für die Entwicklung der Richtungswechselsprintleistung im A-Juniorenbereich, der sich bezüglich der Belastungsnormativa nicht stark vom Seniorenfußball unterscheidet. Der Grund ist das beendete Wachstum, woraus sich keine weiteren Entwicklungen mehr ergeben können. Auch die Reizsetzung durch das Fußballspielen ist nicht mehr ausreichend für eine Leistungsentwicklung im Richtungswechselsprint. Daher ist ein Krafttraining im Fußball für diesen Altersbereich und auch für den Seniorenfußball in den Gesamttrainingsprozess zu integrieren (vgl. Berdejo-del-Fresno 2012; Stodden & Galitski 2010).

### **5.6 Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und dem Linearsprint**

Für die Zusammenhangsanalyse zwischen dem 1RM der Front- bzw. Nackenkniebeuge und der Leistung im Linearsprint werden die jeweiligen Altersklassen auf Unterschiede überprüft. Hier zeigt sich nur für zwei Korrelationen (1RM Front und 1RM Nacken mit 15m Linearsprint) ein leicht höherer empirischer Z-Wert im Vergleich zum theoretischen Z-Wert. Somit werden alle Altersklassen zusammengefügt und die Korrelationsanalyse nach Pearson für den gesamten Probandenpool durchgeführt.

Die Korrelationsanalyse ergibt für alle Parameter des Linearsprints mit den Maximalkraftparametern einen signifikanten negativen mittleren Zusammenhang von  $r = -.36$  bis  $-.56$ . Die Ergebnisse decken sich mit den in der Literatur angegebenen Korrelationen zwischen Maximalkraftwerten und Sprintzeiten im Linearsprint (vgl. Chaouachi et al. 2009; Comfort et al. 2014; Dowson et al. 1998; Hori et al. 2008; Kukolj et al. 1999; McBride et al. 2009; Sleivert & Taingahue 2004). Auffällig in der Ergebnisbetrachtung ist es, dass die höchsten Korrelationen zwischen den Maximalkraftparametern und den Sprintdistanzen zwischen 20m und 30m ermittelt werden. Die Annahme, dass die Maximalkraftparameter wegen der Körperbeschleunigung den höchsten Einfluss auf die ersten Meter haben, kann nicht bestätigt werden. Ähnliche Ergebnisse zeigen auch McBride et al. (2009), die zwischen dem 1RM in der Kniebeuge relativiert am Körpergewicht und der 30m Sprintleistung höhere Korrelationen finden als zwischen dem relativierten 1RM und der 5m oder 10m Sprintleistung. Dies bestätigen auch Baker & Nance (1999), die zwischen dem 3RM in der Kniebeuge und der 10m Sprintleistung geringere Korrelationen als bei der 40m Sprintleistung erfassen. Ebenso ermitteln Dowson et al. (1999) höhere Korrelationen zwischen der Maximalkraft und der Sprintleistung, wenn die Streckenlänge des Sprints größer wird.

Chaouachi et al. (2009) zeigen hingegen gleiche Korrelationen zwischen dem 1RM in der Kniebeuge und den Sprintleistungen über 5m, 10m und 30m. Demnach scheint die Maximalkraft in der Beschleunigungsphase einen höheren Einfluss auf die Sprintleistung zu haben, als in der Antrittsphase aus dem Stand. Möglicherweise ist der Parameter Explosivkraft für den Antritt aus dem Stand wichtiger als die Maximalkraft. Auch Slawinski et al. (2010) zeigen bei Top-Sprintern den hohen Einfluss der Explosivkraft auf den ersten Metern eines Sprints. Dafür sprechen auch die ermittelten Ergebnisse von Cronin & Hansen (2005) sowie Lockie et al. (2011), die für Schnellkraftleistungen hohe Korrelationen mit den Sprintzeiten über 5m und 10m zeigen, sowie die Ergebnisse von Habibi et al. (2010), die hohe Korrelationen ( $r = .75$  bis  $.84$ ) zwischen der Sprintleistung über 10m und horizontalen Sprungvarianten ermitteln.

Des Weiteren fällt auf, dass die Korrelationen zwischen dem 1RM der Nackenkniebeuge und den Sprintleistungen tendenziell höher sind als zwischen dem 1RM der Frontkniebeuge und den Sprintleistungen. In der Literatur zeigen sich nur wenige Untersuchungen mit der Übung Frontkniebeuge. Hori et al. (2008) beobachten Korrelationen zwischen der Sprintleistung und dem 1RM der Frontkniebeuge von  $r = .60$ . Diese Korrelation ist demnach höher als die in dieser Untersuchung ermittelten Korrelationen zwischen dem 1RM der Frontkniebeuge und den Sprintleistungen. Weitere Untersuchungen, die einen Zusammenhang zwischen dem 1RM der Nackenkniebeuge und der Sprintleistung erfassen, zeigen Korrelationen von  $r = .45$  bis  $.94$  (vgl. Chaouachi et al. 2009; McBride et al. 2009; Requena et al. 2009; Sleivert & Taingahue 2004; Wisloff et al. 2004). Eine mögliche Begründung für die tendenziell unterschiedlichen Zusammenhänge zwischen der Sprintleistung und dem 1RM der Nacken- bzw. Frontkniebeuge geben Yetter & Moir (2008) an. Sie können zeigen, dass die Sprintleistung durch die Nackenkniebeuge in höherem Maße beeinflusst wird als durch die Frontkniebeuge. Begründet wird dies durch die möglicherweise unterschiedliche Ansteuerung der Muskulatur, die sich aufgrund der Bewegungsausführung ergibt.

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass das 1RM in der Front- und Nackenkniebeuge einen Einfluss auf die Sprintleistung im Linearsprint über die ersten 30m hat. Inwiefern eine Gewichtung der möglichen Einflussparameter zwischen den Distanzen eines Antritts (5m bis 10m) und der Beschleunigungsphase (10m bis 30m), die auch durch Schlumberger (2006) definiert werden, erfolgen kann, muss in weiteren Forschungsarbeiten eruiert werden.

### **5.7 Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und dem Richtungswechselsprint**

Für die Zusammenhanganalyse zwischen dem 1RM in der Front- bzw. Nackenkniebeuge und der Leistung im Richtungswechselsprint werden zunächst die jeweiligen Altersklassen auf Unterschiede überprüft. Da sich altersbezogen zwischen den jeweiligen Korrelationen Unterschiede in mehreren Fällen ergeben haben, wird die Zusammenhanganalyse separat für die einzelnen Altersklassen durchgeführt.

Insgesamt fällt auf, dass für alle Altersklassen höhere Korrelationen zwischen der Maximalkraft und dem Richtungswechselsprint 5m und 10m rechts vorhanden sind als zwischen der Maximalkraft und dem Richtungswechselsprint 5m und 10m links. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass mehr als 90% der Spieler rechtsfüßig sind. Demnach können die Spieler beim Richtungswechsel nach links mit dem dominanten Bein den Richtungswechsel einleiten. Für den Richtungswechsel nach rechts muss das nicht dominante Bein den Richtungswechsel einleiten und den ersten Impuls in die neue Richtung geben. Diese Seite ist ohnehin die unangenehmere für die Spieler, weil sie mit dem linken Fuß im Fußball wenige Aktionen durchführen. Daher spielen Faktoren wie die Maximalkraft für die ungewohnte Seite eine größere Rolle. Auf der gewohnten Seite können die Spieler in der Bewegung mit technischen Elementen andere Defizite wie eine geringe Maximalkraft kompensieren. Dies funktioniert auf der eher schwächeren Seite nur bedingt. Wenn Spieler eine höhere Maximalkraft besitzen, ist eine bessere Leistung in diesem Testdesign des Richtungswechselsprints demnach eher gegeben. Daraus resultiert auch die Notwendigkeit, im Rahmen des gesamten Trainings ein Defizittraining für die schwächere Seite durchzuführen. Weiterhin wird ersichtlich, dass bei allen Altersklassen die Korrelationen zwischen der Maximalkraft und den 10m Strecken tendenziell höher sind als zwischen der Maximalkraft und den 5m Strecken. Bei den 5m Strecken kommt es jeweils zu einem Antritt von 2,5m mit einem Richtungswechsel, wohingegen bei den 10m Strecken ein Antritt von 5m und ein Antritt von 2,5 m mit einem Richtungswechsel dazu kommen. Demnach muss vor dem zweiten Richtungswechsel eine höhere Geschwindigkeit abgebremst werden. Da beim Abbremsen die höchsten Kräfte wirken (vgl. Spiteri et al. 2013), ist ein höheres Maximalkraftniveau der unteren Extremitäten und des Rumpfes offensichtlich wichtiger für eine gute Leistung im Richtungswechselsprint über die 10m Strecke als über die 5m Strecke (vgl. Kovacs, Roetert & Ellenbecker 2008). Auch Sheppard & Young (2006) geben an, dass

das Maximalkraftniveau wichtiger wird, wenn die Sprintstrecke vor dem Richtungswechsel höher wird. Demnach bestätigen die ermittelten Ergebnisse dieser Untersuchung die in der Literatur angegebenen Annahmen. Neben der Streckenlänge wird auch ersichtlich, dass zwischen der Nackenkniebeuge und der Leistung im Richtungswechselsprint tendenziell höhere Korrelationen vorhanden sind als bei der Fronkniebeuge. Möglicherweise ist dies durch die Bewegung in der Kniebeuge zu erklären. Bei der Nackenkniebeuge kommt es öfter dazu, dass der Oberkörper weiter nach vorne abkippt als bei der Fronkniebeuge, da bei der Fronkniebeuge die Hantel von der Schulter fallen würde, wenn der Oberkörper zu weit nach vorne gebeugt wird. In der Fronkniebeuge muss daher darauf geachtet werden, dass der Oberkörper möglichst aufrecht bleibt. Da der Oberkörper beim Richtungswechselsprint ebenfalls nach vorne bzw. in die Laufrichtung gebeugt sein soll, ist eine mögliche nähere Bewegungsform zur Nackenkniebeuge eine Begründung für das Ergebnis. Dies gilt es jedoch in zukünftigen Untersuchungen näher zu analysieren.

Des Weiteren zeigen sich mit steigendem Alter geringere Korrelationen zwischen der Front- bzw. Nackenkniebeuge und dem Richtungswechselsprint. Bei den C-Junioren kommt es noch zu mittleren bis hohen Korrelationen von  $r = -.57$  bis  $-.68$ , bei den B-Junioren hingegen nur noch zu geringen bis mittleren Korrelationen von  $r = -.27$  bis  $-.59$ . Für die A-Junioren zeigen sich letztlich nur geringe, nicht signifikante Korrelationen von  $r = -.18$  bis  $-.37$ . Das Ergebnis der A-Junioren deckt sich mit den Angaben aus der Literatur, in denen bei konzentrischen/exzentrischen Maximalkrafttests und der Leistung im Richtungswechselsprint bei Erwachsenen ebenfalls nur geringe bis mittlere Korrelationen erfasst werden können (vgl. Chaouachi et al 2009; Hori et al. 2008; Jones, Bampouras, Marrin 2009). Demnach ist anzunehmen, dass sich die Korrelationen zwischen dem Richtungswechselsprint und der Maximalkraft altersbedingt unterscheiden. Eine Begründung für dieses Ergebnis kann die unterschiedliche Zusammensetzung der jeweiligen Altersgruppen sein. Hier zeigen die C-Junioren die höchste Heterogenität bezüglich der Körpergröße. Da die Körpergröße im Jugendbereich einen hohen Einfluss auf die Maximalkraft und auch auf die Sprintleistung hat (vgl. Malina et al. 2007; Mayhew et al. 1993; Schiffer 2009), ist es naheliegend, dass es bei den C-Junioren zu höheren Korrelationen kommen kann als bei den anderen beiden Jahrgängen. Die Körpergrößenunterschiede haben sich bis zum A-Juniorenalter ausgeglichen, sodass die Korrelationen dann geringer sein dürften. Ein Maximalkraftzuwachs durch Körpergrößenzunahmen ist dann nicht mehr zu erwarten. Hier scheinen schließlich Technikelemente im Vordergrund zu stehen. Ein weiterer Ansatz für eine vorsichtige

Betrachtung dieses Ergebnisses ist die Anzahl der Probanden, die in die Berechnung eingeflossen sind. Da die Altersbereiche getrennt betrachtet werden, kommt es im A-Juniorenbereich zu einem  $n < 50$ . Daher kann keine eindeutige Aussage für das Ergebnis getroffen werden. Diesbezüglich müssen weitere Forschungsarbeiten prüfen, ob sich die Zusammenhänge, bezogen auf die Leistung im Richtungswechselsprint und im 1RM der Kniebeuge zwischen den Altersklassen im Fußball unterscheiden. Darüber hinaus ist möglicherweise der Parameter Maximalkraft bezogen auf das Körpergewicht für die Leistung im Richtungswechselsprint relevant (vgl. Nimphius, McGuigan & Newton 2012; Swinton et al. 2014). Auch die muskuläre Arbeitsweise bei rein exzentrischer Form könnte höhere Korrelationen zeigen (vgl. Jones, Bampouras & Marrin 2009). Für diese beiden Faktoren gilt es ebenfalls, weitere Forschungsansätze vorzunehmen.

### **5.8 Zusammenhang zwischen dem Linearsprint und dem Richtungswechselsprint**

Die Zusammenhangsanalyse zwischen den Parametern des Linearsprints und des Richtungswechselsprints zeigt bei den jugendlichen Fußballspielern im Nachwuchsleistungssport mittlere bis hohe signifikante Korrelationen. Dabei liegt die Spannweite der Korrelationen zwischen  $r = .53$  und  $.66$ . Unerwartet ist die Tatsache, dass die Korrelationen zwischen der 5m Sprintzeit und den Richtungswechselfparametern am geringsten ist, da davon ausgegangen werden kann, dass diese Parameter aufgrund der ähnlichen Streckenlängen höhere Zusammenhänge aufweisen (vgl. Kapidzic et al. 2011; Swinton et al. 2014). Demnach ist eine Bestätigung der Annahme, dass der Zusammenhang zwischen Linearsprint und Richtungswechselsprint von der Streckenlänge abhängig ist, nicht möglich. Dennoch stehen die hier ermittelten Ergebnisse im Einklang mit den Ergebnissen aus den Untersuchungen von Nimphius, McGuigan & Newton (2012) sowie Young, Miller & Talpey (2015), die einen mittleren Zusammenhang zwischen dem Linearsprint und dem Richtungswechselsprint 505-Agility ermitteln. Auch Jones, Bampouras & Marrin (2009) und Swinton et al. (2014) zeigen ähnliche Zusammenhänge zwischen dem 505-Agility und dem Linearsprint über 5m. Dies resultiert möglicherweise aus der Ähnlichkeit zwischen dem hier angewandten Richtungswechseltest und dem 505-Agility. Beim 505-Agility gibt es zwar nur einen Richtungswechsel bei  $180^\circ$ , jedoch ist die Streckenlänge mit insgesamt 10m die gleiche wie in dem hier angewandten Test. Auch im T-Test zeigen sich mittlere Korrelationen zum Linearsprint über 20m (vgl. Jakovljevic et al. 2012). Chaouachi et al. (2009) bestätigen dies mit Korrelationen von  $r = .39$  bis  $.63$  zwischen der Zeit im T-Test und dem Linearsprint über



5m, 10m sowie 30m. Bezogen auf die Streckenlänge und auf die Winkel für den Richtungswechsel ähnelt der Testaufbau in dieser Untersuchung dem 505-Agility Test. Ebenso zeigt Rehhagel (2011) mit einem ähnlichen Testdesign (ein Richtungswechsel um einen 90°-Winkel und einen 45°-Winkel) mittlere Korrelationen zum Linearsprint über 10m. Demnach kann festgehalten werden, dass das Testdesign für einen Richtungswechselsprint bei kurzen Distanzen einen Zusammenhang mit dem Linearsprint über die Beschleunigungsphase bei Fußballspielern aufweist. Weiterhin ist anzumerken, dass die Zusammenhangsanalyse in dieser Untersuchung mit Daten von Fußballspielern aus drei Altersklassen durchgeführt worden ist. Da der Probandenpool aufgrund der verschiedenen Altersklassen heterogener ist als in der Untersuchung von Rehhagel (2011), mit nur einem Jahrgang, sind die Korrelationen in dieser Untersuchung möglicherweise etwas höher. Dies bestätigt auch die Untersuchung von Young, Miller & Talpey (2015), die eine Gruppe von Amateuren aus dem Rugby untersuchen. Die Probandenanzahl in dieser Untersuchung ist mit  $n > 100$  weitaus größer als in den meisten empirischen Untersuchungen, wodurch die Aussagekraft der hier ermittelten Ergebnisse verstärkt wird. Weiterhin zeigen Hachana et al. (2013) zwischen dem Illinois-Agility-Test und dem 10m Sprint niedrige Korrelationen ( $r = .16$ ). Dieser Richtungswechselttest beinhaltet mehrere Richtungswechsel auf einer großen Sprintdistanz. Demnach wären der Linearsprint und der Richtungswechselsprint als getrennte konditionelle Parameter zu betrachten. Ebenso zeigen sich zwischen dem T-Test und dem Illinois-Agility-Test nur geringe Korrelationen ( $r = .39$ ). Auch Jakovljevic et al. (2012) erfassen unterschiedliche Zusammenhänge zwischen dem Linearsprint über 20m und dem T-Test ( $r = .51$ ) sowie dem Zigzag-AG-Drill ( $r = .32$ ). Demnach erfassen jeweils beide Testvarianten des Richtungswechselsprints nicht dieselben Leistungsparameter.

Insgesamt muss festgehalten werden, dass eine klare Abgrenzung zwischen dem Linearsprint und dem Richtungswechselsprint nicht gegeben ist. Beide Sprintvarianten haben zum Teil gleiche Einflussfaktoren. Hier ist die Wahl des Testdesign entscheidend für einen hohen oder geringen Zusammenhang, sodass es zu untersuchen gilt, ob die verschiedenen Testdesigns die gleiche Fähigkeit testen. Daraus ergeben sich schließlich Testmöglichkeiten, die als reliabel und valide für den zu erfassenden konditionellen Parameter gelten.

### **6 Schlussfolgerungen und Ausblick**

In dieser Untersuchung wird der Effekt eines zweijährigen Krafttrainings auf die Leistung im Linearsprint und Richtungswechselsprint bei jugendlichen Fußballspielern aus dem Nachwuchsleistungssport in den Altersklassen C- bis A-Junioren ermittelt. Die Datenlage dieser Untersuchung zeigt, dass ein Krafttraining einen positiven Effekt auf die Leistungsparameter im Fußball hat. Eine langfristige Trainingsintervention von einem bzw. zwei Jahren kann zu einer Steigerung der Maximalkraft führen. Hier zeigt sich, dass Jugendliche im C-Juniorenalter die höchsten Steigerungsraten aufweisen. Die Maximalkraft ist demnach im Jugendalter durch ein langfristig angelegtes Krafttraining sehr gut zu trainieren. In der Literatur wird für Leistungssportler in Spielsportarten empfohlen, dass zwei- bis zweieinhalbfache des Körpergewichts im 1RM der tiefen Kniebeuge drücken zu können (vgl. Wirth & Zawieja 2008). Mit einem frühzeitig angelegten Krafttraining im Kinder- und Jugendfußball dürften diese Empfehlungen auch unter der Betrachtung der Ergebnisse dieser Untersuchung umsetzbar sein. Weiterhin zeigt sich, dass ein langfristiges periodisiertes Krafttraining einen positiven Effekt auf die Sprintleistung von jugendlichen Fußballspielern in den Altersklassen der C- bis A-Junioren hat. Dies trifft sowohl für den Linearsprint als auch für den Richtungswechselsprint zu. Des Weiteren wird festgestellt, dass ein Krafttraining, das zusätzlich zum regulären Fußballtraining durchgeführt wird, einem ausschließlich regulären Fußballtraining in den meisten Aspekten überlegen ist. Dies zeigt sich gerade im Bereich der A-Junioren. Für die Altersklassen C- und B-Junioren ergibt sich kein eindeutiges Ergebnis, da in diesen Altersbereichen Leistungssteigerungen im Sprintverhalten zu verzeichnen sind, die sich aus wachstumsbedingten Faktoren ergeben. Dies ist im A-Juniorenbereich nicht mehr der Fall, was dazu führt, dass ein Fußballtraining ohne zusätzliche TE im Kraftbereich nicht mehr ausreichend für eine Leistungssteigerung im Sprint ist (vgl. auch Caldwell & Peters 2009; LaTorre et al. 2007).

Obwohl die krafttrainierten Fußballspieler in der Sprintleistung in den meisten Betrachtungen überlegen sind, ist auf die zusätzlichen Trainingsumfänge, die nur diese Fußballspieler absolvieren, aufmerksam zu machen. Allein die erhöhten Trainingsumfänge können letztlich, auch wenn es bei einer koordinativ schwierigen Bewegungskombination wie dem Sprint eher unwahrscheinlich ist, für diese Überlegenheit in der Leistungsentwicklung der krafttrainierten Fußballspieler verantwortlich sein. Demnach ist in zukünftigen Forschungsarbeiten ein Paralleldesign mit vergleichenden Trainingsinhalten in großen Interventionszeiträumen durchzuführen, um weiter klären zu können, welche Trainingsinhalte langfristig bessere

Effekte auf leistungslimitierende konditionelle Parameter im Jugendfußball zeigen. Für die Sprintleistung ist demnach eine vergleichende Analyse von Sprint-, Sprung- und Krafttrainingsinterventionen von mehr als einem Jahr sowie Kombinationen aus diesen Trainingsinhalten erforderlich. Gerade vor dem Hintergrund eines Transfers erworbener Leistungssteigerungen in ausgewählten konditionellen Parametern ist dies für weitere Erkenntnisse erforderlich (vgl. Cormie, McBride & McCaulley 2009; DeVillareal et al. 2009; Holcomb et al. 1996; Mihalik et al. 2008; Turner & Stewart 2014). Des Weiteren ist empirisch zu belegen, wie ein langfristiges Krafttraining im Profibereich bei Fußballspielern gestaltet sein muss, da der Wettkampfkalender im professionellen Fußball eine bedeutendere Rolle für die Trainingssteuerung einnimmt als im Nachwuchsfußball. Davon ausgehend, dass sich der Aufwand mit einem besseren Trainingszustand erhöht, um weitere Entwicklungen zu generieren (vgl. Sheppard & Newton 2012), ist möglicherweise eine individuelle Trainingssteuerung im Profibereich in Betracht zu ziehen (vgl. Kraemer & Ratamess 2004). Auch der Einfluss auf weitere Leistungsparameter im Sprint sollte bei Jugendfußballspielern durch verschiedene Trainingsmethoden in einer langfristigen Betrachtung erörtert werden. Dabei gilt es unter anderem den Einfluss von Kraft-, Sprint- und Sprungtraining auf technische Elemente wie Schrittlänge und Schrittfrequenz sowie Kontaktzeiten zu untersuchen (vgl. Lockie et al. 2014).

Diese Untersuchung liefert erste empirische Daten über einen langfristigen Effekt einer Krafttrainingsintervention im Nachwuchsleistungsfußball. Allerdings sind ausschließlich die Jahrgangsbereiche der A- bis C-Junioren betrachtet worden. Im Sinne des langfristigen Leistungsaufbaus ist ein langfristig und frühzeitig angelegtes Krafttrainingskonzept im Nachwuchsfußball zu integrieren (vgl. Vääntinen et al. 2011). Unter der Annahme, dass ein frühzeitig begonnenes Krafttraining höhere positive Effekte auf Leistungsparameter im Fußball erzielt, ist der Effekt eines Krafttrainings auch in den unteren Jahrgangsbereichen zu untersuchen. Mit den sich daraus erzielten Ergebnissen kann eine eindeutigere Aussage über das zu wählende Einstiegsalter für ein Krafttraining getroffen werden. Demnach sollten sich auch Aussagen darüber treffen lassen, wie sich der Leistungszustand eines Fußballspielers im C- bzw. A-Juniorenbereich darstellt, wenn in einem früheren Altersbereich mit dem Krafttraining begonnen worden ist. Dies kann mit den Ergebnissen dieser Untersuchung nicht gewährleistet werden, da die hier untersuchten Fußballspieler zum Zeitpunkt des Untersuchungsbeginns als krafttrainingsunerfahren gelten.

Ein Krafttraining im Fußball muss auch unter dem Aspekt der Verletzungsprophylaxe in einem Längsschnittdesign über mehrere Jahre untersucht werden. Zum einen dient ein Krafttraining der Gelenkstabilisierung, zum anderen wird durch ein Krafttraining schon frühzeitig eine hohe Belastung auf den passiven Bewegungsapparat ausgeübt, die die Belastungsverträglichkeit in der Pubertät entsprechend erhöhen dürfte. Allerdings muss auf die adäquate Ausrichtung des Krafttrainings entsprechend der unterschiedlichen Altersbereiche geachtet werden, wenn ein Krafttraining frühzeitig im Fußball integriert wird.

In Bezug auf die Zweikampfleistung in einem Spiel ist es notwendig, weitere Untersuchungen durchzuführen. Trainer und Spieler, die an dieser Untersuchung teilgenommen haben, stellen durch eine subjektive Wahrnehmung ein verbessertes Zweikampfverhalten fest. Eine empirische Darlegung kann jedoch nicht gegeben werden. Sollte ein Krafttraining einen positiven Effekt auf das Zweikampfverhalten haben, wäre dies ein weiterer wichtiger Grund für eine frühzeitige Integration dieses Trainingsinhalts.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die Einführung eines Krafttrainings im leistungssportlich orientierten Nachwuchsfußball notwendig ist, um an den athletischen Leistungsstand im Profibereich bezüglich der Sprintleistung heranzukommen und damit die Chancen auf einen Sprung in den Profifußball zu erhöhen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Zeitfaktor und die Einordnung des Krafttrainings in den Gesamttrainingsplan eine wichtige Rolle spielen. Die Durchführung von zwei Krafttrainingseinheiten pro Woche wird dabei als ausreichend definiert (vgl. auch Sheppard & Newton 2012). Die Übungen sollten sich an Empfehlungen von Wirth & Zawieja (2008) anlehnen, da diese Übungen nachweislich eine hohe Wirksamkeit aufgrund des koordinativ anspruchsvollen Niveaus aufweisen. Es ist zu empfehlen, die Aufsicht des Trainings nur unter Trainer zu stellen, die im Krafttraining mit hohen Lasten erfahren sind (vgl. Faigenbaum et al. 2009). Weiterhin ist diese Empfehlung für ein Krafttraining in das umfangreiche Gesamttrainingskonzept Nachwuchsfußball des DFB zu integrieren, um weiterhin dem hohen Anspruch des Weltfußballs gerecht werden zu können.

**Literaturverzeichnis**

- Aagaard, P. & Andersen, J.L. (1998). Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 30(8), 1217-1222.
- Aagaard, P. & Mayer, F. (2007). Neuronal adaptations to strength training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58(2), 50-53.
- Aagaard, P.; Andersen, J.L.; Dyhre-Poulsen, P.; Leffers, A.M.; Wagner, A.; Magnusson, S.P.; Halkjaer-Kristensen, J. & Simonsen, E.B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol*, 543, 613-623.
- Aagaard, P.; Simonsen, E.B.; Andersen, J.L.; Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol*, 92, 2309-2318.
- Aagaard, P.; Simonsen, E.B.; Andersen, J.L.; Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. (2002a). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*, 93, 1318-1326.
- Abe, T.; DeHoyos, D.V.; Pollock, M.L. & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol*, 81, 174-180.
- Abrantes, C.; Macas, V & Sampaio, J. (2004). Variation in football player's sprint test performance across different ages and levels of competition. *J Sport Sci Med*, 3, 44-49.
- Adam, A. & DeLuca, C.J. (2005). Firing rates of motor units in human vastus lateralis muscle during fatiguing isometric contractions. *J Appl Physiol*, 99, 268-280.
- Adams, G.R.; Haddad, F.; Bodell, P.W.; Tran, P.D. & Baldwin, K.M. (2007). Combined isometric, concentric, and eccentric resistance exercise prevents unloading-induced muscle atrophy in rats. *J Appl Physiol*, 103, 1644-1654.
- Adkins, G.R.; Boychuk, J.; Remple, M.S. & Kleim, J.A. (2006). Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motorcortex and spinal cord. *J Appl Physiol*, 101, 1776-1782.
- Aerenhouts, D.; Delecluse, C.; Hagman, F.; Taeymans, J.; Debaere, S.; VanGheluwe, B. & Clarys, P. (2012). Comparison of anthropometric characteristics and sprint start performance between elite adolescent and adult athletes. *Eur J Sport Sci*, 12(1), 9-15.
- Ahtiainen, J.P.; Pakarinen, A.; Alen, M.; Kraemer, W.J. & Häkkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol*, 89, 555-563.
- Akima, H.; Kuno, S.; Takahashi, H.; Fukunaga, T. & Katsuta, S. (2000). The use of magnetic resonance images to investigate the influence of recruitment between torque and cross-sectional area in human muscle. *Eur J Appl Physiol*, 83, 475-480.
- Alcaez, P.E.; Elvira, J.L.L. & Palao, J.M. (2012). Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand J Med Sci Sports*, (published ahead of print), DOI: 10.1111/j.1600-0838.2012.01488.x.
- Alejo, B. (1987). UCLA Bruins soccer weight training. *NSCA Journal*, 9(1), 43-46.
- Alejo, B. (1991). Program evaluation - Soccer. *NSCA Journal*, 13(2), 47-53.
- Alghannam, A. (2013). Physiology of soccer: The role of nutrition in performance. *J Nov Physiother*, 83(S3), doi10.4172/2165-7025.83-003.
- Allmann, H. (1985). Maximalkraft und Sprintleistung - Maximalkrafttraining im Sprinttraining. In M. Bührle, *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 282-300). Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Almuzaini, K. (2007). Muscle function in Saudi children and adolescents: relationship to anthropometric characteristics during growth. *Ped Exerc Sci*, 19, 319-333.

- Altmann, D. (1980). Statistics and ethics in medical research. *Br Med J*, 281, 1336-1338.
- American Academy of Pediatrics. (2001). Strength training by children and adolescents. *J Am Acad Pediatr*, 107(6), 1470-1472.
- Andersen, J.L. & Aagaard, P. (2000). Myosin heavy chain IIx overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve*, 23, 1095-1104.
- Andersen, L.L. & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol*, 96, 46-52.
- Andersen, L.L.; Andersen, J.L.; Magnusson, S.P. & Aagaard, P. (2005). Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. *Eur J Appl Physiol*, 93, 511-518.
- Andersen, L.L.; Andersen, J.L.; Magnusson, S.P.; Suetta, C.; Madsen, J.L.; Christensen, L.R. & Aagaard, P. (2005a). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J Appl Physiol*, 99, 87-94.
- Andersen, L.L.; Magnusson, S.P.; Nielsen, M.; Haleem, J.; Poulsen, K. & Aagaard, P. (2006). Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: Implications for rehabilitation. *Phy Ther*, 86(5), 683-697.
- Andreassen, S. & Arendt-Nielsen, L. (1987). Muscle fibre conduction velocity in motor units of the human anterior tibial muscle: A new size principle parameter. *J Physiol*, 391, 561-571.
- Andreassen, S. & Rosenfalck, A. (1980). Regulation on the firing pattern of single motor units. *J Neurol Neurosurg Psy*, 43, 897-906.
- Andreoli, A.; Monteleone, M.; VanLoan, M.; Promenzio, L.; Tarantino, U. & DeLorenzo, A. (2001). Effect of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 33(4), 507-511.
- Andrzejewski, M.; Chmura, J.; Pluta, B.; Strzelczyk, R. & Kasprzak, A. (2013). Analysis of sprinting activities of professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 27(8), 2134-2140.
- Appleby, B.; Newton, R.U. & Cormie, P. (2012). Changes in strength over a 2-year period in professional rugby union players. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2538-2546.
- Arabatzi, F. & Kellis, E. (2012). Olympic weightlifting training causes different knee muscle-coactivation adaptations compared with traditional weight training. *J Strength Cond Res*, 26(8), 2192-2201.
- Arabatzi, F.; Kellis, E. & DeVillareal, E.S. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weightlifting and combined (weightlifting + plyometric) training. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2440-2448.
- Arampatzis, A.; Brüggemann, G.-P. & Metzler, V. (1999). The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *J Biomech*, 32, 1349-1353.
- Arendt-Nielsen, L.; Mills, K.R. & Forster, A. (1989). Changes in muscle fiber conduction velocity, mean power frequency, and mean EMG voltage during prolonged submaximal contractions. *Muscle Nerve*, 12, 493-497.
- Argus, C.K.; Gill, N.D. & Keogh, J.W.L. (2012). Characterization of the differences in strength and power between different levels of competition in rugby union athletes. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2698-2704.
- Armstrong, D. (1992). Power production - the key to athletic success. *Nat Strength Cond Assoc J*, 14(5), 19-22.
- Aslan, A.; Acikada, C.; Güvenc, A.; Gören, H.; Hazir, T. & Özkara, A. (2012). Metabolic demands of match performance in young soccer players. *J Sports Sci Med*, 11, 170-179.

- Augustsson, J.; Esko, A.; Thomee, R. & Svantesson, U. (1998). Weight training of the thigh muscle using closed vs. open kinetic chain exercises: A comparison of performance enhancement. *J Orthop Sports Phys Ther*, 27(1), 3-8.
- Awiszus, F. & Feistner, H. (1994). Correlations between size parameters and the amplitude of the excitatory postsynaptic potential evoked by magnetic brain stimulation in human hand muscle motoneurons. *Exp Brain Res*, 98, 128-134.
- Babic, V.; Coh, M. & Dizdar, D. (2011). Differences in kinematic parameters of athletes of different running quality. *Biol Sport*, 28, 115-121.
- Baechle, T.R. & Earle, R.W. (2000). *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign: Human Kinetics.
- Baker, D. & Nance, S. (1999). The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby players. *J Strength Cond Res*, 13(3), 230-235.
- Baker, D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training: A brief review. *J Strength Cond Res*, 10(2), 131-136.
- Baker, D. (2013). 10-year changes in upper body strength and power in elite professional rugby league players - The effect of training age, stage, and content. *J Strength Cond Res*, 27(2), 285-292.
- Baker, D.; Nance, S. & Moore, M. (2001). The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *J Strength Cond Res*, 15(1), 92-97.
- Baker, D.; Wilson, G. & Carlyon, B. (1994). Generality versus specificity: A comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed-strength. *Eur J Appl Physiol*, 68, 350-355.
- Baker, D.G. & Newton, R.U. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J Strength Cond Res*, 22(1), 153-158.
- Bandyopadhyay, A. & Shaharudin, S. (2009). Anterior cruciate ligament injuries in soccer players: An overview. *Int J Sports Sci Engin*, 3(1), 50-64.
- Bangsbo, J.; Mohr, M. & Krustrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*, 24(7), 665-674.
- Barber-Westin, S.D.; Noyes, F.R. & Galloway, M. (2006). Jump-land characteristics and muscle strength development in young athletes. *Am J Sports Med*, 34(3), 375-384.
- Barnes, J.L.; Schilling, B.K.; Falvo, M.J.; Weiss, L.W.; Creasy, A.K. & Fry, A.C. (2007). Relationship of jumping and agility performance in female volleyball athletes. *J Strength Cond Res*, 21(4), 1192-1196.
- Barreiros, A.; Cote, J. & Fonseca, A.M. (2014). From early to adult sport success: Analysing athlete's progression in national squads. *Eur J Sport Sci*, 14(Suppl. 1), S178-182.
- Barros, R.M.L.; Misuta, M.S.; Menzes, R.P.; Figueroa, P.J.; Moura, F.A.; Cunha, S.A.; Anido, R. & Leite, N.J. (2007). Analysis of the distances covered by the first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J Sports Sci Med*, 6, 233-242.
- BASES - British Association of Sport and Exercise Science. (2004). *Guidelines for resistance exercise in young people*. Liverpool: John Moores University.
- Bawa, P.; Pang, M.Y.; Olesen, K.A. & Calancie, B. (2006). Rotation of motoneurons during prolonged isometric contractions in humans. *J Neurophysiol*, 96, 1135-1140.
- Behm, D. (1995). Neuromuscular implications and applications of resistance training. *J Strength Cond Res*, 9(4), 264-274.
- Belanger, A.Y. & McComas, A.J. (1989). Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. *Eur J Appl Physiol*, 58, 563-567.

- Bell, G.; Syrotuik, D.; Socha, T.; Maclean, I. & Quinney, H.A. (1997). Effect of strength training and concurrent strength and endurance training on strength, testosterone and cortisol. *J Strength Cond Res*, 11(1), 57-64.
- Bencke, J.; Damsgaard, R.; Saeckmose, A.; Jorgensen, P. & Klausen, K. (2002). Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, tennis and swimming. *Scand J Med Sci Sports*, 12, 171-178.
- Benton, J. (1982). Epiphyseal fracture in sports. *The Phys Sportsmed*, 10(11), 63-71.
- Berdejo-del-Fresno, D. (2012). Fitness seasonal changes in a first division English futsal team. *African J Basic Appl Sci*, 4(2), 49-54.
- Berschlin, G. & Hartmann, M. (2011). Agility - Bedeutung, Training und Testung der Richtungswechselfähigkeit am Beispiel Fußball. *Leistungssport*, 41(5), 25-28.
- Berthoin, S.; Dupont, G.; Mary, P. & Gerbeaux, M. (2001). Predicting sprint kinematic parameters from anaerobic field test in physical education students. *J Strength cond Res*, 15(1), 75-80.
- Besier, T.F.; Lloyd, D.G.; Cochrane, J.L. & Ackland, T.R. (2001). External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc*, 33(7), 1168-1175.
- Bigland-Ritchie, B.; Johansson, R.; Lippold, O.C.; Smith, S. & Woods, J.J. (1983). Changes in motoneurone firing rates during sustained maximal voluntary contractions. *J Physiol*, 340, 335-346.
- Bigland-Ritchie, B.; Kukulka, C.G.; Lippold, O.C.J. & Woods, J.J. (1982). The absence of neuromuscular transmission failure in sustained maximal voluntary contractions. *J Physiol*, 330, 265-278.
- Billeter, R. & Hoppeler, H. (1994). Biologische Grundlagen der Muskelkontraktion. In P. V. Komi, *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 173-182). Köln: Dt. Ärzte-Verlag.
- Bissas, A.I. & Havenetidis, K. (2008). The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. *J Sports Med Phys Fit*, 48, 49-54.
- Blazevich, A. (2011). The stretch-shortening cycle (ssc). In M. Cardinale, & R. U. Newton, *Strength and Conditioning* (S. 209-222). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Blazevich, A.J.; Cannavan, D.; Coleman, D.R. & Horne, S. (2007). Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol*, 103, 1565-1575.
- Blimkie, C. (1992). Resistance training during pre- and early puberty: Efficacy, trainability, mechanisms, and persistence. *Can J Sports Sci*, 17(4), 264-279.
- Bloch, W. & Brixius, K. (2006). Sport und Stammzellen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57(3), 68-72.
- Bloomfield, J.; Jonsson, G.K.; Polman, R.; Houlahan, K. & O'Donoghue, P. (2005). Temporal pattern analysis and its applicability in soccer. In L. Anolli, S. Duncan, M. S. Magnusson, & G. Riva, *The hidden structure of interaction: From neurons to culture patterns* (S. 238-251). Amsterdam: IOS-Press.
- Bloomfield, J.; Polman, R. & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *J Sport Sci Med*, 6, 63-70.
- Bobbert, M.F.; Gerritsen, K.G.M.; Litjens, M.C.A. & VanSoest, A.J. (1996). Why is the countermovement jump height greater than squat jump height. *Med Sci Sports Exerc*, 28, 1402-1412.
- Bogdanis, G.; Papaspyrou, A.; Souglis, A.; Theos, A.; Sotiropoulos, A. & Maridaki, M. (2009). Effects of hypertrophy and a maximal strength training programme on speed, force and power of soccer players. In T. Reilly, & F. Korkusuz, *Science and Football VI: The Proceedings of the sixth world congress on science and football* (S. 291-295). Abingdon: Routledge.



- Bogdanis, G.C.; Nevill, M.E.; Boobis, L.H.; Lakomy, H.K.A. & Nevill, A.M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol*, 482(2), 467-480.
- Bojsen-Moller, J.; Magnusson, S.P.; Rasmussen, L.R.; Kjaer, M. & Aagaard, P. (2005). Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol*, 99, 986-994.
- Boone, J.; Vaeyens, R.; Steyaert, A.; Vanden Bossche, L. & Burgois, J. (2012). Physical fitness of elite Belgian soccer players by player position. *J Strength Cond Res*, 26(8), 2051-2057.
- Boonyarom, O. & Inui, K. (2006). Atrophy and hypertrophy of skeletal muscle: Structural and functional aspects. *Acta Physiol*, 188, 77-89.
- Borg, J. (1981). Properties of single motor units of the extensor digitorum brevis in elderly humans. *Muscle Nerve*, 4, 429-434.
- Borg, J.; Grimby, L. & Hannerz, J. (1979). Motor neuron firing range axonal conduction velocity, and muscle fiber histochemistry in neuromuscular diseases. *Muscle Nerve*, 2, 423-430.
- Borg, J.; Grimby, L. & Hannerz, J. (1983). The fatigue of voluntary contraction and the peripheral electrical propagation of single motor units in man. *J Physiol*, 340, 435-444.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Botcazou, M.; Zouhal, H.; Jacob, C.; Gratas-Delamarche, A.; Berthon, P.M.; Bentue-Ferrer, D. & Delamarche, P. (2006). Effect of training and detraining on catecholamine responses to sprint exercise in adolescent girls. *Eur J Appl Physiol*, 97, 68-75.
- Bradshaw, R.J.; Young, W.B.; Russell, A. & Burge, P. (2011). Comparison of offensive agility techniques in Australian rules football. *J Sci Med Sport*, 14, 65-69.
- Brandt, I. & Reinken, L. (1988). Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen. *Klin Pädiatrie*, 200, 451-456.
- Brechue, W.F.; Mayhew, J.L. & Piper, F.C. (2010). Characteristics of sprint performance in college football players. *J Strength Cond Res*, 24(5), 1169-1178.
- Brughelli, M.; Cronin, J.; Levin, G. & Chaouachi, A. (2008). Understanding change of direction ability in sport. *Sports Med*, 38(12), 1045-1063.
- Bubeck, D. (2002). *Belastungsvariation und funktionelle Anpassungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (Dissertation)*. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Buchheit, M.; Mendez-Villanueva, A.; Delhomel, G.; Brughelli, M. & Ahmaidi, S. (2010). Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2715-2722.
- Buchheit, M.; Mendez-Villanueva, A.; Simpson, B.M. & Bourdon, P.C. (2010a). Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *Int J Sports Med*, 10, 709-716.
- Büdingen, H.J. & Freund, H.J. (1976). The relationship between the rate of rise of isometric tension and motor unit recruitment in a human forearm muscle. *Pflügers Arch*, 362, 61-67.
- Bührle, M. & Schmidtbleicher, D. (1981). Komponenten der Maximal- und Schnellkraft - Versuch einer Neustrukturierung auf der Basis empirischer Ergebnisse. *Sportwissenschaft*, 11, 11-27.
- Bührle, M. & Werner, E. (1985). Muskelquerschnittstraining der Bodybuilder. In M. Bührle, *Grundlagen des Maximalkraft- und Schnellkrafttrainings* (S. 199-212). Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Bührle, M. (1985). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In M. Bührle, *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 82-111). Schorndorf: Hofmann-Verlag.

- Bührle, M. (1989). Maximalkraft - Schnellkraft - Reaktivkraft. *Sportwissenschaft*, 3, 311-325.
- Bührle, M. (1993). Schnellkraft - Theoretisches Konstrukt, physiologischer Hintergrund und Bedingungsstruktur, diagnostische Erfassung, spezifische Trainingsmethoden. *Spectrum Sportwissenschaften*, 5(2), 5-29.
- Bührle, M.; Schmidtbleicher, D. & Ressel, H. (1983). Die spezielle Diagnose der einzelnen Kraftkomponenten im Hochleistungssport. *Leistungssport*, 13(3), 11-16.
- Buller, A.J.; Eccles, J.C. & Eccles, R.M. (1960). Interactions between motoneurons and muscles in respect of the characteristic speeds of their responses. *J Physiol*, 150, 417-439.
- Buller, N.P.; Garnett, R. & Stephens, J.A. (1980). The reflex responses of single motor units in human hand muscles following muscle afferent stimulation. *J Physiol*, 303, 337-349.
- Bullock, W.; Panchuk, D.; Broatch, J.; Christian, R. & Stepto, N.K. (2012). An integrative test of agility, speed and skill in soccer: Effects of exercise. *J Sci Med Sport*, 15, 431-436.
- Burke, R. (1967). Motor unit types of cat triceps surae muscle. *J Physiol*, 193, 141-160.
- Burke, R. (1990). Motor unit types: Some history and unsettled issues. In M. D. Binder, & L. M. Mendell, *The segmental motor system* (S. 207-221). New York: Oxford University Press.
- Burke, R.E.; Levine, D.N.; Tsairis, P. & Zajac, F.E. (1973). Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius. *J Physiol*, 234, 141-160.
- Caine, D.; DiFiori, J. & Maffulli, N. (2006). Physeal injuries in children's and youth sports: Reasons for concern? *Br J Sports Med*, 40, 749-760.
- Calancie, B. & Bawa, P. (1990). Motor unit recruitment in humans. In M. D. Binder, & L. M. Mendell, *The segmental motor system* (S. 75-95). New York: Oxford University Press.
- Caldwell, B.P. & Peters, D.M. (2009). Seasonal variation in physiological fitness of a semiprofessional soccer team. *J Strength Cond Res*, 23(5), 1370-1377.
- Campos, G.E.R.; Luecke, T.J.; Wendeln, H.K.; Toma, K.; Hagerman, F.C.; Murray, T.F.; Ragg, K.E.; Ratamess, N.A.; Kraemer, W.J. & Staron, R.S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimes: specificity of repetition maximum training zones. *J Appl Physiol*, 88, 50-60.
- Carling, C. & Bloomfield, J. (2010). The effect of an early dismissal on player work-rate in a professional soccer match. *J Sci Med Sport*, 13, 126-128.
- Carling, C. (2011). Influence of opposition team formation on physical and skill-related performance in a professional soccer team. *Eur J Sport Sci*, 11(3), 155-164.
- Carlock, J.M.; Smith, S.L.; Hartmann, M.J.; Morris, R.T.; Ciroslan, D.A.; Pierce, K.C.; Newton, R.U.; Harman, E.A.; Sands, W.A. & Stone, M.H. (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: A field-test approach. *J Strength Cond Res*, 18(3), 534-539.
- Carroll, T.J.; Abernethy, P.J.; Logan, P.A.; Barber, M. & McEniery, M.T. (1998). Resistance training frequency: Strength and myosin heavy chain response to two and three bouts per week. *Eur J Appl Physiol*, 78, 270-275.
- Carroll, T.J.; Herbert, R.D.; Munn, J.; Lee, M. & Gandevia, S.C. (2006). Contralateral effects of unilateral strength training: Evidence and possible mechanisms. *J Appl Physiol*, 101, 1514-1522.
- Casajus, J. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 41, 463-469.
- Caserotti, P.; Aagaard, P.; Buttrup-Larsen, J. & Puggaard, L. (2008). Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: Changes in rapid muscle force, strength and power. *Scand J Med Sci Sports*, 18(1), 1-10.

- Cassell, C.; Benedict, M. & Specker, B. (1996). Bone mineral density in elite 7- to 9-year-old female gymnasts and swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 28(10), 1243-1246.
- Castagna, C.; Impellizzeri, F.; Cecchini, E.; Rampinini, E. & Alvarez, J.C.B. (2009). Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(7), 1954-1959.
- Castillo-Rodriguez, A.; Fernandez-Garcia, J.C.; Chinchilla-Minguet, J.L. & Carnero, E.A. (2012). Relationship between muscular strength and sprints with changes of direction. *J Strength Cond Res*, 26(3), 725-732.
- Castro-Pineiro, J.; Ortega, F.B.; Artero, E.G.; Girela-Rejon, M.J.; Mora, J.; Sjöström, M. & Ruiz, J.R. (2010). Assessing muscular strength in youth: Usefulness of standing long jump as a general index of muscular fitness. *J Strength Cond Res*, 24(7), 1810-1817.
- Chaleh, M.C.; Fatemi, R. & Shahasavar, A. (2012). Relationship between speed, agility and anaerobic power of 14-16 years elite soccer players. *Int Res J Appl Bas Sci*, 3(2), 427-432.
- Chan, K.M.; Doherty, T.J. & Brown, W.F. (2001). Contractile properties of human motor units in health, aging, and disease. *Muscle Nerve*, 24, 1113-1133.
- Channell, B.T. & Barfield, J.P. (2008). Effect of olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys. *J Strength Cond Res*, 22(5), 1522-1527.
- Chaouachi, A.; Brughelli, M.; Chamari, K.; Levin, G.T.; Ben Abdelkrim, N.; Laurencelle, L. & Castagna, C. (2009). Lower limb maximal dynamic strength and agility determinants in elite basketball players. *J Strength Cond Res*, 23(5), 1570-1577.
- Chaouachi, A.; Chtara, M.; Hammami, R.; Chtara, H.; Turki, O. & Castagna, C. (2014). Multidirectional sprints and small-sided games training effect on agility and change of direction abilities in youth soccer. *J Strength Cond Res*, 28(11), 3121-3127.
- Chaouachi, A.; Manzi, V.; Chaalali, A.; Wong, D.P.; Chamari, K. & Castagna, C. (2012). Determinants analysis of change-of-direction ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2667-2676.
- Chatzilazaridis, I.; Panoutsakopoulos, V. & Papaiakevou, G.I. (2012). Stride characteristics progress in a 40-m sprinting test executes by male preadolescent, adolescent and adult athletes. *Biol Exerc*, 8(2), 59-77.
- Chelly, M.S.; Fathloun, M.; Cherif, N.; Amar, M.B.; Tabka, Z. & Van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(8), 2241-2249.
- Chilibeck, P.D.; Calder, A.W.; Sale, D.G. & Webber, C.E. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol*, 77, 170-175.
- Christou, M.; Smilios, I.; Sotiropoulos, K.; Volaklis, K.; Pilianidis, T. & Tokmakidis, S.P. (2006). Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J Strength Cond Res*, 20(4), 783-791.
- Chumanov, E.S.; Wille, C.M.; Michalski, M.P. & Heiderscheit, B.C. (2012). Changes in muscle activity patterns when running step rate is increased. *Gait Post*, 36(2), 231-235.
- Ciacchi, S.; DiMichele, R. & Merni, F. (2010). Kinematic analysis of the braking and propulsion phases during the support time in sprint running. *Gait Post*, 31, 209-212.
- Ciccantelli, P. (1987). Year round strength and conditioning program for soccer. *NSCA Journal*, 9(4), 31-34.
- Clamann, H. (1990). Changes that occur in motor units during activity. In M. D. Binder, & L. M. Mendell, *The segmental motor system* (S. 64-74). New York: Oxford University Press.

- Clark, J. (2007). Positional assessment and physical fitness characteristics of male professional soccer players in South Africa. *Afric J Phys, Health Educ Recr Dance*, 13(4), 453-464.
- Clark, N.A.; Edwards, A.M.; Morton, R.H. & Butterly, R.J. (2008). Season-to-season variations of physiological fitness within a squad of professional male soccer players. *J Sports Sci Med*, 7, 157-165.
- Clarkson, P.M.; Nosaka, K. & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc*, 24(5), 512-520.
- Coelho, D.B.; Mortimer, L.A.; Condessa, L.A.; Morandi, R.F.; Oliveira, B.M.; Marins, J.C.B.; Dias Soares, D. & Garcia, E.S. (2011). Intensity of real competitive soccer matches and differences among player positions. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 13(5), 341-347.
- Coh, M. & Tomazin, K. (2006). Kinematic analysis of the sprint start and acceleration from the blocks. *New Stud Athl*, 21(3), 23-33.
- Coh, M.; Babic, V. & Mackala, K. (2010). Biomechanical, neuro-muscular and methodical aspects of running speed development. *J Hum Kin*, 26, 73-81.
- Coh, M.; Milanovic, D. & Kampmiller, T. (2001). Morphologic and kinematic characteristics of elite sprinters. *Coll Antropol*, 2, 605-610.
- Coh, M.; Tomazin, K. & Stuhec, S. (2006). The biomechanical model of the sprint start and block acceleration. *Phys Educ Sport*, 4(2), 103-114.
- Cometti, G.; Maffiuletti, N.A.; Pousson, M.; Chatard, J.-C. & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med*, 22, 45-51.
- Comfort, P.; Bullock, N. & Pearson, S.J. (2012). A comparison of maximal squat strength and 5-, 10-, and 20-meter sprint times in athletes and recreationally trained men. *J Strength Cond Res*, 26(4), 937-940.
- Comfort, P.; Haigh, A. & Matthews, M.J. (2012a). Are changes in maximal squat strength during preseason training reflected in changes in sprint performance in rugby league players? *J Strength Cond Res*, 26(3), 772-776.
- Comfort, P.; Stewart, A.; Bloom, L. & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(1), 173-177.
- Cone, J. (2012). Soccer-specific performance testing of fitness and athleticism: The development of a comprehensive player profile. *Strength Cond J*, 34(5), 11-19.
- Conley, M.S.; Stone, M.H.; Nimmons, M. & Dudley, G.A. (1997). Resistance training and human cervical muscle recruitment plasticity. *J Appl Physiol*, 87, 2105-2111.
- Connelly, D.M.; Rice, C.L.; Roos, M.R. & Vandervoort, A.A. (1999). Motor unit firing rates and contractile properties in tibialis anterior of young and old men. *J Appl Physiol*, 87(2), 843-852.
- Cormie, P.; McBride, J.M. & McCaulley, G.O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *J Strength Cond Res*, 23(1), 177-186.
- Cormie, P.; McGuigan, M.R. & Newton, R.U. (2010). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1566-1581.
- Cormie, P.; McGuigan, M.R. & Newton, R.U. (2010a). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1582-1598.
- Costa, I.; Garganta, J.; Greco, P.; Mesquita, I.; Silva, B.; Müller, E.; Castela, D.; Rebelo, A. & Seabra, A. (2010). Analysis of tactical performance of youth soccer players. *Open Sports Sci J*, 3, 70-72.
- Cotte, T. & Chatard, J.-C. (2011). Isokinetic strength and sprint times in English Premier League football players. *Biol Sport*, 28, 89-94.

- Cramer, J. (2008). Bioenergetics of exercise and training. In T. R. Baechle, & R. W. Earle, *Essentials of strength training and conditioning*, 3. Auflg. (S. 21-40). Champaign: Human Kinetics.
- Cristea, A.; Korhonen, M.T.; Häkkinen, K.; Mero, A.; Alen, A.; Sipilä, S.; Viitasalo, J.T.; Koljonen, M.J.; Suominen, H. & Larsson, L. (2008). Effect of combined strength and sprint training on regulation of muscle contraction at the whole-muscle and single-fibre levels in elite master sprinter. *Acta Physiol Scand*, 208, 1-15.
- Cronau, H. & Brown, R.T. (1998). Growth and development: physical, mental, and social aspects. *Prim Care*, 25(1), 23-47.
- Cronin, J.B. & Hansen, K.T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res*, 19(2), 349-357.
- Currell, K. & Jeukendrup, A.E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Spots Med*, 38(4), 297-316.
- Daly, R.M.; Saxon, L.; Turner, C.H.; Robling, A.G. & Bass, S.L. (2004). The relationship between muscle size and bone geometry during growth and in response to exercise. *Bone*, 34, 281-287.
- Dasteridis, G.; Pilianidis, T. & Mantzouranis, N. (2011). The effect of different strength training programs on young athletes sprint performance. *Stud Phys Cult Tour*, 18(2), 141-147.
- Daugaard, J.R. & Richter, E.A. (2001). Relationship between muscle fibre composition, glucose transporter protein 4 and exercise training: Possible consequences in non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Acta Physiol Scand*, 171, 267-276.
- Davies, J.; Parker, D.F.; Rutherford, O.M. & Jones, D.A. (1988). Changes in strength and cross sectional area of the elbow as a result of isometric strength training. *Eur J Appl Physiol*, 57, 667-670.
- Delecluse, C.; Roelants, M.; Diels, R.; Koninckx, E. & Verschueren, S. (2005). Effects of whole body vibration training on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes. *Int J Sports Med*, 26, 662-668.
- Delecluse, C.; VanCoppenolle, H.; Willems, E.; VanLeemputte, M.; Diels, R. & Goris, M. (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*, 27(8), 1203-1209.
- Dellal, A. & Wong, D.P. (2013). Repeated sprint and change-of-direction abilities in soccer players: Effect of age group. *J Strength Cond Res*, 27(9), 2504-2508.
- Dellal, A.; Chamari, K.; Wong, D.P.; Ahmaidi, S.; Keller, D.; Barros, R.; Bisciotti, G.N. & Carling, C. (2011). Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *Eur J Sport Sci*, 11(1), 51-59.
- Dellal, A.; Wong, D.P.; Moalla, W. & Chamari, K. (2010). Physical and technical activity of soccer players in the French first league - with special reference to their playing position. *Int Sport Med J*, 11(2), 278-290.
- DelOlmo, M.F.; Reimunde, P.; Viana, O.; Acero, R.M. & Cudeiro, J. (2006). Chronic neural adaptation induced by long-term resistance training in humans. *Eur J Appl Physiol*, 96, 722-728.
- DeLuca, C.J.; LeFever, R.S.; McCue, M.P. & Xenakis, A.P. (1982). Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. *J Physiol*, 329, 129-142.
- DeLuca, C.J.; LeFever, R.S.; McCue, M.P. & Xenakis, A.P. (1982a). Behaviour of human motor units in different muscles during linearly varying contractions. *J Physiol*, 329, 113-128.
- DeRenne, C.; Hetzler, R.K.; Buxton, B.P. & Ho, K.W. (1996). Effects of training frequency on strength maintenance in pubescent baseball players. *J Strength Cond Res*, 10(1), 8-14.

- Desmedt, J. (1981). The size principle of motoneuron recruitment in ballistic or ramp voluntary contractions in man. In J. E. Desmedt, *Progress in clinical neurophysiology, Vol 9 - Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease* (S. 97-136). Basel: Karger.
- Desmedt, J.E. & Godaux, E. (1975). Vibration-induced discharge patterns of single motor units in the masseter muscle in man. *J Physiol*, 253, 429-442.
- Desmedt, J.E. & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: Characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol*, 264, 673-693.
- Desmedt, J.E. & Godaux, E. (1977a). Fast motor units are not preferentially activated in rapid voluntary contractions in man. *Nature*, 267, 717-718.
- Desmedt, J.E. & Godaux, E. (1978). Mechanism of the vibration paradox: excitatory and inhibitory effects of tendon vibration on single soleus muscle motor units in man. *J Physiol*, 285, 197-207.
- Desmedt, J.E. & Godaux, E. (1978a). Ballistic contractions in fast or slow human muscles: Discharge patterns of single motor units. *J Physiol*, 285, 185-196.
- DeSteCroix, M. (2007). Advances in paediatric strength assessment: Changing our perspective on strength development. *J Sports Sci Med*, 6, 292-304.
- DeSteCroix, M.B.A., Deighan, M.A. & Armstrong, N. (2003). Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. *Sports Med*, 33(10), 727-743.
- DeVillareal, E.S.; Izquierdo, M. & Gonzalez-Badillo, J.J. (2011). Enhancing jump performance after combined vs. maximal power, heavy resistance, and plyometric training alone. *J Strength Cond Res*, 25(12), 3274-3281.
- DeVillareal, E.S.; Kellis, E.; Kraemer, W.J. & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta analysis. *J Strength Cond Res*, 23(2), 495-506.
- DeVillareal, E.S.; Requena, B. & Cronin, J.B. (2012). The effects of plyometric training on sprint performance: A meta analysis. *J Strength Cond Res*, 28(2), 575-584.
- DiasQuiterio, A.L.; Carnero, E.A.; Baptista, F.M. & Sardinha, L.B. (2011). Skeletal mass in adolescent male athletes and nonathletes: Relationships with high-impact sports. *J Strength Cond Res*, 25(12), 3439-3447.
- Dietz, V. (1985). Neurophysiologische Grundlagen des Kraftverhaltens. In M. Bührle, *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 16-34). Schorndorf: Hofmann.
- DiMascio, M. & Bradley, P.S. (2013). Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA Premier League soccer matches. *J Strength Cond Res*, 27(4), 909-915.
- DiNaso, J.J.; Pritschet, B.L.; Emmett, J.D.; Owen, J.D.; Willardson, J.M.; Beck, T.W.; DeFreitas, J.M. & Fontana, F.E. (2012). Comparing thigh muscle cross-sectional area and squat strength among national class olympic weightlifters, power lifters and bodybuilders. *Int Sport Med J*, 13(2), 48-57.
- DiPrampero, P.E.; Fusi, S.; Sepulcri, L.; Morin, J.B.; Belli, A. & Antonutto, G. (2005). Sprint running: A new energetic approach. *J Exp Biol*, 208, 2809-2816.
- DiSalvo, V.; Baron, R.; Gonzalez-Haro, C.; Gormasc, C.; Pigozzi, F. & Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci*, 28(14), 1489-1494.
- DiSalvo, V.; Baron, R.; Tschan, H.; Calderon Montero, F.J.; Bachl, N. & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med*, 28, 222-227.
- Dodd, D.J. & Alvar, B.A. (2007). Analysis of acute explosive training modalities to improve lower-body power in baseball players. *J Strength Cond Res*, 21(4), 1177-1182.

- Donnelly, A.E.; Clarkson, P.M. & Maughan, R.J. (1992). Exercise-induced muscle damage: Effects of light exercise on damaged muscle. *Eur J Appl Physiol*, 64, 350-353.
- Dowson, M.N.; Cronin, J.B. & Presland, J.D. (2002). Anthropometric and physiological differences between gender and age groups of New Zealand national soccer players. In W. Spinks, T. Reilly, & A. Murphy, *Science and Football IV* (S. 63-71). London: Routledge.
- Dowson, M.N.; Nevill, M.E.; Lakomy, H.K.; Nevill, A.M. & Hazeldine, R.J. (1998). Modelling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *J Sport Sci*, 16, 257-265.
- Drust, B.; Atkinson, G. & Reilly, T. (2007). Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. *Sports Med*, 37(9), 783-805.
- Duchateau, J.; Semmler, J.G. & Enoka, R.M. (2006). Training adaptations in the behaviour of human motor units. *J Appl Physiol*, 64, 350-353.
- Duda, M. (1986). Prepubescent strength training gains support. *The Phys Sportsmed*, 14(2), 157-161.
- Dunbar, G.M.J. & Power, K. (1997). Fitness profiles of English professional and semi-professional soccer players using a battery of field tests. In T. Reilly, J. Bangsbo, & M. Hughes, *Science and Football III* (S. 27-31). London: Spon-Press.
- Ebbeling, C.B. & Clarkson, P.M. (1990). Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol*, 60, 26-31.
- Eccles, J.C.; Eccles, R.M. & Lundberg, A. (1958). The action potentials of the alpha motoneurons supplying fast and slow muscles. *J Physiol*, 142, 275-291.
- Ehlenz, H.; Grosser, M. & Zimmermann, E. (2003). *Krafttraining - Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme*. München: BLV-Verlag.
- Eliakim, A.; Brasel, J.A.; Mohan, S.; Wong, W.L.T. & Cooper, D.M. (1998). Increased physical activity and the growth hormone-IGF-I axis in adolescent males. *Am J Physiol*, 275, R308-R314.
- Endoh, T.; Nakajima, T.; Sakamoto, M. & Komiyama, T. (2005). Effects of muscle damage induced by eccentric exercise on muscle fatigue. *Med Sci Sports Exerc*, 37(7), 1151-1156.
- Eniseler, N.; Sahan, C.; Vurgun, H. & Fehmi Mavi, H. (2012). Isokinetic strength responses to season-long training and competition in Turkish elite soccer players. *J Hum Kin*, 31, 159-168.
- Faigenbaum, A. (1993). Strength training: A guide for teachers and coaches. *NSCA J*, 15(5), 20-29.
- Faigenbaum, A. (2001). Strength training and children's health. *J Phys Educ Recr Dance*, 72(3), 24-30.
- Faigenbaum, A.D. & Schram, J. (2004). Can resistance training reduce injuries in youth sports. *Strength Cond J*, 26(3), 16-21.
- Faigenbaum, A.D.; Kraemer, W.J.; Blimkie, C.J.R.; Jeffreys, I.; Micheli, L.J.; Nitka, M. & Rowland, T.W. (2009). Youth resistance training: Updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res*, 23(1), 60-79.
- Faigenbaum, A.D.; LaRosa-Loud, R.; O'Connell, J.; Glover, S.; O'Connell, J. & Westcott, W.L. (2001). Effects of different resistance training protocols on upper-body strength and endurance development in children. *J Strength Cond Res*, 15(4), 459-465.
- Faigenbaum, A.D.; McFarland, J.E.; Keiper, F.B.; Tevlin, W.; Ratamess, N.A.; Kang, J. & Hoffman, J.R. (2007). Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *J Sports Sci Med*, 6, 519-525.

- Faigenbaum, A.D.; Miliken, L.A.; LaRosa-Loud, R.; Burak, B.T.; Doherty, C.L. & Westcott, W.L. (2002). Comparison of 1 and 2 days per week of strength training in children. *Res Quart Exerc Sport*, 73(4), 416-424.
- Faigenbaum, A.D.; Westcott, W.L.; Long, C.; LaRosa-Loud, R.; Delmonico, M. & Micheli, L.J. (1998). Relationship between repetitions and selected percentages of the one repetition maximum in healthy children. *Pediatr Phys Ther*, 10, 110-113.
- Faigenbaum, A.D.; Westcott, W.L.; Micheli, L.J.; Outerbridge, A.R.; Long, C.J.; LaRosa-Loud, R. & Zaichkowsky, L.D. (1996). The effects of strength training and detraining on children. *J Strength Cond Res*, 10(2), 109-114.
- Faigenbaum, A.D.; Zaichkowsky, L.D.; Westcott, W.L.; Micheli, L.J. & Fehlandt, A.F. (1993). The effects of a twice-a-week strength training program on children. *Ped Exerc Sci*, 5, 339-346.
- Fallentin, N.; Jorgensen, K. & Simonsen, E.B. (1993). Motor unit recruitment during prolonged isometric contractions. *Eur J Appl Physiol*, 67, 335-341.
- Farley, C.T. & Gonzalez, O. (1996). Leg stiffness and stride frequency in human running. *J Biomechan*, 29(2), 181-186.
- Farup, J.; Kjolhede, T.; Sorensen, H.; Dalgas, U.; Mollier, A.B.; Vestergaard, P.F.; Ringgaard, S.; Bojsen-Moller, J. & Vissing, K. (2012). Muscle morphological and strength adaptations to endurance vs. resistance training. *J Strength Cond Res*, 26(2), 398-407.
- Fatouros, I.G.; Jamurtas, A.Z.; Leontsini, D.; Taxildaris, K.; Aggelousis, N.; Kostopoulos, N. & Buckenmeyer, P. (2000). Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *J Strength Cond Res*, 14(4), 470-476.
- Faude, O.; Koch, T. & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci*, 30(7), 625-631.
- Faude, O.; Roth, R.; DiGiovine, D.; Zahner, L. & Donath, L. (2013). Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: A randomised-controlled trial. *J Sports Sci*, 31(13), 1460-1467.
- Faul, F.; Erdfelder, E.; Lang, A.G. & Buchner, A. (2007). G\*power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*, 39(2), 173-191.
- Feiereisen, P.; Duchateau, J. & Hainaut, K. (1997). Motor unit recruitment order during voluntary and electrically induced contractions in the tibialis anterior. *Exp Brain Res*, 114, 117-123.
- Finni, T.; Ikegawa, S.; Lepola, V. & Komi, P.V. (2003). Comparison of force-velocity relationships of vastus lateralis muscle in isokinetic and in stretch-shortening cycle exercises. *Acta Physiol Scand*, 177, 483-491.
- Fleck, S. (1999). Periodized strength training: A critical review. *J Strength Cond Res*, 13(1), 82-89.
- Fleck, S. (2002). Periodization of training. In W. J. Kraemer, & K. Häkkinen, *Strength training for sport* (S. 55-68). Oxford: Blackwell Science.
- Fleck, S.J. & Kraemer, W.J. (1997). *Designing resistance training programs*. Champaign: Human Kinetics.
- Ford, P.R. & Williams, A.M. (2012). The developmental activities engaged in by elite youth soccer players who progressed to professional status compared to those who did not. *Psych Sport Exerc*, 13(3), 349-352.
- Freund, H.J. & Büdingen, H.J. (1978). The relationship between speed and amplitude of the fastest voluntary contractions of human arm muscles. *Exp Brain Res*, 31, 1-12.
- Frick, U. (1993). *Kraftausdauerleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus*. Köln: Buch und Strauss Verlag.



- Friden, J. & Lieber, R.L. (1992). Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med Sci Sports Exerc*, 24(5), 521-530.
- Fry, A.C. & Newton, R.U. (2002). A brief history of strength training and basic principles and concepts. In W. J. Kraemer, & K. Häkkinen, *Strength training for sport* (S. 6-19). Oxford: Blackwell Science.
- Frystyk, J. (2010). Exercise and the growth hormone-insulin-like growth factor axis. *Med Sci Sports Exerc*, 42(1), 58-66.
- Fukunaga, T. (1976). Die absolute Muskelkraft und das Muskelkrafttraining. *Sportarzt + Sportmedizin*, 11, 255-265.
- Fukunaga, T.; Funato, K. & Ikegawa, S. (1992). The effects of resistance training on muscle area and strength in prepubescent age. *Ann Physiol Anthropol*, 11(3), 357-364.
- Gabriel, D.A.; Kamen, G. & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise. *Sports Med*, 36(2), 133-149.
- Gains, G.L.; Swedenhjelm, A.N.; Mayhew, J.L.; Bird, H.M. & Houser, J.J. (2010). Comparison of speed and agility performance of college football players on field turf and natural grass. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2613-2617.
- Galpin, A.J.; Li, Y.; Lohnes, C.A. & Schilling, B.K. (2008). A 4-week choice foot speed and choice reaction training program improves agility in previously non-agility trained, but active men and women. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1901-1907.
- Garcia-Pinillos, F.; Martinez-Amat, A.; Hita-Contreras, F.; Martinez-Lopez, E.J. & Latorre-Roman, P.A. (2014). Effects of a contrast training program without external load on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility of young soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(9), 2452-2460.
- Garnett, R. & Stephens, J.A. (1980). The reflex responses of single motor units in human first dorsal interosseous muscle following cutaneous afferent stimulation. *J Physiol*, 303, 351-364.
- Gaudino, P.; Gaudino, C.; Alberti, G. & Minetti, A.E. (2013). Biomechanics and predicted energetics of sprinting on sand: Hints for soccer training. *J Sci Med Sport*, 16, 271-275.
- Gillies, E.M.; Putman, C.T. & Bell, G.J. (2006). The effect of varying the time of concentric and eccentric muscle actions during resistance training on skeletal muscle adaptations in women. *Eur J Appl Physiol*, 97, 443-453.
- Giorgi, A.; Wilson, G.J.; Weatherby, R.P. & Murphy, A.J. (1998). Functional isometric weight training: Its effects on the development of muscular function and the endocrine system over an 8-week training period. *J Strength Cond Res*, 12(1), 18-25.
- Goldspink, G. (1983). Alterations in myofibril size and structure during growth, exercise and changes in environmental temperature. In L. D. Peachey, *Handbook of physiology* (S. 539-554). Bethesda, Maryland: American Physiological Society.
- Goldspink, G. (1994). Zelluläre und molekulare Aspekte der Trainingsadaptation des Skelettmuskels. In P. V. Komi, *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 213-231). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Gollhofer, A. (1987). *Komponenten der Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus*. Erlensee: SFT-Verlag.
- Gollhofer, A.; Bubeck, D. & Sialis, J. (2003). *Belastungsbedingte Adaptabilität im Dehnungs-Verkürzungszyklus. Trainings-Wirkungsanalyse zur Determination der neuromuskulären Anpassungsprozesse auf Belastungsvariationen beim reaktiven Schnellkrafttraining*. BISp-Jahrbuch: 231-236.
- Gondin, J.; Guede, M.; Ballay, Y. & Martin, A. (2006). Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol*, 97, 165-173.
- Goodstein, B. (2011). Sports performance and injury prevention in professional soccer. *Perf Train J*, 10(3), 8-10.

- Gorostiaga, E.M.; Izquierdo, M.; Iturralde, P.; Ruesta, M. & Ibanez, J. (1999). Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol*, 80, 485-493.
- Gorostiaga, E.M.; Izquierdo, M.; Ruesta, M.; Iribarren, J.; Gonzalez-Badillo, J.J. & Ibanez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 91, 698-707.
- Goto, K.; Ishii, N.; Kizuka, T. & Takamatsu, K. (2005). The impact of metabolic stress on hormonal response and muscular adaptation. *Med Sci Sports Exerc*, 37(6), 955-963.
- Gravina, L.; Gil, S.M.; Ruiz, F.; Zubero, J.; Gil, J. & Irazusta, J. (2008). Anthropometric and physiological differences between first team and reserve soccer players aged 10-14 years at the beginning and end of the season. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1308-1314.
- Green, B.S.; Blake, C. & Caulfield, B.M. (2011). A comparison of cutting technique performance in rugby union players. *J Strength Cond Res*, 25(10), 2668-2680.
- Gregson, W.; Drust, B.; Atkinson, G. & DiSalvo, V. (2010). Match-to-match variability of high-speed activities in Premier League soccer. *Int J Sports Med*, 31(4), 237-242.
- Greig, M. (2009). The influence of soccer-specific activity on the kinematics of an agility sprint. *Eur J Sport Sci*, 9(1), 23-33.
- Greig, M.P.; McNaughton, L.R. & Lovell, R.J. (2006). Physiological and mechanical response to soccer-specific intermittent activity and steady-state activity. *Res Sports Med*, 14, 29-52.
- Grimby, L. & Hannerz, J. (1981). Flexibility of recruitment order of continuously and intermittently discharging motor units in voluntary contraction. In J. E. Desmedt, *Progress in clinical neurophysiology, Vol 9 - Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease* (S. 201-211). Basel: Karger.
- Grimby, L. & Hannerz, J. (1977). Firing rate and recruitment order of the toe extensor motor units in different modes of voluntary contraction. *J Physiol*, 264, 865-879.
- Grimby, L. (1984). Firing properties of single human motor units during locomotion. *J Physiol*, 346, 195-202.
- Grimby, L.; Hannerz, J. & Hedman, B. (1979). Contraction time and voluntary discharge properties of individual short toe extensor motor units in man. *J Physiol*, 289, 191-201.
- Grimby, L.; Hannerz, J. & Hedman, B. (1981). The fatigue and voluntary discharge properties of single motor units in man. *J Physiol*, 316, 545-554.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1997). Kurzfristige Explosivkraftsteigerung durch maximale willkürliche Kontraktionen. *Leistungssport*, 27(1), 46-49.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (2000). Methodik des Krafttrainings. In M. Siewers, *Muskelkrafttraining, Bd.1* (S. 17-71). Kiel.
- Güllich, A. (1996). *Schnellkraftleistungen im unmittelbaren Anschluss an maximale und submaximale Krafteinsätze*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Habibi, A.; Shabani, M.; Rahimi, E.; Fatemi, R.; Najafi, A.; Analoei, H. & Hosseini, M. (2010). Relationship between jump test results and acceleration phase of sprint performance in national and regional 100m sprinters. *J Hum Kin*, 23, 29-35.
- Hachana, Y.; Chaabene, H.; Nabli, M.A.; Attia, A.; Moulahi, J.; Farhat, N. & Elloumi, M. (2013). Test-Retest reliability, criterion-related validity, and minimal detectable change of the illinois agility test in male team sport athletes. *J Strength Cond Res*, 27(10), 2752-2759.
- Hainaut, K.; Duchateau, J. & Desmedt, J.E. (1981). Differential effects on slow and fast motor units of different programs of brief daily muscle training in man. In J. E. Desmedt, *Progress in clinical neurophysiology, Vol 9 - Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease* (S. 27-60). Basel: Karger.

- Häkkinen, K. & Komi, P.V. (1983). Alterations of mechanical characteristics of human skeletal muscle during strength training. *Eur J Appl Physiol*, 50, 161-172.
- Häkkinen, K. & Komi, P.V. (1986). Effects of fatigue and recovery on electromyographic and isometric force- and relaxation-time characteristics of human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol*, 55, 588-596.
- Häkkinen, K. (1986). *Training and detraining adaptations in electromyography, muscle fibre and force production characteristics of human leg extensor muscles*. Stud Sport, Phys Educ Health 20, Jyväskylä: University-press.
- Häkkinen, K. (2002). Training-specific characteristics of neuromuscular performance. In W. J. Kraemer, & K. Häkkinen, *Strength training for sport* (S. 20-36). Oxford: Blackwell Science.
- 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. *Eur J Appl Physiol*, 83, 51-62.
- Häkkinen, K.; Alen, M.; Kraemer, W.J.; Gorostiaga, E.; Izquierdo, M.; Rusko, H.; Mikkola, J.; Häkkinen, A.; Valkeinen, H.; Kaarakainen, E.; Romu, S.; Erola, V.; Athiainen, J. & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol*, 89, 42-52.
- Häkkinen, K.; Kallinen, M.; Izquierdo, M.; Jokelainen, K.; Lassila, H.; Mälkiä, E.; Kraemer, W.J.; Newton, R.U. & Alen, M. (1998). Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol*, 84, 1341-1349.
- Häkkinen, K.; Komi, P.V.; Alen, M. & Kauhanen, H. (1987). EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol*, 56, 419-427.
- Häkkinen, K.; Pakarinen, A.; Alen, M.; Kauhanen, H. & Komi, P.V. (1988). Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol*, 65, 2406-2412.
- Häkkinen, K.; Pakarinen, A.; Kraemer, W.J.; Häkkinen, A.; Valkeinen, H. & Alen, M. (2001). Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol*, 91, 569-580.
- Hamill, B. (1994). Relative safety of weightlifting and weight training. *J Strength Cond Res*, 8(1), 52-57.
- Hamlyn, N.; Behm, D.G. & Young, W.B. (2007). Trunk muscle activation during dynamic weight-training exercises and isometric instability activities. *J Strength Cond Res*, 21(4), 1108-1112.
- Hansen, L.; Bangsbo, J.; Twisk, J. & Klausen, K. (1999). Development of muscle strength in relation to training level and testosterone in young male soccer players. *J Appl Physiol*, 87, 1141-1147.
- Harber, M.P.; Fry, A.C.; Rubin, M.R.; Smith, J.C. & Weiss, L.W. (2004). Skeletal muscle and hormonal adaptations to circuit weight training in untrained men. *Scand J Med Sci Sports*, 14, 176-185.
- Harley, J.A.; Barnes, C.A.; Portas, M.; Lovell, R.; Barrett, S.; Paul, D. & Weston, M. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *J Sport Sci*, 28(13), 1391-1397.
- Harris, G.R.; Stone, M.H.; O'Bryant H.S.; Proulx, C.M. & Johnson, R.L. (2000). Short-term performance effects of high power, high force, and combined weight-training methods. *J Strength Cond Res*, 14(1), 14-20.
- Harris, N.K.; Cronin, J.B.; Hopkins, W.G. & Hansen, K.T. (2008). Squat jump training at maximal power loads vs. heavy loads: Effects on sprint ability. *J Strength Cond Res*, 22(8), 1742-1749.

- Harrison, A. (2010). Biomechanical factors in sprint training - where science meets coaching. *XXVIII International Symposium of Biomechanics in Sports*, 36-41.
- Hart, N.H. & Spiteri, T. (2013). Quantifying performance deficits between limbs using a modified version of the AFL agility test. *J Aust Strength Cond*, 21(S2), 105-107.
- Hartmann, H.; Bob, A.; Wirth, K. & Schmidtbleicher, D. (2008). Auswirkungen unterschiedlicher Periodisierungsmodelle im Krafttraining auf das Schnellkraft- und Explosivkraftverhalten der oberen Extremität. *Leistungssport*, 38(3), 17-22.
- Hartmann, H.; Wirth, K.; Klusemann, M.; Dalic, J.; Matuschek, C. & Schmidtbleicher D. (2012). Influence of squatting depth on jumping performance. *J Strength Cond Res*, 26(12), 3243-3261.
- Haseler, L.J.; Hogan, M.C. & Richardson, R.S. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O<sub>2</sub> availability. *J Appl Physiol*, 86(6), 2013-2018.
- Hather, B.M.; Tesch, P.A.; Buchmann, P. & Dudley, G.A. (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand*, 143, 177-185.
- Haugen, T.; Tonnessen, E.; Hisdal, J. & Seiler, S. (2013). The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perf*, In Press.
- Haugen, T.A.; Tonnessen, E. & Seiler, S. (2013). Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995 - 2010. *Int J Sports Physiol Perf*, 8, 148-156.
- Heckmann, C.J. & Binder, M.D. (1990). Neural mechanisms underlying the orderly recruitment of motoneurons. In M. D. Binder, & L. M. Mendell, *The segmental motor system* (S. 75-90). New York: Oxford University Press.
- Heinemeier, K.M.; Olesen, J.L.; Schjerling, P.; Haddad, F.; Langberg, H.; Baldwin, K.M. & Kjaer, M. (2007). Short-term strength training and the expression of myostatin and IGF-1 isoforms in rat muscle and tendon: Differential effects of specific contraction types. *J Appl Physiol*, 102, 573-581.
- Heinonen, A.; Sievänen, H.; Kannus, P.; Oja, P.; Pasanen, M. & Vuori, I. (2000). High-impact exercise and bones of growing girls: A 9-month controlled trial. *Osteoporos Int*, 11, 1010-1017.
- Hejna, W.F. & Rosenberg, A. (1982). The prevention of sports injuries in high school students through strength training. *NSCA J*, 4(1), 28-31.
- Helgerud, J.; Engen, L.C.; Wisloff, U. & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*, 33(11), 1925-1931.
- Helsen, W.F.; Starkes, J.L. & VanWinckel, J. (2000). Effect of a change in selection year on success in male soccer players. *Am J Hum Biol*, 12, 729-735.
- Hemmling, G. (1994). *Anpassungen des neuromuskulären Systems an eine neuentwickelte Trainingsmethode*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Henneman, E. (1981). Recruitment of motoneurons: The size principle. In J. E. Desmedt, *Progress in clinical neurophysiology Vol 9 - Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease* (S. 27-60). Basel: Karger.
- Henneman, E.; Somjen, G. & Carpenter, D.O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol*, 28, 560-580.
- Hermassi, S.; Chelly, M.S.; Tabka, Z.; Shephard, R.J. & Chamari, K. (2011). Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on peak power, throwing velocity and sprint performance of elite male handball players. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2424-2433.
- Herrero, A.J.; Martin, J.; Martin, T.; Aradia, O.; Fernandez, B. & Garcia-Lopez, D. (2010). Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance. A randomized controlled trial. Part I. *J Strength cond Res*, 24(6), 1609-1615.

- 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. *J Strength Cond Res*, 11(3), 174-181.
- Hewett, T.E.; Myer, G.D. & Ford, K.R. (2005). Reducing knee and anterior cruciate ligament injuries among female athletes. *J Knee Surg*, 18(1), 82-88.
- Hewitt, J.K.; Cronin, J.B. & Hume, P.A. (2013). Kinematic factors affecting fast and slow straight and change-of-direction acceleration times. *J Strength Cond Res*, 27(1), 69-75.
- Heyden, G.; Droste, J. & Steinhöfer, D. (1988). Zum Zusammenhang von Maximalkraft, Schnellkraft und Bewegungsschnelligkeit. *Leistungssport*, 18(2), 39-46.
- Higbie, E.J.; Cureton, K.J.; Warren, G.L. & Prior, B.M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol*, 81, 2173-2181.
- Hoff, J. & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports Med*, 34(3), 165-180.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J Sport Sci*, 23(6), 573-582.
- Hoffman, J.R. & Kang, J. (2003). Strength changes during an in-season resistance-training program for football. *J Strength Cond Res*, 17(1), 109-114.
- Hoffman, J.R.; Cooper, J.; Wendell, M. & Kang, J. (2004). Comparison of olympic vs. traditional power lifting training programs in football players. *J Strength Cond Res*, 18(1), 129-135.
- Hoffman, J.R.; Ratamess, N.A.; Klatt, M.; Faigenbaum, A.D.; Ross, R.E.; Tranchina, N.M.; McCurley, R.C.; Kang, J. & Kraemer, W.J. (2009). Comparison between different off-season resistance training programs in Division III American college football players. *J Strength Cond Res*, 23(1), 11-19.
- Hoffman, J.R.; Tenenbaum, G.; Maresch, C.M. & Kraemer, W.J. (1996). Relationship between athletic performance tests and playing time in elite college basketball players. *J Strength Cond Res*, 10(2), 67-71.
- Holcomb, W.R.; Lander, J.E.; Rutland, R.M. & Wilson, G.D. (1996). The effectiveness of a modified plyometric program on power and vertical jump. *J Strength Cond Res*, 10(2), 89-92.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin - Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart: Schattauer-Verlag.
- Holtermann, A.; Roeleveld, K.; Vereijken, B. & Ettema, G. (2007). The effect of rate of force development on maximal force production: Acute and trained-related aspects. *Eur J Appl Physiol*, 99, 605-613.
- Hori, N.; Newton, R.U.; Andrews, W.A.; Kawamori, N.; McGuigan, M.R. & Nosaka, K. (2008). Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction. *J Strength Cond Res*, 22(2), 412-418.
- Hoshikawa, Y.; Campeiz, J.M.; Shibukawa, K.; Chuman, K.; Iida, T.; Muramatsu, M. & Nakajima, Y. (2009). Differences in muscularity of psoas major and thigh muscles in relation to sprint and vertical jump performances between elite young and professional soccer players. In R. T., & K. F., *Science and Football VI* (S. 149-154). Oxon: Routledge.
- Houston, M.E.; Froese, E.A.; Valeriote, S.P.; Green, H.J. & Ranney, D.A. (1983). Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: A one leg model. *Eur J Appl Physiol*, 51, 25-35.
- Howald, H. (1985). Morphologische und funktionelle Veränderungen der Muskelfasern durch Training. In M. Bührle, *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 35-52). Schorndorf: Hofmann.

- Howard, R. (2013). Differentiation strength and conditioning fundamentals for training children and youth. *Perf Train J*, 12(2), 21-22.
- Hunter, J.P.; Marshall, R.N. & McNair, P.J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med Sci Sports Exerc*, 36(2), 261-271.
- Hunter, J.P.; Marshall, R.N. & McNair, P.J. (2005). Relationship between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech*, 21, 31-43.
- Hutton, R. (1989). Das Zentralnervensystem. In A. Dirix, H. G. Knuttgen, & K. Tittel, *Olympiabuch der Sportmedizin* (S. 29-49). Köln: Dt.-Ärzte Verlag.
- Iaia, F.M.; Rampinini, E. & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *Int J Sports Physiol Per*, 4, 291-306.
- Ikai, M. & Steinhaus, A.H. (1961). Some factors modifying the expression of human strength. *J Appl Physiol*, 16, 157-161.
- Ikai, M.; Yabe, K. & Ishii, K. (1967). Muskelkraft und muskuläre Ermüdung bei willkürlicher Anspannung und elektrischer Reizung des Muskels. *Sportarzt + Sportmedizin*, 18, 157-163.
- Ilbeigi, S. & VanGheluwe, B. (2011). Eletromyographic wavelet analysis of lower extremity muscles during sprint start and two subsequent steps. *Port J Sport Sci*, 11(Suppl. 2), 739-742.
- Ishida, K.; Moritani, T. & Itoh, K. (1990). Changes in voluntary and electrically induced contractions during strength training and detraining. *Eur J Appl Physiol*, 60, 244-248.
- Izquierdo, M.; Ibanez, J.; Gonzalez-Badillo, J.J.; Häkkinen, K.; Ratamess, N.A.; Kraemer, W.J.; French, D.N.; Eslava, J.; Altadill, A.; Asiain, X. & Gorostiaga, E.M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength and muscle power gains. *J Appl Physiol*, 100, 1647-1656.
- Izquierdo, M.; Ibanez, J.; Gorostiaga, E.; Garrues, M.; Zuniga, A.; Anton, A.; Larrion, J.L. & Häkkinen, K. (1999). Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand*, 167, 57-68.
- Jakovljevic, S.T.; Karalejic, M.S.; Pajic, Z.B.; Macura, M.M. & Erculj, F.F. (2012). Speed and agility of 12- and 14-year-old elite male basketball players. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2453-2459.
- Jensen, J.L.; Marstrand, P.C.D. & Nielsen, J.B. (2005). Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system. *J Appl Physiol*, 99, 1558-1568.
- Jones, D.A.; Rutherford, O.M. & Parker, D.F. (1989). Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Quart J Exp Physiol*, 74, 233-256.
- Jones, P.; Bampouras, T. & Marrin, K. (2009). An investigation into physical determinants of change of direction speed. *J Sports Med Phys Fit*, 49(1), 97-104.
- Jones, R.; Bezodis, I. & Thompson, A. (2009). Coaching sprinting: Expert coaches perception of race phases and technical constructs. *Int J Sports Sci Coach*, 4(3), 385-396.
- Jovanovic, M.; Sporis, G.; Omrcen, D. & Fiorentini, F. (2011). Effects of speed, agility and quickness training method on power performance in elite soccer players. *J Strength Cond Res*, 25(5), 1285-1292.
- Jullien, H.; Bisch, C.; Largouet, N.; Manouvrier, C.; Carling, C.J. & Amiard, V. (2008). Does a short period of lower limb strength training improve performance in field-based tests of running and agility in young professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 22(2), 404-411.

- Jürimäe, J.; Abernethy, P.J.; Quigley, B.M.; Blake, K. & McEniery, T. (1997). Differences in muscle contractile characteristics among bodybuilders, endurance trainers and control subjects. *Eur J Appl Physiol*, 75, 357-362.
- Kadi F. & Thornell, L.E. (1999). Training affects myosin heavy chain phenotype in the trapezius muscle of women. *Histochem Cell Biol*, 112, 73-78.
- Kadi, F.; Schjerling, P.; Andersen, L.L.; Charifi, N.; Madsen, J.L.; Christensen, L.R. & Andersen, J.L. (2004). The effect of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. *J Physiol*, 558(3), 1005-1012.
- Kale, M.; Asci, A.; Bayrak, C. & Acikada, C. (2009). Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *J Strength Cond Res*, 23(8), 2272-2279.
- Kapidzic, A.; Pojskic, H.; Muratovic, M.; Uzicanin, E. & Bilalic, J. (2011). Correlation of tests for evaluating explosive strength and agility of football players. *Sport SPA*, 8(2), 29-34.
- Kaplan, T.; Erkmén, N. & Taskin, H. (2009). The evaluation of the running speed and agility performance in professional and amateur soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(3), 774-778.
- Karamanidis, K.; Albracht, K.; Braunstein, B.; Moreno Catala, M.; Goldmann, J.-P. & Brüggemann, G.-P. (2011). Lower leg musculoskeletal geometry and sprint performance. *Gait Post*, 34, 138-141.
- Karova, L. (2009). *Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Ernährungszustand, physischer Leistungsfähigkeit und körperlicher Aktivität bei Rostocker Schulkindern. Ausgewählte Aspekte des Forschungsprojekts "Kinder bewegt"*. Rostock: Dissertation Universität Rostock.
- Kawamori, N.; Nosaka, K. & Newton, R.U. (2013). Relationship between ground reaction impulse and sprint acceleration performance in team sport athletes. *J Strength Cond Res*, 27(3), 568-573.
- Kernell, D. (1990). Spinal motoneurons and their muscle fibers: Mechanism and long-term consequences of common activation patterns. In M. D. Binder, & L. M. Mendell, *The segmental motor system* (S. 75-95). New York: Oxford University Press.
- Kim, J.; Shen, W.; Gallagher, D.; Jones, A.; Wang, Z.; Wang, J.; Heshka, S. & Heymsfield, S.B. (2006). Total-body skeletal muscle mass: estimation by dual-energy X-ray absorptiometry in children and adolescents. *Am J Clin Nutr*, 84, 1014-1020.
- Kim, M.-S.; Masakado, Y.; Tomita, Y.; Chino, N.; Pae, Y.S. & Lee, K.E. (2001). Synchronisation of single motor units during voluntary contraction in the upper and lower extremities. *Clin Neurophysiol*, 112, 1243-1249.
- Kinney, M. (1998). Women's soccer strength and conditioning for an inaugural year. *Strength Cond J*, 20(3), 67-70.
- Kobayashi, K.; Iso, S.; Kanosue, K.; Tsuchie, H.; Fukunaga, T.; Kawakami, Y. (2007). Changes in leg stiffness and sprint characteristics during the acceleration phase of running in top sprinters. *Conference at a glance* (S. P8-3). Stanford: American Society of Biomechanics.
- Komi, P. (1989). Skelettmuskulatur. In A. Dirix, H. G. Knuttgen, & K. Tittel, *Olympiabuch der Sportmedizin* (S. 29-49). Köln: Deutscher Sportärzte-Verlag.
- Komi, P. (1994). Der Dehnungs-Verkürzungszyklus. In P. V. Komi, *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 173-182). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Komi, P.V. & Gollhofer, A. (2007). Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during ssc exercise. *J Appl Biomech*, 13, 451-460.
- Komi, P.V.; Karlsson, J.; Tesch, P.; Suominen, H. & Heikkinen, E. (1979). Effects of heavy resistance and explosive-type strength training methods on mechanical, functional and

- metabolic aspects of performance. In P. V. Komi, R. C. Nelson, & C. A. Morehouse, *Exercise and sport biology* (S. 90-102). Champaign: Human Kinetics.
- Korhonen, M.T.; Cristea, A.; Alen, M.; Häkkinen, K.; Sipilä, S.; Mero, A.; Viitasalo, J.T.; Larsson, L. & Suominen, H. (2006). Aging, muscle fiber type, and contractile function in sprint-trained athletes. *J Appl Physiol*, *101*, 906-917.
- Korhonen, M.T.; Mero, A.A.; Alen, M.; Sipilä, S.; Häkkinen, K.; Liikavainio, T.; Viitasalo, J.T.; Haverinen, M.T. & Suominen, H. (2009). Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximal running speed with aging. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(4), 844-856.
- Koschack, J. (2008). Standardabweichung und Standardfehler: Der kleine, aber feine Unterschied. *Z Allg Med*, *84*, 258-260.
- Kotzamanidis, C.; Chatzopoulos, D.; Michailidis, C.; Papaioakovou, 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. *J Strength Cond Res*, *19*(2), 369-375.
- Kovacs, M.S.; Roetert, E.P. & Ellenbecker, T.S. (2008). Efficient deceleration: The forgotten factor in tennis-specific training. *Strength Cond J*, *30*(6), 58-69.
- Kraemer, R.R.; Hollander, D.B.; Reeves, G.V.; Francois, M.; Ramadan, Z.G.; Meeker, B.; Tryniecki, J.L.; Hebert, E.P. & Castracane, V.D. (2006). Similar hormonal responses to concentric and eccentric muscle actions using relative loading. *Eur J appl Physiol*, *96*, 551-557.
- Kraemer, W. (1985). Exercise prescription: chronic program variables (periodization of training). *Nat Strength Coaches Assoc J*, *7*(3), 47.
- Kraemer, W. (1994). Die Bedeutung endokriner Faktoren für die muskuläre Leistung. In P. V. Komi, *Kraft- und Schnellkraft im Sport* (S. 74-85). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Kraemer, W.J. & Ratamess, N.A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, *36*(4), 674-688.
- Kraemer, W.J.; Staron, R.S.; Hagerman, F.C.; Hikida, R.S.; Fry, A.C.; Gordon, S.E.; Nindl, B.C.; Gothshalk, L.A.; Volek, J.S.; Marx, J.O., Newton, R.U. & Häkkinen, K. (1998). The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol*, *78*, 69-76.
- Kubo, K.; Ikebukuru, T.; Yata, H.; Tomita, M. & Okada, M. (2011). Morphological and mechanical properties of muscle and tendon in highly trained sprinters. *J Appl Biomech*, *27*, 336-344.
- Küchler, G. (1983). *Motorik: Steuerung der Muskeltätigkeit und begleitende Anpassungsprozesse*. Stuttgart: Fischer Verlag.
- Kukulj, M.; Ropret, R.; Ugarkovic, D. & Jaric, S. (1999). Anthropometric, strength and power predictors of sprint performance. *J Sports Med Phys Fit*, *39*, 120-122.
- Kumagai, K.; Abe, T.; Brechue, W.F.; Ryushi, T.; Takano, S. & Mizuno, M. (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol*, *88*, 811-816.
- Kunz, H. & Kaufmann, D.A. (1981). Biomechanical analysis of sprinting: Decathletes versus champions. *Br J Sports Med*, *15*(3), 177-181.
- Kyröläinen, H.; Avela, J.; McBride, J.M.; Koskinen, S.; Andersen, J.L.; Sipilä, S.; Takala, T.E.S. & Komi, P.V. (2005). Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scand J Med Sci Sports*, *15*, 58-64.
- Lago, C.; Casais, L.; Dominguez, E. & Sampaio, J. (2010). The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *Eur J Sports Sci*, *10*(2), 103-109.
- Lago-Penas, C.; Casais, L.; Dellal, A.; Rey, E. & Dominguez, E. (2011). Anthropometric and physiological characteristics of young soccer players according to their playing positions: Relevance for competition success. *J Strength Cond Res*, *25*(12), 3358-3367.



- Lago-Penas, C.; Rey, E. & Lago-Ballesteros, J. (2012). The influence of effective playing time on physical demands of elite soccer players. *Open Sports Sci J*, 5, 188-192.
- Lamont, H.S.; Cramer, J.T.; Bembem, D.A.; Shehab, R.L.; Anderson, M.A. & Bembem, M.G. (2009). Effects of a 6-week periodized squat training program with and without whole-body vibration on jump height and power output following acute vibration exposure. *J Strength Cond Res*, 23(8), 2317-2325.
- LaTorre, A.; Vernillo, G.; Rodigari, A.; Maggioni, M. & Merati, G. (2007). Explosive strength in female 11-on-11 versus 7-on-7 soccer players. *Sport Sci Health*, 2, 80-84.
- Lee, S.; Barton, E.R.; Sweeney, L. & Farrar, R.P. (2004). Viral expression of insulin-like growth factor-I enhanced muscle hypertrophy in resistance-trained rats. *J Appl Physiol*, 96, 1097-1104.
- Lee, S.S.M. & Piazza, S.J. (2009). Built for speed: Musculoskeletal structure and sprinting ability. *J Exp Biol*, 212, 3700-3707.
- LeGall, F.; Carling, C.; Williams, M. & Reilly, T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *J Sci Med Sport*, 13, 90-95.
- Lehmann, F. & Voss, G. (1997). Innovationen für den Sprint und Sprung: Ziehende Gestaltung der Stützphasen. Theoretische Konstruktion der Notwendigkeit - Teil 1. *Leistungssport*, 27(6), 20-25.
- Lehmann, F. & Voss, G. (1998). Innovationen für den Sprint und Sprung: Ziehende Gestaltung der Stützphasen. Theoretische Konstruktion der Notwendigkeit - Teil 2. *Leistungssport*, 28(1), 18-22.
- Letzelter, H. & Letzelter, M. (1986). *Krafttraining*. Reinbek bei Hamburg: Rohwolt Taschenbuch Verlag.
- Letzelter, M. (1978). *Trainingsgrundlagen*. Reinbek bei Hamburg: Rohwolt Taschenbuch Verlag.
- Lillegard, W.A.; Brown, E.W.; Wilson, D.J.; Henderson, R. & Lewis, E. (1997). Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: Effects of gender and maturity. *Ped Rehab*, 1(3), 147-157.
- Little, T. & Williams, A.G. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 19(1), 76-78.
- Liu, Y.; Gampert, L.; Prokopschuk, O. & Steinacker, J.M. (2007). Satellitenzellenaktivierung beim Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58(1), 6-11.
- Liu, Y.; Schlumberger, A.; Wirth, K.; Schmidtbleicher, D. & Steinacker, J.M. (2003). Different effects on human skeletal myosin heavy chain isoform expression: Strength vs. combination training. *J Appl Physiol*, 94, 2282-2288.
- Lloyd, R. S., Faigenbaum, A. D., Stone, M. H., Oliver, J. L., Jeffreys, I., Moody, J. A., et al. (2014). Position statement on youth resistance training: The 2014 international consensus. *Br J Sports Med*, 48, 498-505.
- Lloyd, R.S. & Oliver, J.L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength Cond J*, 34(3), 61-72.
- Lloyd, R.S.; Oliver, J.L.; Hughes, M.G. & Williams, C.A. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *J Strength Cond Res*, 25(7), 1889-1897.
- Lockie, R.G.; Murphy, A.J.; Callaghan, S.J. & Jeffriess, M.D. (2014). Effects of sprint and plyometrics training on field sport acceleration technique. *J Strength Cond Res*, 28(7), 1790-1801.
- Lockie, R.G.; Murphy, A.J.; Knight, T.J. & Janse de Jonge, X.A.K. (2011). Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *J Strength Cond Res*, 25(10), 2704-2714.

- Lockie, R.G.; Murphy, A.J.; Schultz, A.B.; Jeffriess, M.D. & Callaghan, S.J. (2013). Influence of sprint acceleration stance kinetics on velocity and step kinematics in field sport athletes. *J Strength Cond Res*, 27(9), 2494-2503.
- Lockie, R.G.; Murphy, A.J.; Schultz, A.B.; Knight, T.J. & Janse de Jonge, X.A.K. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res*, 26(6), 1539-1550.
- Lohman, T. (1989). Assessment of body composition in children. *Ped Exerc Sci*, 1, 19-30.
- Lopez-Segovia, M.; Andres, J.M.P. & Gonzalez-Badillo, J.J. (2010). Effect of 4 month of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2705-2714.
- Lund, R.J.; Dolny, D.G. & Browder, K.D. (2004). Optimal loading during two different leg-press movements in female rowers. *Med Sci Sports Exerc*, 36(1), 148-154.
- Lynn, S.K. & Noffal, G.J. (2012). Lower extremity biomechanics during a regular and counterbalanced squat. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2417-2425.
- MacDougall, J. (1994). Hypertrophie und/oder Hyperplasie. In P. V. Komi, *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 232-239). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- MacDougall, J.D.; Elder, G.C.B.; Sale, D.G.; Moroz, J.R. & Sutton, J.R. (1980). Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres. *Eur J Appl Physiol*, 43, 25-34.
- MacDougall, J.D.; Sale, D.G.; Elder, G.C.B. & Sutton, J.R. (1982). Muscle ultrastructural characteristics of elite powerlifters and bodybuilders. *Eur J Appl Physiol*, 48, 117-126.
- Mackala, K. (2007). Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New Stud Athl*, 22 (2), 7-16.
- Magal, M.; Smith, R.T.; Dyer, J.J. & Hoffman, J.R. (2009). Seasonal variation in physical performance-related variables in male NCAA Division III soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2555-2559.
- Maio Alves, J.M.V.; Rebelo, A.N.; Abrantes, C. & Sampaio, J. (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players vertical jump, sprint and agility abilities. *J Strength Cond Res*, 24(4), 936-941.
- Majumdar, A.S. & Robergs, R.A. (2011). The science of speed: Determinants of performance in the 100 m sprint. *Int J Sports Sci Coach*, 6 (3), 479-493.
- Malina, R.M.; Eisenmann, J.C.; Cumming, S.P.; Ribeiro, B. & Aroso, J. (2004). Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *Eur J Appl Physiol*, 91, 555-562.
- Malina, R.M.; Ribeiro, B.; Aroso, J. & Cumming, S.P. (2007). Characteristics of youth soccer players aged 13-15 years classified by skill level. *Br J Sports Med*, 41, 290-295.
- Mann, R. & Herman, J. (1985). Kinematic analysis of olympic sprint performance: Men's 200 metres. *Int J Sport Biomech*, 1, 151-162.
- Manna, I.; Khanna, G.L. & Dhara, P.C. (2010). Effect of training on physiological and biochemical variables of soccer players of different age groups. *Asian J Sports Med*, 1(1), 5-22.
- Marques, M.C.; Gil, H.; Ramos, R.J.; Costa, A.M. & Marinho, D.A. (2011). Relationships between vertical jump strength metrics and 5 meters sprint time. *J Hum Kin*, 29, 115-122.
- Martin, D.; Carl, K. & Lehnertz, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre 3. Auflage*. Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Matveev, L. (1972). *Periodisierung des sportlichen Trainings*. Berlin: Bartels & Wernitz Verlag.

- Mayhew, J.L.; McCormick, T.P.; Piper, F.C.; Kurth, A.L. & Arnold, M.D. (1993). Relationships of body dimensions to strength performance in novice adolescent male powerlifters. *Ped Exerc Sci*, 5, 347-356.
- McBride, J.M.; Blow, D.; Kirby, T.J.; Haines, T.L.; Dayne, A.M. & Triplett, N.T. (2009). Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. *J Strength Cond Res*, 23(6), 1633-1636.
- McBride, J.M.; Triplett-McBride, T.; Davie, A. & Newton R.U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res*, 16(1), 75-82.
- McBride, J.M.; Triplett-McBride, T.; Davie, A. & Newton, R.U. (1999). A comparison of strength and power characteristics between power lifters, olympic lifters and sprinters. *J Strength Cond Res*, 13(1), 58-66.
- McCall, G.E.; Byrnes, W.C.; Dickinson, A.; Pattany, P.M. & Fleck, S.J. (1996). Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J Appl Physiol*, 81, 2004-2012.
- McEvoy, K.P. & Newton, R.U. (1998). Baseball throwing speed and base running speed: The effects of ballistic resistance training. *J Strength Cond Res*, 12(4), 216-221.
- McLellan, C.P.; Lovell, D.I. & Gass, G.C. (2011). The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*, 25(2), 379-385.
- Mendell, L. (2005). The size principle: A rule describing the recruitment of motoneurons. *J Neurophysiol*, 93, 3024-3026.
- Mero, A. & Komi, P.V. (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol*, 55, 553-561.
- Mero, A. & Komi, P.V. (1994). EMG, force, and power analysis of sprint-specific strength exercises. *J Appl Biomechanics*, 10, 1-13.
- Meyer, T. (2006). Trainingsgestaltung im Leistungsfußball - wissenschaftliche Erkenntnisse vs. sportartspezifische Tradition. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57(5), 132-137.
- Meyer, T.; Coen, B.; Urhausen, A.; Wilking, P.; Honorio, S. & Kindermann, W. (2005). Konditionelles Profil jugendlicher Fußballspieler. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56(1), 20-25.
- Meyer, T.; Ohlendorf, K. & Kindermann, W. (2000). Konditionelle Fähigkeiten deutscher Spitzenfußballer im Längsschnitt. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51(7+8), 271-277.
- Meylan, C. & Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2605-2613.
- Mihailidis, H.; Kotzamanidis, H.; Chatzopoulos, D.; Siatras, T.H. & Frick, U. (2002). Auswirkungen eines Kombinationsprogramms aus Kraft- und Schnelligkeitstraining auf die Laufgeschwindigkeit von Fußballspielern. *Leistungssport*, 32(2), 14-18.
- Mihalik, J.P.; Libby, J.J.; Battaglini, C.L. & Mc Murray R.G. (2008). Comparing short-term complex and compound training programs on vertical jump height and power output. *J Strength Cond Res*, 22(1), 47-53.
- Milanovic, Z.; Sporis, G.; Trajkovic, N. & Fiorentini, F. (2011). Differences in agility performance between futsal and soccer players. *Sport Sci*, 4(2), 55-59.
- Milner-Brown, H.S.; Stein, R.B. & Yemm, R. (1973). The orderly recruitment of human motor units during voluntary isometric contractions. *J Physiol*, 230, 359-370.
- Milner-Brown, H.S.; Stein, R.B. & Yemm, R. (1973a). Changes in firing rate of human motor units during linearly changing voluntary contractions. *J Physiol*, 230, 371-390.

- Mirkov, D.M.; Nedeljkovic, A.; Milanovic, S. & Jaric, S. (2004). Muscle strength testing: Evaluation of tests of explosive force production. *Eur J Appl Physiol*, 91, 147-154.
- Mjolsnes, R.; Arnason, A.; Osthagen, T.; Raastad, T. & Bahr, R. (2004). A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports*, 14, 311-317.
- Mohr, M.; Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci*, 21, 519-528.
- Mohr, M.; Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *J Sports Sci*, 23(6), 593-599.
- Morin, J.-B.; Edouard, P. & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*, 43(9), 1680-1688.
- Moritani, T. & Muro, M. (1987). Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *Eur J Appl Physiol*, 56, 260-265.
- Moritani, T. (1994). Die zeitliche Abfolge der Trainingsanpassungen im Verlaufe eines Krafttrainings. In P. V. Komi, *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 266-276). Köln: Dt. Ärzte-Verlag.
- 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. *Eur J Appl Physiol*, 75, 193-197.
- Mühl, A.; Herkner, K.R. & Swoboda, W. (1992). The mid-growth spurt a pre-puberty growth spurt. Review of the significance and biological correlations. *Pädiatrie und Pädologie*, 27(5), 119-123.
- Mujika, I.; Santisteban, J. & Castagna, C. (2009). In-season effect of short-term sprint and power training programs on elite junior soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2581-2587.
- Müller, K. (1987). *Statische und dynamische Muskelkraft - Beiträge zur Sportwissenschaft Bd. 7*. Frankfurt: Harri-Deutsch-Verlag.
- Munn, J.; Herbert, R.D.; Hancock, M.J. & Gandevia, S.C. (2005). Resistance training for strength: Effect of number of sets and contraction speed. *Med Sci Sport Exerc*, 37(9), 1622-1626.
- Murphy, A.J.; Lockie, R.G. & Coutts, A.J. (2003). Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *J Sport Sci Med*, 2, 144-150.
- Myer, G.D.; Ford, K.R.; Brent, J.L.; Divine, J.G. & Hewett, T.E. (2007). Predictors of sprint start speed: The effects of resistive ground-based vs. inclined treadmill training. *J Strength Cond Res*, 21(3), 831-836.
- Nagahara, R.; Matsubayashi, T.; Matsuo, A. & Zushi, K. (2014). Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biol Open*, (In Press).
- Narici, M.V.; Roi, G.S.; Landoni, L.; Minetti, A.E. & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol*, 59, 310-319.
- Naughton, G.; Farpour-Lambert, N.J.; Carlson, J.; Bradney, M. & VanPraag, E. (2000). Physiological issues surrounding the performance of adolescent athletes. *Sports Med*, 30(5), 309-325.
- Nesser, T.W.; Latin, R.W.; Berg, K. & Prentice, E. (1996). Physiological determinants of 40-meter sprint performance in young male athletes. *J Strength Cond Res*, 10(4), 263-267.
- Neu, C.M.; Rauch, F.; Rittweger, J.; Manz, F. & Schoenau, E. (2002). Influence of puberty on muscle development at the forearm. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 283, E103-E107.

- Newton, R.U.; Rogers, R.A.; Volek, J.S.; Häkkinen, K. & Kraemer, W.J. (2006). Four weeks of optimal load ballistic resistance training at the end of season attenuates declining jump performance of women volleyball players. *J Strength Cond Res*, 20(4), 955-961.
- Nikolaidis, P. (2014). Age-related differences in countermovement vertical jump in soccer players 8-31 years old: The role of fat-free mass. *Am J Sport Sci Med*, 2(2), 60-64.
- Nimphius, S.; McGuigan, M.R. & Newton, R.U. (2010). Relationship between strength, power, speed, and change of direction performance of female softball players. *J Strength Cond Res*, 24(4), 885-895.
- Nimphius, S.; McGuigan, M.R. & Newton, R.U. (2012). Changes in muscle architecture and performance during a competitive season in female softball players. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2655-2666.
- Niu, W.; Feng, T., Jiang, C. & Zhang, M. (2014). Peak vertical ground reaction force during two-leg landing: A systematic review and mathematical modeling. *Bio Med Res Int*, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/126860>.
- Noth, J. (1994). Die motorischen Einheiten. In P. V. Komi, *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 33-40). Köln: Dt. Ärzte-Verlag.
- O'Donoghue, P. (2002). Time-motion analysis of work-rate in English FA Premier League soccer. *Int J Perf Analysis Sport*, 2(1), 36-43.
- Oliver, J.L.; Lloyd, R.S. & Rumpf, M.C. (2013). Developing speed throughout childhood and adolescence: The role of growth, maturation and training. *Strength Cond J*, 35(3), 42-48.
- Osgnach, C.; Poser, S.; Bernardini, R.; Rinaldo, R. & DiPrampo, P.E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: A new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc*, 42(1), 170-178.
- Ostojic, S. (2003). Seasonal alterations in body composition and sprint performance of elite soccer players. *J Exerc Physiol*, 6(3), 24-27.
- Otto III., W.H.; Coburn, J.W.; Brown, L.E. & Spiering, B.A. (2012). Effects of weightlifting vs. kettlebell training on vertical jump, strength and body composition. *J Strength Cond Res*, 26(5), 1199-1202.
- Paddon-Jones, D.; Leveritt, M.; Lonergan, A. & Abernethy, P. (2001). Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: The influence of contraction velocity. *Eur J Appl Physiol*, 85, 466-471.
- Pampus, B. (1992). *Die Muskelleistung als Intensitätsparameter im Krafttraining - Theorie und Praxis der Psychomotorik d. 12*. Kassel: Gesamthochschule.
- Pampus, B. (2001). *Schnellkrafttraining: Theorie - Methoden - Praxis*. Aachen: Meyer und Meyer Verlag.
- Papaikovou, G.; Giannakos, A.; Michailidis, C.; Patikas, D.; Bassa, E.; Kalopisis, V.; Anthrakidis, N. & Kotzamanidis, C. (2009). The effect of chronological age and gender on the development of sprint performance during childhood and puberty. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2568-2573.
- Pastor, A.M. & Gonzalez-Forero, D. (2003). Recruitment order of cat abducens motoneurons and internuclear neurons. *J Neurophysiol*, 90, 2240-2252.
- Payne, V.G.; Morrow, J.R.; Johnson, L. & Dalton, S.N. (1997). Resistance training in children and youth: A meta analysis. *Res Quart Exerc Sport*, 68(1), 80-88.
- Perez-Gomez, J.; Rodriguez, G.V.; Ara, I.; Olmedillas, H.; Chavarren, J.; Gonzalez-Henriquez, J.J.; Dorado, C. & Calbet, J.A.L. (2008). Role of muscle mass on sprint performance: Gender differences? *Eur J Appl Physiol*, 102, 685-694.
- Petajan, J. (1981). Motor unit frequency control in normal man. In J. E. Desmedt, *Progress in clinical neurophysiology, Vol 9 - Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease* (S. 97-136). Basel: Karger.

- Petersen, N.T.; Butler, J.E.; Carpenter, M.G. & Cresswell, A.G. (2006). Ia-afferent input to motoneurons during shortening and lengthening muscle contractions in humans. *Eur J Appl Physiol*, 102, 144-148.
- Petrella, J.K.; Kim, J.; Tuggle, S.C.; Hall, S.R. & Bamman, M.M. (2005). Age differences in knee extension power, contractile velocity, and fatigability. *J Appl Physiol*, 98, 211-220.
- Petrofsky, J. (1979). Frequency and amplitude analysis of the EMG during exercise on the bicycle ergometer. *Eur J Appl Physiol*, 41, 1-15.
- Pette, D. (1999). Das adaptative Potenzial des Skelettmuskels. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(9), 262-271.
- Petterson, S.A. & Mathisen, G.E. (2012). Effect of short burst activities on sprint and agility performance in 11- to 12-year-old boys. *J Strength Cond Res*, 26(4), 1033-1038.
- Philippaerts, R.M.; Vaeyens, R.; Janssens, M.; VanRenterghem, B.; Matthys, D.; Craen, R.; Burgois, J.; Vrijens, J.; Beunen, G. & Malina, R.M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci*, 24(3), 221-230.
- Pierce, K.C.; Byrd, R.J. & Stone, M.H. (2006). Position statement and literature review: Youth weightlifting. *Olympic Coach*, 18(3), 10-12.
- Pinasco, A. & Carson, J. (2005). Preseason conditioning for college soccer. *Strength Cond J*, 27(5), 56-62.
- Pinto, R.S.; Gomes, N.; Radaelli, R.; Botton, C.E.; Brown, L.E. & Bottaro, M. (2012). Effect of range of motion on muscle strength and thickness. *J Strength Cond Res*, 26(8), 2140-2145.
- Poortmans, J.R.; Boisseau, N.; Moraine, J.J.; Moreno-Reyes, R. & Goldman, S. (2005). Estimation of total-body skeletal muscle mass in children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc*, 37(2), 316-322.
- Pucci, A.R.; Griffin, L. & Cafarelli, E. (2005). Maximal motor unit firing rates during isometric resistance training in men. *Exp Physiol*, 91(1), 171-178.
- Rachor, A.; Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1998). Die Bedeutung verschiedener Kraftfähigkeiten für Spitzenleistungen im Ringen. *Leistungssport* 28(2), 10-15.
- Rack, P.M.H. & Westbury, D.R. (1969). The effect of length and stimulus rate on tension in the isometric cat soleus muscle. *J Physiol*, 204, 443-460.
- Ramirez-Campillo, R.; Meylan, C.; Alvarez, C.; Henriquez-Olguin, C.; Martinez, C.; Canas-Jamett, R.; Andrade, D.C. & Izquierdo, M. (2014). Effects of in-season low-volume high-intensity plyometric training on explosive actions and endurance of young soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(5), 1335-1342.
- Rampinini, E.; Coutts, A.J.; Castagna, C.; Sassi, R. & Impellizzeri, F.M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med*, 28, 1018-1024.
- Rampinini, E.; Impellizzeri, F.M.; Castagna, C.; Coutts, A.J. & Wisloff, U. (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: Effect of fatigue and competitive level. *J Sci Med Sport*, 12, 227-233.
- Randell, A.D.; Cronin, J.B.; Keogh, J.W.L. & Gill, N.D. (2010). Transference of strength and power adaptation to sports performance - horizontal and vertical force production. *Strength Cond J*, 32(4), 100-106.
- Ratliff, J. (1982). Strength and conditioning for soccer at Wake Forest University. *NSCA J*, 4(4), 10-12.
- Rauch, F.; Bailey, D.A.; Baxter-Jones, A.; Mirwald, R. & Faulkner, R. (2004). The muscle-bone unit during the pubertal growth spurt. *Bone*, 34, 771-775.
- Rebelo, A., Brito, J., Seabra, A., & Oliveira, J. &. (2012). Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. *Eur J Sport Sci*, doi.10.1080/17461391.2012.664171.

- Rehagel, J. (2011). *Entwicklung einer Testbatterie zur Diagnostik und Steuerung der Schnelligkeit im Sportspiel Fußball*. Deutsche Sporthochschule Köln: Dissertation.
- Reilly, T. (2001). Assessment of sports performance with particular reference to field games. *Eur J Sport Sci*, 1(3), 1-12.
- Reilly, T. (2005). Training specificity for soccer. *Int J Appl Sports Sci*, 17(2), 17-25.
- Reilly, T. (2005a). An ergonomics model of the soccer training process. *J Sports Sci*, 23(6), 561-572.
- Reilly, T. (2007). *Science of Training - Soccer*. London: Routledge.
- Reilly, T.; Bangsbo, J. & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sport Sci*, 18, 669-683.
- Requena, B.; Gonzalez-Badillo, J.J.; DeVillareal, E.S.; Ereline, J.; Garcia, I.; Gapeyeva, H. & Pääsuke, M. (2009). Functional performance, maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of lower extremities in soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(5), 1391-1401.
- Rey, E.; Lago-Penas, C.; Lago-Ballesteros, J.; Casais, L. & Dellal, A. (2010). The effect of a congested fixture period on the activity of elite soccer players. *Biol Sport*, 27, 181-185.
- Rhea, M. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res*, 18(4), 918-920.
- Ricard, M.D. & Veatch, S. (1994). Effect of running and aerobic dance jump height on vertical ground reaction forces. *J Appl Biomech*, 10, 14-27.
- Richter, A. (2011). *Aspekte der Sprungkraft und Sprungkraftdiagnostik unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung im Kindes- und Jugendalter*. Karlsruhe: Institut für Technologie - Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften.
- Rimmer, E. & Sleivert, G. (2000). Effects of a plyometrics intervention program on sprint performance. *J Strength Cond Res*, 14(3), 295-301.
- Rønnestad, B.R.; Kvamme, N.H.; Sunde, A. & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 22(3), 773-780.
- Rønnestad, B.R.; Nymark, B.S. & Raastad, T. (2011). Effects of in-season strength maintenance training frequency in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 25(10), 2653-2660.
- Ropret, R.; Kukolj, M.; Ugarkovic, D.; Matavulj, D. & Jaric, S. (1998). Effects of arm and leg loading on sprint performance. *Eur J Appl Physiol*, 77, 547-550.
- Ross, A.; Leveritt, M. & Riek, S. (2001). Neural influences on sprint running. *Sports Med*, 31(6), 409-425.
- Ross, R.E.; Ratamess, N.A.; Hoffman, J.R.; Faigenbaum, A.D.; Kang, J. & Chilakos, A. (2009). The effects of treadmill sprint training and resistance training on maximal running velocity and power. *J Strength Cond Res*, 23(2), 385-394.
- Rowland, T. (2005). *Children's exercise physiology*. Champaign: Human Kinetics.
- Ruff, C. (2003). Growth in bone strength, body size, and muscle size in a juvenile longitudinal sample. *Bone*, 33, 317-329.
- Russell, M. & Tooley, E. (2011). Anthropometric and performance characteristics of young male soccer players competing in the UK. *Serb J Sports Sci*, 5(4), 155-162.
- Rutherford, O.M. & Jones, D.A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol*, 55, 100-105.
- Sale, D. (1994). Neuronale Adaptationen im Verlaufe eines Krafttrainings. In P. V. Komi, *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 249-265). Köln: Dt. Ärzte-Verlag.
- Salo, A.I.T.; Bezodis, I.N.; Batterham, A.M. & Kerwin, D.G. (2011). Elite sprinting: Are athletes individually step-frequency or step-length reliant? *Med Sci Sports Exerc*, 43(5), 1055-1062.

- Saltin, B. & Gollnick, P.D. (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In L. D. Peachey, *Handbook of Physiology* (S. 555-632). Bethesda, Maryland: American physiological society.
- Santana, J. (2002). Strength and conditioning for soccer I: A new approach to the old question of strength. *Strength Cond J*, 24(1), 18-19.
- Santana, J. (2002a). Strength and conditioning for soccer II: A specific metabolic approach. *Strength Cond J*, 24(3), 73-74.
- Santos, E.J.A.M. & Janeira, M.A.A.S. (2012). The effects of resistance training on explosive strength indicators in adolescent basketball players. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2641-2647.
- Sarianides, G. (1985). Pre-season conditioning and season maintenance for the professional soccer player. *NSCA J*, 7(4), 46-49.
- Schache, A.G.; Blanch, P.D.; Dorn, T.W.; Brown, N.A.T.; Rosemond, D. & Pandy, M.G. (2011). Effect of running speed on lower limb joint kinetics. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7), 1260-1271.
- Schele, R. & Kaiser, P. (1979). Running performance and muscle fiber types. In P. V. Komi, R. C. Nelson, & C. A. Morehouse, *Exercise and sport biology* (S. 84-89). Champaign: Human Kinetics.
- Schiffer, J. (2009). The sprints. *New Stud Athl*, 24(1), 7-17.
- Schlumberger, A. (2006). Sprint- und Sprungkrafttraining bei Fußballern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57(5), 125-131.
- Schlumberger, A.; Wirth, K.; Liu, Y.; Steinacker, J. & Schmidtbleicher, D. (2001). Effekte eines Trainings mit einer Schnellkraftmethodenkombination. *BISp-Jahrbuch*, 157-160.
- Schmidtbleicher, D. & Gollhofer, A. (1982). Neuromuskuläre Untersuchungen zur Bestimmung individueller Belastungsgrößen für ein Tiefsprungtraining. *Leistungssport*, 12(4), 298-307.
- Schmidtbleicher, D. (1984). Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. *Lehre der Leichtathletik*, 35(50), 107-110.
- Schmidtbleicher, D. (1985). Diagnose des Kraftverhaltens und Trainingssteuerung im Krafttraining. *Lehre der Leichtathletik*, 24(4), 107-110.
- Schmidtbleicher, D. (1985a). Klassifizierung der Trainingsmethoden im Krafttraining. *Lehre der Leichtathletik*, 24(1/2), 225-230.
- Schmidtbleicher, D. (1987). Motorische Beanspruchung Kraft. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 356-376.
- Schmidtbleicher, D. (1994). Entwicklung der Kraft und der Schnelligkeit. In J. Baur, K. Bös, & R. Singer, *Motorische Entwicklung - Ein Handbuch* (S. 129-150). Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Schmidtbleicher, D. (2003). Motorische Eigenschaft Kraft: Struktur, Komponenten, Anpassungserscheinungen, Trainingsmethoden und Periodisierung. In W. Fritsch, *Rudern - erfahren, erkunden, erforschen* (S. 15-40). Gießen: Wirth-Verlag.
- Schmidtbleicher, D.; Dietz, V.; Noth, J. & Antoni, M. (1978). Auftreten und funktionelle Bedeutung des Muskeldehnungsreflexes bei Lauf- und Sprintbewegungen. *Leistungssport*, 8, 480-490.
- Schoenau, E.; Neu, C.M.; Mokov, E.; Wassmer, G. & Manz, F. (2000). Influence of puberty on muscle area and cortical bone area or the forearm in boys and girls. *J Clin Endocrinol Metab*, 85(3), 1095-1098.
- Schott, J.; McCully, K. & Rutherford, O.M. (1995). The role of metabolites in strength training: II. Short versus long isometric contractions. *Eur J Appl Physiol*, 71, 337-341.
- Seegmiller, J.G. & McCaw, S.T. (2003). Ground reaction force among gymnasts and recreational athletes in drop landings. *J Athl Train*, 38(4), 311-314.



- Semmler, J.G. & Nordstrom, M.A. (1998). Motor unit discharge and force tremor in skill- and strength-trained individuals. *Exp Brain Res*, 119, 27-38.
- Semmler, J.G.; Kornatz, K.W.; Dinneno, D.V.; Zhou, S. & Enoka, R.M. (2002). Motor unit synchronisation is enhanced during slow lengthening contractions of a hand muscle. *J Physiol*, 545(2), 681-695.
- Seynnes, O.R.; De Boer, M. & Narici, M.V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol*, 102, 368-373.
- Shalfawi, S.A.I.; Haugen, T.; Jacobsen, T.A.; Enoksen, E. & Tonnessen, E. (2013). The effect of combined resisted agility and repeated sprint training vs. strength training on female elite soccer players. *J Strength Cond Res*, 27(11), 2966-2972.
- Sheppard, J.M. & Newton, R.U. (2012). Long-term training adaptations in elite male volleyball players. *J Strength Cond Res*, 26(8), 2180-2184.
- Sheppard, J.M. & Young, W.B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sport Sci*, 24(9), 919-932.
- Shepstone, T.N.; Tang, J.E.; Dallaire, S.; Schuenke, M.D.; Staron, R.S. & Phillips, S.M. (2005). Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of elbow flexors in young men. *J Appl Physiol*, 98, 1768-1776.
- Sialis, I. (2004). *Innervationscharakteristik und Trainingsadaptabilität im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (Dissertation)*. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Silva, J.R.; Magalhaes, J.; Ascensao, A.; Seabra, A.F. & Rebelo, A.N. (2013). Training status and match activity of professional soccer players throughout a season. *J Strength Cond Res*, 27(1), 20-30.
- Silvestre, R.; Kraemer, W.J.; West, C.; Judelson, D.A.; Spiering, B.A.; Wingren, J.L.; Hatfield, D.L.; Anderson, J.M. & Maresh, C.M. (2006). Body composition and physical performance during a national collegiate athletic association division I men's soccer season. *J Strength Cond Res*, 20(4), 962-970.
- Slawinski, J.; Bonnefoy, A.; Leveque, J.-M.; Ontanon, G.; Riquet, A.; Dumas, R. & Cheze, L. (2010). Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start. *J Strength Cond Res*, 24(4), 896-905.
- Sleivert, G. & Taingahue, M. (2004). The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 91, 46-52.
- Söhnlein, Q.; Müller, E. & Stöggl, T.L. (2014). The effect of 16-week plyometric training on explosive actions in early to mid-puberty elite soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(8), 2105-2114.
- Spencer, M.; Bishop, D.; Dawson, B. & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint ability. *Sports Med*, 35(12), 1025-1044.
- Spinks, C.D.; Murphy, A.J.; Spinks, W.L. & Lockie, R.G. (2007). The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *J Strength Cond Res*, 21(1), 77-85.
- Spiteri, T.; Cochrane, J.L.; Hart, N.H.; Haff, G.G. & Nimphius, S. (2013). Effect of strength on plant foot kinetics and kinematics during a change of direction task. *Eur J Sport Sci*, 13(6), 646-652.
- Sporis, G.; Jukic, I.; Ostojic, S.M. & Milanovic, D. (2009). Fitness profiling in soccer: Physical and physiologic characteristics of elite players. *J Strength Cond Res*, 23(7), 1947-1953.
- Sporis, G.; Milanovic, Z.; Trajkovic, N.; Erceg, M. & Novak, D. (2012). Relationship between functional capacities and performance parameters in soccer. *J Sports Med Doping Stud*, S2, 1-5.

- Stafilidis, S. (2006). *Sprint performance in relation to mechanical properties of the muscle-tendon unit and running track compliance*. Deutsche Sporthochschule Köln: Dissertation.
- Staron, R.S.; Herman, J.R. & Schuenke, M.D. (2012). Misclassifications of hybrid fast fibers in resistance-trained human skeletal muscle using histochemical and immunohistochemical methods. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2616-2622.
- Staron, R.S.; Malicky, E.S.; Leonardi, M.J.; Falkel, J.E.; Hagerman, F.C. & Dudley, G.A. (1989). Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol*, 60, 71-79.
- Steinacker, J.M.; Wang, L.; Lormes, W.; Reißnecker, S. & Liu, Y. (2002). Strukturanpassungen des Skelettmuskels auf Training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53(12), 354-360.
- Stephens, J.A.; Garnett, R. & Buller, N.P. (1978). Reversal of recruitment order of single motor units produced by cutaneous stimulation during voluntary muscle contraction in man. *Nature*, 272, 362-364.
- Stodden, D.F. & Galitski, H.M. (2010). Longitudinal effects of a collegiate strength and conditioning program in American football. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2300-2308.
- Stolen, T.; Chamari, K.; Castagna, C. & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer - an update. *Sports Med* 35(6), 501-536.
- Stone, M.H.; Moir, G.; Glaister, M. & Sanders, R. (2002). How much strength is necessary? *Phys Ther Sport*, 3, 88-96.
- Strojnik, V. & Komi, P.V. (1998). Neuromuscular fatigue after maximal stretch-shortening cycle exercise. *J Appl Physiol*, 84, 344-350.
- Stroyer, J.; Hansen, L. & Klausen, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc*, 36(1), 168-174.
- Svensson, M. & Drust, B. (2005). Testing soccer players. *J Sports Sci*, 23(6), 601-618.
- Swinton, P.A.; Lloyd, R.; Keogh, J.W.L.; Agouris, I. & Stewart, A.D. (2014). Regression models of sprint, vertical jump, and change of direction performance. *J Strength Cond Res*, 28(7), 1839-1848.
- Szymanski, D.J.; Szymanski, J.M.; Schade, R.L.; Bradford, T.J.; McIntyre, J.S.; DeRenne, C. & Madsen, N.H. (2010). The relation between anthropometric and physiological variables and bat velocity of high-school baseball players before and after 12 weeks of training. *J Strength Cond Res*, 24(11), 2933-2943.
- Takai, Y.; Fukunaga, Y.; Fujita, E.; Mori, H.; Yoshimoto, T.; Yamamoto, M. & Kanehisa, H. (2013). Effects of body mass-based squat training in adolescent boys. *J Sports Sci Med*, 12, 60-65.
- Tanji, J. & Kato, M. (1981). Activity of low- and high-threshold motor units of abductor digiti quinti in slow and fast voluntary contractions. In J. E. Desmedt, *Progress in clinical neurophysiology, Vol 9 - Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease* (S. 137-144). Basel: Karger.
- Tanner, S. (1993). Weighing the risks. *The Phys Sportsmed*, 21(6), 105-116.
- Taskin, H. (2008). Evaluating sprinting ability, density of acceleration, and speed dribbling ability of professional soccer players with respect to their positions. *J Strength Cond Res*, 22(5), 1481-1486.
- Tax, A.A.M.; Denier van der Gon, J.J.; Gielen, C.C.A.M. & Kleyne, M. (1990). Differences in central control of m. biceps brachii in movement tasks and force tasks. *Exp Brain Res*, 79, 138-142.
- Tax, A.A.M.; Denier van der Gon, J.J.; Gielen, C.C.A.M. & Van den Tempel, C.M.M. (1989). Differences in the activation of m. biceps brachii in the control of slow isotonic movements and isometric contractions. *Exp Brain Res*, 76, 55-63.

- Teng, W.M.; Keong, C.C.; Ghosh, A.K. & Thimurayan, V. (2008). Effect of a resistance training programme on isokinetic peak torque and anaerobic power of 13-16 years old taekwondo athletes. *Int J Sports Sci Engineer*, 2(2), 111-121.
- Tesch, P. (1987). Acute and long-term metabolic changes consequent to heavy-resistance exercise. In P. Marconnet, & P. V. Komi, *Muscular function in exercise and training* (S. 67-89). Basel: Karger.
- Tesch, P.A. & Larsson, L. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *Eur J Appl Physiol*, 49, 301-306.
- Tesch, P.A.; Karlsson, J. & Sjödén, B. (1979). Muscle fiber type distribution in trained and untrained muscles of athletes. In P. V. Komi, R. C. Nelson, & C. A. Morehouse, *Exercise and sport biology* (S. 79-83). Champaign: Human Kinetics.
- Tesch, P.A.; Komi, P.V. & Häkkinen, K. (1987). Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training. *Int J Sports Med*, 8, 66-69suppl.
- Tihanyi, J. (1987). Die physiologischen und mechanischen Grundprinzipien des Krafttrainings. *Leistungssport*, 17(2), 38-44.
- Treize, J.; Bartlett, R. & Bussey, M. (2011). Coordination variability changes with fatigue in sprinters. *Int J Sports Sci Coaching*, 6(3), 357-363.
- Tricoli, V.; Lamas, L.; Carnevale, R. & Urginowitsch, C. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: Weightlifting vs. vertical jump training programs. *J Strength Cond Res*, 19(2), 433-437.
- Tschiene, P. (1985). Veränderungen in der Struktur des Jahrestrainingszyklus. *Leistungssport*, 15(5), 5-12.
- Tsolakis, C.; Messinis, D.; Stergioulas, A. & Dessypris, A. (2000). Hormonal responses after strength training and detraining in prepubertal and pubertal boys. *J Strength Cond Res*, 14(4), 399-404.
- Tsolakis, C.; Vagenas, G. & Dessypris, A. (2003). Growth and anabolic hormones, leptin, and neuromuscular performance in moderately trained prepubescent athletes and untrained boys. *J Strength Cond Res*, 17(1), 40-46.
- Tsolakis, C.; Xekouki, P.; Kaloupsis, S.; Karas, D.; Messinis, D.; Vagenas, G. & Dessypris, A. (2003a). The influence of exercise on growth hormone and testosterone in prepubertal and early-pubertal boys. *Hormones*, 2(2), 103-112.
- Turner, A.N. & Stewart, P.F. (2014). Strength and conditioning for soccer players. *Strength Cond J*, 36(4), 1-13.
- Vaeyens, R.; Malina, R.M.; Janssens, M.; VanRenterghem, B.; Burgois, J.; Vrijens, J. & Philippaerts, R.M. (2006). A multidisciplinary selection model for youth soccer: The Ghent youth soccer project. *Br J Sports Med*, 40, 928-934.
- Valente-dos-Santos, J.; Coelho-e-Silva, M.J.; Severino, V.; Duarte, J.; Martins, R.S.; Figueiredo, A.J.; Seabra, A.T.; Philippaerts, R.M.; Cumming, S.P.; Elferink-Gemser, M. & Malina, R.M. (2012). Longitudinal study of repeated sprint performance in youth soccer players contrasting skeletal maturity status. *J Sports Sci Med*, 11, 371-379.
- VanCutsem, M.; Duchateau, J. & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*, 513(1), 295-305.
- Vänttinen, T.; Blomqvist, M.; Nyman, K. & Häkkinen, K. (2011). Changes in body composition, hormonal status, and physical fitness in 11-, 13-, and 15-year-old Finnish regional youth soccer players during a two-year follow-up. *J Strength Cond Res*, 25(12), 3342-3351.
- Verchoshanskij, J. (1995). *Ein neues Trainingssystem für azyklische Sportarten - Trainerbibliothek 32*. Münster: Philippka Verlag.
- Verheijen, R. (1998). *Conditioning for Soccer*. Leeuwarden: Redswain.

- Vermeulen, H. (2005). *Zonenfußball - Das Spielen mit Raum und Zeit*. Leer: Onli-Verlag.
- Vicente-Rodriguez, G.; Dorado, C.; Perez-Gomez, J.; Gonzalez-Henriquez, J.J. & Calbet, J.A.L. (2004). Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Bone*, 35, 1208-1215.
- Viitasalo, J.T. & Komi, P.V. (1978). Force-time characteristics and fiber composition in human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol*, 40, 7-15.
- Voigt, M. & Klausen, K. (1990). Changes in muscle strength and speed of unloaded movement after various training programmes. *Eur J Appl Physiol*, 60, 370-376.
- Walden, M.; Hägglund, M. & Ekstrand, J. (2005). UEFA Champions League study: A prospective study of injuries in professional football during the 2001-2002 season. *Br J Sports Med*, 39, 542-546.
- Wallace, J.L. & Norton, K.I. (2013). Evolution of World Cup soccer final games 1966-2010: Game structure, speed and play patterns. *J Sci Med Sport (Article in Press)*.
- Walters, P.H.; Jezequel, J.J. & Grove, M.B. (2012). Case study: Bone mineral density of two elite senior female powerlifters. *J Strength Cond Res*, 26(3), 867-872.
- Wang, Q. (1999). *Methodologische Probleme bei der diagnostischen Erfassung der Maximal- und Schnellkraftfähigkeit*. Köln: Sport & Buch Strauß.
- Wardle, H. (1992). Strength training for soccer. *NSCA J*, 14(1), 72-74.
- Weineck, J. (2007). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings (15. Aufl.)*. Balingen: Spitta-Verlag.
- Weltman, A.; Janney, C.; Rians, C.B.; Strand, K.; Berg, B.; Tippitt, S.; Wise, J.; Cahill, B.R. & Katch, F.I. (1986). The effects of hydraulic resistance strength training in pre-pubertal males. *Med Sci Sports Exerc*, 18(6), 629-638.
- Werchoschanski, J. (1988). *Effektiv trainieren*. Berlin: Sportverlag.
- Werchoschanskij, J.W.; Mironenko, I.N.; Antonova, T.M.; Chactrjan, O.W.; Nikitin, S.W. & Levcenko, A.W. (1982). Entwicklung eines Modells der Dynamik des Leistungszustands von Sportlern im Jahreszyklus und seine Bedeutung für die Trainingssteuerung. *Leistungssport*, 12(5), 363-366.
- Wiemann, K. & Tidow, G. (1995). Relative activity of hip and knee extensors in sprinting - implications for training. *New Stud Athletics*, 10, 29-49.
- Williams, C.A.; Oliver, J.L. & Faulkner, J. (2011). Seasonal monitoring of sprint and jump performance in a soccer youth academy. *Int J Sports Physiol Perform*, 6, 264-275.
- Williams, D. (1993). Overview of skeletal injuries in youth sports. *Nat Strength Cond Assoc J*, 15(2), 38-42.
- Williamson, D.L.; Gallagher, P.M.; Carrol, C.C.; Raue, U. & Trappe, S.W. (2001). Reduction in hybrid single muscle fiber proportions with resistance training in humans. *J Physiol*, 91, 1955-1961.
- Willoughby, D.S. & Rosene, J. (2001). Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression. *Med Sci Sports Exerc*, 33(10), 1674-1681.
- Willoughby, D.S. & Simpson, S. (1998). Supplemental EMS and dynamic weight training: Effects on knee extensor strength and vertical jump of female college track and field athletes. *J Strength Cond Res*, 12(3), 131-137.
- Wilson, G.J.; Newton, R.U.; Murphy, A.J. & Humphries, B.J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*, 25(11), 1279-1286.
- Wirth, K. & Schmidtbleicher, D. (2005). Vergleich verschiedener Trainingsmethoden zur Schnellkraftentwicklung (Teil 1). In *BISp-Jahrbuch* (S. 161-167).
- Wirth, K. & Schmidtbleicher, D. (2007). Veränderungen der Muskelmasse in Abhängigkeit von Trainingshäufigkeit und Leistungsniveau. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58(6), 178-183.

- Wirth, K. & Zawieja, M. (2008). Erfahrungen aus dem Gewichtheben für das leistungssportliche Krafttraining - Teil 1. *Leistungssport*, 38(5), 10-13.
- Wirth, K. & Zawieja, M. (2008a). Erfahrungen aus dem Gewichtheben für das leistungssportliche Krafttraining - Teil 2. *Leistungssport*, 38(6), 50-54.
- Wirth, K. (2007). *Trainingshäufigkeit im Hypertrophietraining*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Wirth, K.; Atzor, K.R. & Schmidbleicher, D. (2007). Veränderungen der Muskelmasse in Abhängigkeit von Trainingshäufigkeit und Leistungsniveau. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58(6), 178-183.
- Wirth, K.; Bob, A.; Müller, S. & Schmidbleicher, D. (2006/07). Vergleich verschiedener Trainingsmethoden zur Schnellkraftentwicklung. *BISp-Jahrbuch*, 191-202.
- Wisloff, U.; Castagna, C.; Helgerud, J.; Jones, R. & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*, 38, 285-288.
- Wong, D.P.; Chan, G.S. & Smith, A.W. (2012). Repeated-sprint and change-of-direction abilities in physically active individuals and soccer players: Training and testing implications. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2324-2330.
- Wong, P.L.; Chamari, K. & Wisloff, U. (2010). Effects of 12-week on-field combined strength and power training on physical performance among U-14 young soccer players. *J Strength Cond Res*, 24(3), 644-652.
- Wong, P.L.; Chaouachi, A.; Chamari, K.; Dellal, A. & Wisloff, U. (2010a). Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 24(3), 653-660.
- Yemm, R. (1977). The orderly recruitment of motor units of the masseter and temporal muscle during voluntary isometric contraction in man. *J Physiol*, 265, 163-174.
- Yetter, M. & Moir, G.L. (2008). The acute effects of heavy back and front squats on speed during forty-meter sprint trials. *J Strength Cond Res*, 22(1), 159-165.
- Young, J.L. & Mayer, R.F. (1981). Physiological properties and classification of single motor units activated by intramuscular microstimulation in the first dorsal interosseous muscle in man. In J. E. Desmedt, *Progress in clinical neurophysiology, Vol 9 - Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease* (S. 17-25). Basel: Karger.
- Young, W. & Farrow, D. (2013). The importance of a sport-specific stimulus for training agility. *Strength Cond J*, 35(2), 39-43.
- Young, W.; Benton, D.; Duthie, G. & Pryor, J. (2001). Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength Cond J*, 23(2), 7-13.
- Young, W.; McLean, B. & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fit*, 35, 13-19.
- Young, W.B. & Bilby, G.E. (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power and hypertrophy development. *J Strength Cond Res*, 7(3), 172-178.
- Young, W.B.; Miller, I.R. & Talpey, S.W. (2015). Physical qualities predict change-of-direction speed but not defensive agility in Australian rules football. *J Strength Cond Res*, 29(1), 206-212.
- Yu, C.C.W.; Sung, R.Y.T.; So, R.C.H.; Lui, K.-C.; Lau, W.; Lam, P.K.W. & Lau, E.M.C. (2005). Effects of strength training on body composition and bone mineral content in children who are obese. *J Strength Cond Res*, 19(3), 667-672.
- Zaciorskij, V. (1972). *Die körperlichen Eigenschaften des Sportlers. Band 3: Trainerbibliothek*. Berlin: Verlag Bartels & Wernitz KG.
- Zajac, F. (1990). Coupling of recruitment order to the force produced by motor units: The size principle hypothesis revisited. In M. D. Binder, & L. M. Mendell, *The segmental motor system* (S. 96-111). New York: Oxford University Press.

# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Name: Andre Sander  
Geburtsdatum: 30.12.1982  
Geburtsort: Bad Homburg  
Nationalität: deutsch

## Ausbildung

Juli 2011 - Doktorand am Institut für Sportwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main

Oktober 2003 – März 2009 Studium der Sportwissenschaften mit Nebenfach Sportmedizin und Politologie an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt

Juni 2002 Abitur am Heinrich von Gagern Gymnasium in Frankfurt

## **Eidesstattliche Erklärung**

„Ich, Andre Sander, erkläre hiermit, dass die vorliegende Dissertation selbständig verfasst wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet wurden. Ich erkläre hiermit gleichermaßen, dass die Stellen der Dissertation, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, durch Angaben der Quellen kenntlich gemacht wurden. Weiterhin erkläre ich, dass ich zuvor keine Promotionsverfahren beantragt habe und dass mir die Promotionsordnung bekannt ist.“

Schönau am Königssee, 01.02.2015