

UNIVERSITÄT FREIBURG, SCHWEIZ  
MATHEMATISCH NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT  
DEPARTEMENT FÜR MEDIZIN

In Zusammenarbeit mit der  
EIDGENÖSSISCHEN HOCHSCHULE FÜR SPORT MAGGLINGEN

*Was sind die Effekte eines 4-wöchigen plyometrischen Training-  
Programms auf die vertikale Sprungkraft beim Countermovement-Jump  
von männlichen U-20-Fussballspielern?*

Abschlussarbeit zur Erlangung des Masters in  
Bewegungs- und Sportwissenschaften  
Option Unterricht

Referent: Dr. Didier STAUDENMANN  
Betreuer: Alain ROUVENAZ

Christian MAUCH  
Fribourg, Mai, 2016

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	3
1 Einleitung .....	4
1.1 Einführung in die Thematik .....	4
1.1.1 Leistungskriterien im Fussball .....	4
1.1.2 Sprungkraft .....	6
1.1.3 Plyometrie .....	7
1.2 Ziel und konkrete Fragestellung .....	11
2 Methode .....	12
2.1 Probanden .....	12
2.2 Ablauf .....	12
2.3 Messung .....	12
2.4 Trainingsintervention .....	14
2.5 Analyse der Datenauswertung .....	18
2.6 Statistische Analysen .....	20
3 Resultate .....	22
3.1 Anthropometrische Daten .....	22
3.2 Sprunghöhe .....	23
3.3 Kraftrate .....	24
3.4 Korrelation .....	25
4 Diskussion .....	27
4.1 Stärken und Schwächen .....	31
5 Konklusion .....	32
Literaturverzeichnis .....	34
Danksagung .....	39
Persönliche Erklärung .....	40
Urheberrechtserklärung .....	40
Anhang .....	41

## Zusammenfassung

Leistungsorientiertes Fussballspielen erfordert nebst den technischen und taktischen Anforderungen ein hohes Mass an Agilität, Schnelligkeit, Ausdauer und Sprungkraft. Die entscheidenden Aktionen in einem Fussballspiel sind fast ausschliesslich durch Explosivität geprägte Bewegungen. Eine Verbesserung der vertikalen Sprungleistung, der Agilität und der Sprintleistung wurden als Effekte von plyometrischem Training beschrieben. Die Sprunghöhe wird dabei als bewährtes Mittel verwendet, um den Effekt von plyometrischem Training nachzuweisen. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Leistungsfähigkeit im Countermovement-Jump von U-20-Fussballspielern mit und ohne ergänzendes plyometrisches Training vor und nach der Trainingsphase erfasst. Die Fussballer waren zwischen 16 und 20 Jahren alt. Das plyometrische Training wurde dreimal wöchentlich zusätzlich zum regulären Fussballtraining während vier Wochen absolviert. Die Interventionsgruppe (mit plyometrischem Training) hat sich im Vergleich zur Kontrollgruppe (ohne plyometrischem Training) in allen erhobenen Variablen gesteigert (Bsp.: Sprunghöhe: + 5.44%, Krafrate: + 27.39%). Keine der Verbesserungen wurde als signifikant eingestuft. Die Ergebnisse nach einer vierwöchigen plyometrischen Trainingsintervention zeigen, dass das Training eine Verbesserung der vertikalen Sprungkraft hervorruft, diese jedoch nicht signifikant ist. Es wurde gezeigt, dass aufgrund einer mehrwöchigen Erholungsphase nach einer kurzen intensiven plyometrischen Trainingsintervention die Sprunghöhe signifikant gesteigert werden kann. Möglicherweise hätte eine zusätzliche Erholungsphase auch in dieser Studie signifikante Verbesserungen hervorgebracht. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass plyometrisches Training, alleine oder in Kombination mit anderen Trainingsmethoden, ein grosses Potenzial bezüglich Verbesserung der sportlichen Leistung hat.

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung in die Thematik

„Kraft und Schnellkraftleistungen stellen, neben anderen konditionellen Anforderungen, bzw. technischen, taktischen und psychischen Anforderungen in vielen Mannschaftssportarten einen leistungsdeterminierenden Faktor dar. Die Maximalkraft wird dabei als die höchste Kraft verstanden, die das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion erzeugen kann. Eine hohe Maximalkraft stellt in vielen Sportarten eine Basis für ein hohes Leistungsniveau dar. Die Schnellkraft stellt die Fähigkeit des neuromuskulären Systems dar, einen möglichst grossen Impuls (Kraftstoss) innerhalb einer verfügbaren Zeit zu entfalten (Schmidtbleicher, 2003). Um einen Leistungsvorteil zu erhalten, ist eine Ausprägung der Kraft und Schnellkraftleistungen sinnvoll.“ (Keiner et al., 2012, S. 8)

Gemäss Keiner et al. (2012) ergibt sich bei den konditionellen Anforderungen in vielen Teamsportarten ein komplexes Anforderungsprofil. Es gibt eine grosse Anzahl von Trainingsmöglichkeiten, um spezifische Anpassungen je nach den Anforderungen einer Sportart zu bringen. Von Konditionstrainern, Coaches und Athleten werden ständig effiziente und effektive Trainingsmethoden gesucht, welche die sportliche Leistung verbessern (Hrysomallis, 2012).

Die Bedeutung der Explosivkraft als Leistungsvoraussetzung für schnelle, azyklische und zyklische Bewegungen in vielen Sportarten, unter anderem auch im Fussball, ist unbestritten und nimmt, je länger, je mehr, zu (Hübner et al., 2013).

### *1.1.1 Leistungskriterien im Fussball*

Fussball wurde in den letzten Jahren immer athletischer (Chelly et al., 2010). Leistungsorientiertes Fussballspielen erfordert ein hohes Mass an Agilität, Schnelligkeit, Ausdauer und Sprungkraft, um unter anderem explosive Bewegungen wie Dribbeln, Sprinten, Schiessen und das Kopfballspiel leisten zu können (Markovic & Mikulic, 2010; Stølen et al., 2005).

Die grundlegenden Bewegungsmuster im Fussball erfordern ein hohes Mass an Wendigkeit (Agilität) (Ellis et al., 2000; Reilly et al., 2000), welche als schnelle Ganzkörperbewegung mit einer Geschwindigkeits- oder Richtungsänderung als Antwort auf einen Stimulus definiert wird (Sheppard & Young, 2006). Diese Definition beinhaltet die kognitiven

(Entscheidungsprozesse) und physikalischen (Wechsel der Richtungsgeschwindigkeit) Komponenten der Agilität (Markovic & Mikulic, 2010). Durch den Wechsel von einer exzentrischen zu einer konzentrischen Muskelaktivität, erfordert Wendigkeit zudem eine schnelle Kraftentwicklung und eine hohe Kraftleistung sowie die Fähigkeit, den Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) effizient in ballistischen Bewegungen zu nutzen (Plisk, 2000).

Die Sprintfähigkeit und -geschwindigkeit ist in vielen Sportarten ein wesentliches Kriterium für den Erfolg. Sie repräsentiert eine multidimensionale Bewegungsfertigkeit, welche eine explosive konzentrische Kraftproduktion der unteren Extremitäten erfordert (Markovic & Mikulic, 2010). Der 100-m-Sprint kann gemäss Delecluse et al. (1995) in drei Phasen unterteilt werden: Beschleunigungsphase (0-10 m), Phase der Erreichung der maximalen Geschwindigkeit (10 bis 36 m) und die Phase zur Aufrechterhaltung der maximalen Geschwindigkeit (36 bis 100 m). Bei den meisten Spielsportarten, welche Sprints beinhalten, kommen hauptsächlich Sprints über eine kurze Distanz vor (Phase 1). Ein Sprint-Zweikampf kommt im Wettkampf ungefähr alle 90 Sekunden vor und dauert normalerweise zwischen zwei und vier Sekunden (Reilly & Thomas, 1976). In einem Spiel finden zwischen 1000 und 1400 schnellkräftige Aktionen statt (Keiner et al., 2012).

Auf der anderen Seite legen professionelle Fussballspieler, abhängig von ihrer Position, in einem Match zwischen zehn und zwölf Kilometer zurück (Rampinini et al., 2007) und 98% von der gesamten benötigten Energie kommt dabei von der aeroben (Oxidation mit Sauerstoff) Energiebereitstellung (Astrand & Rodahl, 1986). Dazu haben verschiedene Verfasser von Studien den Fokus auf Trainingsmethoden gelegt, welche die aerobe Leistungsfähigkeit von Fussballern fördern (Wong, Chamari & Wisløff, 2010).

Die entscheidenden Aktionen in einem Fussballspiel sind jedoch fast ausschliesslich durch Explosivität geprägte Bewegungen (Chelly et al., 2010; Hoff & Helgerud, 2004; Keiner et al., 2012). Aus diesem Blickwinkel ist es wichtig, die Schnellkraftkapazität der Fussballspieler zu verbessern und gleichzeitig ein angemessenes Niveau der aeroben Ausdauer aufrechtzuerhalten (Wong et al., 2010). Mit der Ausprägung der schnellkräftigen Faktoren ist es möglich, einen Leistungsvorteil gegenüber anderen Sportlern zu erhalten (Keiner et al., 2012). Verbesserungen im vertikalen Sprung und der Sprintleistung aufgrund von plyometrischem Training (siehe Abschnitt 1.1.3 Plyometrie) sind im Fussball vorteilhaft (Bangsbo, 1993; Potach & Chu, 2000). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die

Hauptkriterien eines professionellen Fussballers, nebst technischen und taktischen Fähigkeiten, die Schnelligkeit, die Agilität, die Ausdauer sowie die Sprungkraft sind.

### *1.1.2 Sprungkraft*

Die Messung der vertikalen Sprungleistung wird heute als gängiges Mittel angesehen, um die athletische Stärke und Kraft in den unteren Extremitäten zu bestimmen (Carlock et al., 2004; Carlson, Magnusen & Walters, 2009).

Trainer und Athleten vertrauen diesem Test als Indikator für sportliches Potenzial in vielen Sportarten wie Gewichtheben, Fussball, Basketball, Volleyball und den Laufdisziplinen. Eine geringe Stärke deutet auf eine schlechte Muskelentwicklung hin, verunmöglicht eine gute sportliche Leistung und sollte von den weniger gut trainierten Athleten als das primäre Trainingsziel angesehen werden. Krafttraining mit dem Prinzip des One-Repetition-Maximum (1RM) und einer damit verbundenen langsamen Bewegungsausführung steigert bewiesenermassen die Fähigkeit des Muskels, Kraft zu generieren, ist jedoch nicht effektiv, um Geschwindigkeiten der realen sportlichen Leistung zu simulieren (Channell & Barfield, 2008). Traditionelle Übungen wie Squats sind gemäss Baker (1996) exzellente Übungen um die Kraft in den unteren Extremitäten zu trainieren, korrelieren (in Wechselbeziehung stehen) jedoch kaum mit der vertikalen Sprungleistung. Um die sportliche Leistung zu maximieren, müssen die Athleten zusätzlich Kraft in den Hüft-, Knie- und den Fussgelenkmuskeln trainieren und somit die Krafrate (siehe Unterkapitel 2.5 Analyse der Datenauswertung) erhöhen. Training mit geringem Widerstand und einer schnellen Bewegungsausführung resultiert in einer Steigerung der Krafrate, ähnelt den realen sportlichen Erfordernissen und führt zu kräftigeren und explosiveren Bewegungen (Newton, Kraemer & Haekkinen, 1999; Thomas et al., 2007). Geeignete Übungsbeispiele, um die Sprungkraft zu trainieren, sind der Drop-Jump und der Countermovement-Jump (CMJ).

Die Explosivkraft ist das Produkt von Kraft und Bewegung (Wong et al., 2010) und hat das Ziel einen möglichst steilen Kraftanstiegsverlauf realisieren zu können (Weineck, 2010). Um das Niveau der Explosivkraft zu bestimmen, bieten sich verschiedene Testformen an. Über vertikale Absprünge auf Kraftmessplatten lassen sich direkt physikalische Werte für die maximale Leistung als Synonym für die Explosivkraft ermitteln (Hübner et al., 2005). Sie hängt stark von der Fähigkeit des neuromuskulären Systems ab, den grösstmöglichen Impuls in einer kurzen Zeitspanne zu generieren ((Stølen et al., 2005). Es ist erwiesen, dass bei einer Steigerung der muskulären Kontraktionskraft bei hoher Geschwindigkeit, die Steigerung der

Explosivitätsleistung einhergeht (Bangsbo, 1993). Die Verbesserung bei der Explosivkraft wird hauptsächlich mit einer Steigerung der neuronalen Aktivierung und einer Adaptation der trainierten Muskeln erreicht.

Übungen mit grossen Ähnlichkeiten in der Bewegung und dem Gelenkwinkel mit dem vertikalen Sprung, können auch die grösste Leistungssteigerung des vertikalen Sprunges hervorrufen (Baker, 1996; Semenick & Adams, 1987). Dasselbe gilt für die Spezifität des Trainings. Das Training sollte eine Ähnlichkeit der Bewegungsgeschwindigkeit und der Spezifität der Trainingsübungen in Bezug auf die geforderte sportliche Leistung aufweisen (Hrysomallis, C., 2012; Sale & MacDougall, 1981).

### *1.1.3 Plyometrie*

Der Begriff Plyometrie kommt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „mehr messen“. In den frühen 1970er Jahren erregte das plyometrische Training Aufsehen, als osteuropäische Athleten begannen die kraftdominanten Sportarten zu dominieren und somit gewann das plyometrische Training an Bedeutung (Mirzaei et al., 2014). Später wurde es im westlichen Europa als „Elastizitätstraining“, „reaktives Training“, „exzentrisches Training“, „Niedersprungtraining“ oder als „Schlagmethode“ bezeichnet (Weineck, 2010).

Die Effekte von plyometrischem Training auf die Leistungsentwicklung wurden über viele Jahre erforscht (Luebbers, et al, 2003). Die Fachliteratur zeigt eine grosse Vielzahl von Beurteilungen, was die Effekte von plyometrischem Training auf Athleten und Non-Athleten (Wagner & Kocak, 1997), auf aerobe Leistung (Potteiger et al., 1999), als Einzeltrainingsprogramm (Fatouros et al., 2000; Wagner & Kocak, 1997) oder als Teil eines kombinierten Programms mit anderen Krafttrainingsarten sind (Clutch et al., 1983; Fatouros et al., 2000; Wilson, Murphy & Giorgi, 1996). Untersuchungen haben eine Steigerung der Muskelkraft (Holcomb et al., 1996; Lyttle, Wilson & Ostrowski, 1996), der vertikalen Sprungkraft (Markovic et al., 2007; Mc Clenton et al., 2008; Wilson et al., 1993) und eine verbesserte Agilität (Bobbert et al., 1996) als Effekte von plyometrischem Training nachgewiesen. Die Sprunghöhe wird als bewährtes Mittel verwendet, um den Effekt von plyometrischem Training nachzuweisen (Luebbers et. al., 2003).

Im Rahmen einer Klassifizierung der Kraftfähigkeiten findet in der Literatur oft eine Einteilung in statisches und dynamisches Kraftverhalten, bzw. in die unterschiedlichen muskulären Arbeitsweisen statt. Betrachtet man jedoch das Anforderungsprofil eines

Fussballers, so ist die am häufigsten vorkommende Art der muskulären Arbeitsweise eine Kombination aus exzentrischer und konzentrischer. Die Kombination beider muskulärer Arbeitsweisen wird DVZ oder auch reaktives Kraftverhalten genannt (Keiner et al., 2012). Nach Weineck (2010) kommt es beim plyometrischen Training zu einer komplexen Koppelung des Effekts des negativ dynamischen Trainings mit dem des positiv dynamischen Trainings. Die Besonderheit der Arbeit im DVZ liegt in einer Leistungspotenzierung in der konzentrischen Phase der Bewegung mit einer Speicherung von Energie in den sehnenelementen eines Muskels und der Verstärkung der muskulären Aktivierung über den in der exzentrischen Phase der Bewegung ausgelösten monosynaptischen Dehnungsreflex (Keiner et al., 2012). Die Fähigkeit des Muskels diese „elastische Energie“ zu speichern und anschliessend abzugeben, hängt von der Geschwindigkeit, der Länge und der Dauer der Dehnung sowie von der Kraft am Ende der Dehnung ab (Bosco, Komi, & Ito, 1981). Zusammengefasst gesagt, werden sich auf muskelphysiologischer Ebene Augenblicke der Vorinnervation (Voraktivierung des Muskels), des Dehnungsreflexes und der elastischen Komponente des Muskels zu Nutze gemacht. Die Vorinnervation scheint Bestandteil eines fixen Bewegungsprogramms zu sein, das von supraspinalen Zentren ausgelöst wird und deren funktionelle Bedeutung einerseits in einer bestmöglichen Sensibilisierung der Muskelspindeln, andererseits in der Veränderung der Elastizität der betroffenen Muskulatur im Sinne einer erhöhten „Stiffness“ liegt (Weineck, 2010). Gleichzeitig wird durch die Voraktivierung eine Basis geschaffen, welche bei einer kommenden Aufschaltung des Reflexes zu einer höheren und schnelleren Kraftentwicklung führt. Der DVZ führt über eine solche Reflexaufschaltung zu einer schnelleren und höheren Kraftentwicklung (Holcomb et al., 1996; Weineck, 2010). In erster Linie geht dieser Leistungszuwachs vielmehr auf den Einsatz des Dehnreflexes und die verbesserte neuromuskuläre Koordination, als auf einen Kraftzuwachs zurück. Plyometrisches Training verbessert die Leistung der unteren Extremitäten und erhöht mit mehr Arbeit in weniger Zeit die Explosivkraft (Holcomb et al., 1996).

Gemäss Weineck (2010) werden anhand des Niedersprungtrainings die charakteristischen Besonderheiten des plyometrischen Trainings aufgezeigt: Durch den Niedersprung werden die späteren Agonisten (aktiv verkürzte Muskeln) gedehnt. Der über die Muskelspindeln ausgelöste Dehnungsreflex führt zu einer vermehrten Innervation von ansonsten nicht aktivierten Muskelfasern und damit zu einer höheren und schnelleren Kraftentwicklung bei der anschliessenden Kontraktion. In diesem Fall spielt die Vorinnervation des Muskels unmittelbar vor dem Aufsprung eine wichtige Rolle: Sie schafft zum einen eine optimale

Innervationsbasis für die nachfolgende Muskelaktivität, zum anderen verändert sie den Spannungs- und dadurch auch den Elastizitätszustand des Muskels, der nach dem Niedersprung für die Grösse und Geschwindigkeit der Muskelvordehnung verantwortlich ist. Schliesslich wird noch die elastische Komponente des Muskels als Energiespeicher, ausgenutzt. Dabei kommt es zu einer Speicherung von kinetischer Energie (Bewegungsenergie), die dann der durch Muskelkontraktion erzeugten Energie hinzugefügt wird (Weineck, 2010). Gemäss Weineck (2010) kommt es durch plyometrisches Training zu einer Querschnitts-, Kraft- und Schnellkraftzunahme bei allen Muskelfasertypen, vor allem aber der FT-Fasern (schnelle Muskelfasern).

Je schneller der Muskel gestreckt wird, desto grösser ist die produzierte Kraft und desto stärker die muskuläre Bewegung (Luebbers, et al, 2003). Das Ausmass des leistungspotenzierenden Effekts des DVZ wird jedoch stark von der muskulären Aktivität in der exzentrischen Phase und der Bewegungsgeschwindigkeit in der Umkehrphase der Bewegung beeinflusst. Dies führt dazu, dass in der Literatur zum Teil zwischen einem schnellen (<200-300 Millisekunden, z.B. Sprint, Drop Jump) und einem langsamen DVZ (>400 Millisekunden, z.B. CMJ) unterschieden wird. Beide verbessern jedoch den vertikalen Sprung, die Wendigkeit, die Sprintfähigkeit und die Stärke (Mirzaei et al., 2014). Der langsame DVZ kommt zum Beispiel beim Basketball oder Volleyball zu tragen. Hingegen kommt der kurze DVZ hauptsächlich in der Leichtathletik oder in läuferischen Sportarten vor. Die neuromuskuläre Arbeit im DVZ stellt also auch im Fussball einen leistungsdeterminierenden Faktor dar, den es auszuprägen gilt, um einen Leistungsvorteil zu erlangen (Keiner et al., 2012).

Vor wenigen Jahren hat Michailidis et al., (2013) aufgezeigt, dass bereits ein sechswöchiges plyometrisches Training positive Auswirkungen und Anpassungen in Sachen sportlicher Leistung bei Nachwuchsspielern im Fussball haben kann.

Es wurden einige Studien zu den Effekten von plyometrischem Training durchgeführt. In den bestehenden Studien betrug die Interventionsdauer oft vier (Dodd & Alvar, 2007; Herrero et al., 2006; Luebbers et al., 2003; Potach et al., 2009; Wilson et al., 1993), sechs (Matavulj et al., 2001; Michailidis et al., 2013; Spurrs, Murphy & Watsford, 2003; Turner, Owings & Schwane, 2003; Vescovi, Canavan & Hasson, 2008), acht (Holcomb et al., 1996; Tricoli et al., 2005; Wilson et al., 1996) oder gar 24 Wochen (Häkkinen & Komi, 1985; Kato et al., 2006), um nur einige Studien aufzuzählen. Obwohl es bisher viele Studien zum Thema

Plyometrie gab, ist wenig über die Effektivität unterschiedlicher Trainingsdauern bekannt. Um optimale Resultate zu erzielen und gleichzeitig einem Übertraining vorzubeugen, ist es wichtig, das Training über die richtige Dauer anzuwenden (Luebbbers et al., 2003).

In der Literatur herrscht eine Widersprüchlichkeit der vorhandenen Informationen über die Wirksamkeit von plyometrischem Training (Chelly et al., 2010; De Villarreal et al., 2009). Ausserdem gibt es wenige Studien mit einer sehr kurzen Interventionsdauer von vier Wochen. Zwei (Herrero et al., 2006; Wilson et al., 1993) der mir bekannten Studien hatten eine Interventionsdauer von vier Wochen und haben die Sprungkraft auf einer Kraftmessplatte mittels Countermovement Jump ohne Armeinsatz erhoben. Jedoch unterscheiden sich die Resultate der beiden Studien markant. Herrero et al. (2006) zeigte eine Verringerung und Wilson et al. (1993) eine Verbesserung der Sprungleistung nach der vierwöchigen Trainingsintervention.

Diese gegensätzlichen Resultate gaben den Anlass, eine Studie in Bezug auf das plyometrische Training mit Nachwuchsfussballern durchzuführen.

## 1.2 Ziel und konkrete Fragestellung

Plyometrisches Training kann eine grosse Leistungsverbesserung bei Sprints und bei Sprüngen aufweisen (Hrysomallis, 2012). In dieser Masterarbeit soll der Einfluss von plyometrischem Training auf die vertikale Sprungkraft untersucht werden. Bei 24 Probanden wird mittels CMJ beim Pretest mithilfe einer Kraftmessplatte die vertikale Sprungkraft erfasst. Danach führt die eine Hälfte der Probanden (Interventionsgruppe) während vier Wochen ein spezifisches plyometrisches Training (Trainingsintervention) durch. Die andere Hälfte der Probanden (Kontrollgruppe) absolviert während den vier Wochen kein plyometrisches Training. Nach der Trainingszeit folgt der Posttest erneut mit allen Probanden auf dieselbe Weise wie beim Pretest. Anhand dieses Experimentes kann aufgezeigt werden, welche Parameter durch das plyometrische Training verbessert werden können.

### Fragestellung:

**Was sind die Effekte eines 4-wöchigen plyometrischen Training-Programms auf die vertikale Sprungkraft beim Countermovement-Jump von männlichen U-20-Fussballspielern?**

### Hypothesen:

Ein 4-wöchiges plyometrisches Training steigert die Krafrate.

Ein 4-wöchiges plyometrisches Training steigert die Sprunghöhe.

## 2 Methode

### 2.1 Probanden

Die Probanden und deren Eltern (bei unter 18-Jährigen) wurden schriftlich und mündlich über den Inhalt der Trainingsintervention und der Leistungstests informiert und stimmten der Studie schriftlich zu (Einverständniserklärung siehe Anhang). 24 männliche Probanden haben an dieser Studie teilgenommen. Die Probanden wurden in zwei fast gleich grosse Gruppen eingeteilt. Die Interventionsgruppe und die Kontrollgruppe enthielten 13, resp. elf männliche Probanden (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung: Alter  $20 \pm 3$  Jahre, Grösse  $1.77 \pm 0.05$  m, Gewicht  $73.9 \pm 8.3$  kg). Die Interventionsgruppe umfasste ausschliesslich U-20-Spieler vom Team des Freiburger Fussballverbands, welches in der 2. Liga spielt. Die Kontrollgruppe setzte sich aus Fussballspielern und sportlichen Studenten, die in der Freizeit unterschiedliche Sportarten ausüben, zusammen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden beider Gruppen über ähnliche konditionelle Voraussetzungen verfügen.

Die Körpergrösse wurde mit einem vertikalen Messband an der Wand gemessen, das Gewicht wurde mittels Kraftmessplatte ermittelt und das Alter wurde erfragt. Auf die anthropometrischen (menschlichen Körpermerkmale) Voraussetzungen der Probanden wird im Resultatteil eingegangen (Tab. 3).

### 2.2 Ablauf

Diese Studie bestand aus zwei Messeinheiten (Pretest und Posttest) und einer plyometrischen Trainingsintervention. Die Kontrollgruppe absolvierte nur den Pre- und Posttest, die Interventionsgruppe hingegen absolvierte neben den Tests auch noch die vierwöchige plyometrische Trainingsintervention. Das Training fand dreimal pro Woche statt. Die erhaltenen Daten aus den beiden Tests wurden analysiert und verglichen, um mögliche Effekte der Trainingsintervention festzustellen.

### 2.3 Messung

Bei jedem Besuch im Labor wurden die Probanden über den Testablauf informiert. Alle Messungen wurden in der nachstehenden Reihenfolge durchgeführt: Aufwärmen, Erhebung der anthropometrischen Daten und der CMJ.

Alle Probanden absolvierten ein begleitetes, testspezifisches Aufwärmen, welches ungefähr fünf Minuten dauerte. Es setzte sich aus drei Minuten submaximaler Aktivität auf dem Fahrrad-Ergometer, 90 Sekunden Springseil-Sprüngen und 40 Skippings zusammen. Die submaximale Aktivität auf dem Fahrrad-Ergometer wurde zur Anregung des Herz-Kreislauf-Systems der Athleten bewusst zu Beginn des Aufwärmens angesetzt, gefolgt von den unterschiedlichen Sprüngen (Springseil, Skippings), welche die Strukturen und Partien des Körpers mobilisieren, die auch beim CMJ angesprochen werden.

Zum Erlangen der anthropometrischen Daten wurden das Gewicht auf der Kraftmessplatte und die Grösse an der Wand mittels vertikalen Messbands gemessen.

Die vertikale Sprunghöhe und damit die Explosivkraft wurde mittels CMJ auf einer Kraftmessplatte (AMTI, Modell OR6-7, Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, USA) ermittelt. Die AMTI-Kraftmessplatte erlaubt es, Bodenreaktionskräfte zu messen. Obwohl die Kraftmessplatte die Kraftkomponenten in mehreren Richtungen messen kann, wurde bei dieser Studie nur die Kraft in vertikaler Richtung gemessen und analysiert. Die Sprünge wurden mit einer Frequenz von 1000 Hz aufgezeichnet. Dank dieser hohen Abtastrate lassen sich schnelle Bewegungen erfassen. Um die Reliabilität (Genauigkeit/Verlässlichkeit) zu erhöhen, wurde die Kraftmessplatte jeweils nach drei absolvierten Sprüngen neu kalibriert. Den Probanden wurde durch den Studienleiter die korrekte Ausführung der Sprünge vorgezeigt. Bei jedem Sprung bestand die Aufgabe für die Probanden darin, eine möglichst grosse Höhe zu erreichen. Die Sprünge wurden ohne Armeinsatz absolviert, um eine unterschiedliche Koordination zwischen Arm- und Beinbewegung unter den Teilnehmern auszuschliessen und damit einen besseren Rückschluss auf die eigentliche Explosivkraft der unteren Extremitäten zu erhalten. Sie hatten zwei Versuchssprünge um sich die korrekte Ausführung anzueignen. Danach führten die Probanden drei CMJ-Testsprünge mit einer Pausendauer von 30 Sekunden zwischen jedem Testsprung aus.

Das Protokoll des Testablaufs sah folgendermassen aus:

Aufwärmen (5' - 6')

Fahrrad-Ergometer	3'
Springseilen	90"
Skippings	40 Stk.

*3'- 5'Pause*

Countermovement-Jump

1. +2. Probesprung—30" Pause—1. Testsprung—30" Pause—2. Testsprung—30" Pause—3. Testsprung

## **2.4 Trainingsintervention**

„Das Prinzip der richtigen Belastungsfolge ist vor allem in den Trainingseinheiten von Wichtigkeit, in denen mehrere Leistungskomponenten geschult werden sollen: Am Anfang einer Trainingseinheit stehen Übungen, deren Effektivität einen erholten psychophysischen Zustand und nachfolgend vollständige Erholungspausen erfordern, wie z.B. Koordinations-, Schnelligkeits-, Schnellkraft- oder Maximalkraftübungen.“ (Weineck, 2010, S.49)

Mit diesem Wissen wurde die Trainingsintervention in dieser Studie vor dem üblichen Fussballtraining durchgeführt, um einen erholten psychophysischen Zustand garantieren zu können. Das Trainingsprogramm verlief über vier Wochen, fand dreimal die Woche statt und eine Einheit dauerte circa eine halbe Stunde. Im Trainingsprogramm inbegriffen war ein standardisiertes Aufwärmen.

Aufwärmen

Mit dem standardisierten, trainingsspezifischen Aufwärmprogramm (Tab. 1) sollte allfälligen Verletzungen, welche durch die intensive Intervention hervorgerufen werden könnten, vorgebeugt werden. Die Probanden gaben nach dem Aufwärmprogramm, auch bei winterlichen Temperaturen, stets an, gut aufgewärmt zu sein. Das Jogging wurde zur Anregung des Herz-Kreislauf-Systems der Athleten bewusst zu Beginn des Aufwärmens

angesetzt, gefolgt von den unterschiedlichen Sprüngen (Skippings, Fersen-Anheben, Froschsprünge), welche die Strukturen und Partien des Körpers mobilisieren, die auch in der Intervention angesprochen werden. Die Übungen wurden in einer Serie ausgeführt.

Tab. 1: Standardisiertes Aufwärmprogramm vor jeder Trainingsintervention. REP = Anzahl Repetitionen.

Übung	REP
Jogging (1. Runde = 400m)	2
Skippings	20
Fersen-Anheben	20
Froschsprünge	10

### Trainingsintervention

Die Trainingsintervention wurde dreimal pro Woche durchgeführt. Die Athleten hatten zwischen den einzelnen Trainings mindestens 48 Stunden Erholungszeit. Die Intensität aller Trainingsübungen war maximal.

Das Programm (Tab. 2) der Trainingsintervention wurde aus Übungen von Fachliteratur und von bereits durchgeführten Studien zusammengestellt (Abb. 1 und Abb. 2). Bei der Abfolge der Übungen wurde auf die Intensität und auf die Komplexität der Übungen geachtet: vom Einfachen zum Schweren, resp. Komplexen.

In der ersten Interventionswoche wurde jede Übung vorgezeigt, um eine korrekte Bewegungsausführung zu gewährleisten und somit eine gewisse Qualität sicherzustellen.

Um einem Übertraining vorzubeugen, wurde am Ende jeder Interventionswoche das subjektive Empfinden des Teams mittels Borg-Skala (siehe Anhang) erfragt. Da die Probanden der Interventionsgruppe nie einen Intensitätswert von über 15 angegeben hatten, wurde die Repetitionszahl jede Woche um 1 gesteigert. Jede Woche kamen mit dieser Steigerung 48 Sprünge hinzu. Vergleicht man nun die Wochenbelastung (Anzahl Sprünge) der ersten mit der letzten Woche, nahm diese während der gesamten Intervention um 33 % zu.

In der Literatur wurde betont (Weineck, 2010), dass sich das Prinzip der progressiven Belastung aus der Beziehung zwischen Belastung, Anpassung und Leistungssteigerung ergibt.

Gemäss Weineck (2010) verlieren Trainingsbelastungen ihre Wirksamkeit für die Leistungssteigerung, wenn sie über einen längeren Zeitraum konstant bleiben. Unter Beachtung des Alters und des Trainingszustandes muss deshalb in entsprechenden Abständen eine Belastungserhöhung erfolgen.

Alle Übungen wurden in zwei Serien durchgeführt. Zwischen den zwei Serien und den verschiedenen Trainingsteilen wurde eine Pause von zwei Minuten eingebaut (Weineck, 2010; Alptekin, Kılıç, und Maviş, 2013).

Tab. 2: Plyometrisches Trainingsprogramm. W1-W4 = Trainingswoche, REP = Anzahl Repetitionen/Satz.

		W1	W2	W3	W4
		REP	REP	REP	REP
<b>Übung</b>					
<b>Teil 1</b>	Skippings	10	11	12	13
	Diagonalsprünge einbeinig	10	11	12	13
	Hürdensprünge beidbeinig	8	9	10	11
	Dropjumps von Holzbox + 10-m-Sprint	2	2	2	2
	Hütchen-Ballensprünge	10	11	12	13
	Hürdensprünge lateral beidbeinig	8	9	10	11
Pause: 2'					
<b>Teil 2</b>	Boxjumps	8	9	10	11
	Dropjumps	8	9	10	11
	Countermovement-Jumps	8	9	10	11

Während allen Trainingsinterventionen wurden die Probanden beobachtet und bei Bedarf Ratschläge zur besseren Ausführung (kurze Bodenkontakte, Knie nicht zu fest beugen, etc.) erteilt. Die Probanden wurden wiederholt darauf hingewiesen, dass maximale Sprünge, resp. Leistung, sowie möglichst kurze Bodenkontakte erwünscht sind.

**Übung**

<p>1. Skippings</p>	
<p>2. Diagonalsprünge einbeinig</p>	
<p>3. Hürdensprünge beidbeinig</p>	
<p>4. Dropjumps von Holzbox + 10-m-Sprint</p>	
<p>5. Hütchen-Ballensprünge</p>	
<p>6. Hürdensprünge lateral beidbeinig</p>	

Pause 2'

**Intervention 1. Teil (2. Serie)**

Pause 2'

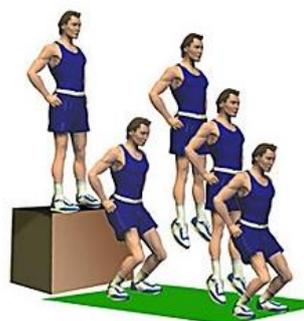
Abb. 1: Übungsliste der Trainingsintervention Teil 1.

**1. Serie****Übung**

1. Boxjumps (Höhe: 0.35 m)



2. Dropjumps (Höhe: 0.35 m)



3. Countermovement-Jumps



Pause 2'

**2. Serie**

Abb. 2: Übungsliste der Trainingsintervention Teil 2.

**2.5 Analyse der Datenauswertung**

Die durch die Kraftmessplatte erhaltenen Daten wurden mittels eines Auswertungsprogramms (Matlab, Mathworks, Network, USA) sichtbar gemacht. Auf der Abbildung 3 ist die Kraft-Zeit-Kurve eines qualitativ gut ausgeführten CMJ eines Studienteilnehmers dargestellt. Der CMJ wird eingesetzt um die Kraftfähigkeit der Sprungmuskulatur zu testen (Explosivkraft). Die Messung erfolgt durch einen Sprung aus dem Stand mit einer Ausholbewegung, die Hände sind dabei in die Hüfte gestemmt. Die Bewegung startet mit dem Tiefgehen durch Beugen der Sprung-, Knie- und Hüftgelenke. Das Tiefgehen wird abgebremst und in eine flüssige Hochgebewegung umgeleitet, in der die Sprung-, Knie- und Hüftgelenke durchgestreckt werden. Die Streckung der Gelenke erfolgt dabei so explosiv, dass der Sportler am Ende der Streckung vom Boden abhebt und eine Flugphase eingeleitet wird.

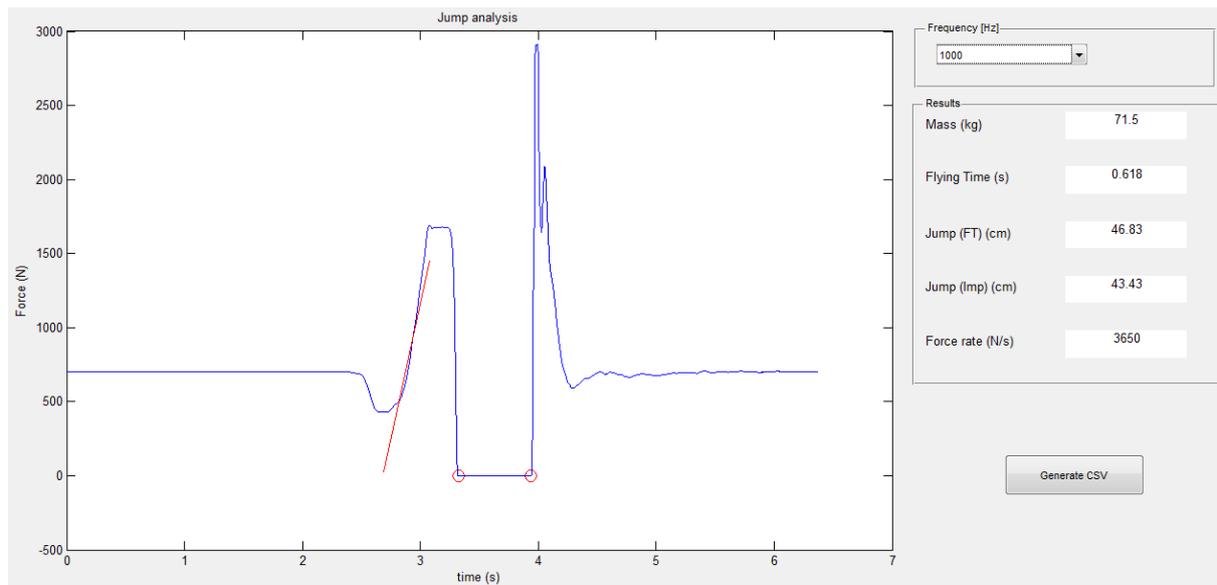


Abb. 3: Beispiel des Kraftverlaufs während eines CMJ. Die rote Gerade zeigt die Krafrate (Indikator für Explosivkraft). Die zwei roten Kreise markieren die Flugphase des Sprunges.

Um den CMJ besser verstehen zu können, wollen wir uns nun einmal den Kraft-Zeit-Verlauf ansehen: Hier ist zu erkennen, dass der Studienteilnehmer zunächst in einem ruhigen Stand auf der Kraftmessplatte steht. In der Darstellung beschreibt der Wert auf der y-Achse die Krafteinwirkung in Newton (N), welche auf die Kraftmessplatte wirkt. Die x-Achse steht für die Zeit in Sekunden (s). Abweichungen der Geraden nach oben zeigen eine Vergrößerung der Krafteinwirkung (Belastung) auf die Kraftmessplatte und nach unten deren Verkleinerung. Die Messung beginnt bei null Sekunden und einer Gewichtskraft von  $\sim 701$  Newton, weil der Proband ein Gewicht von 71.5 Kilogramm hat und dieses mit der Erdanziehungskraft ( $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ ) multipliziert wird.

Nach zwei Sekunden leitet die Versuchsperson den CMJ ein und geht dabei in die Knie, was mit einer Reduktion der gemessenen Gewichtskraft einhergeht. Demnach fällt mit dem Beginn der Ausholbewegung die Stützkraft ab und die Geschwindigkeit nimmt zu. Die erste Steigung der Kurve beschreibt den Bremsstoss und die kommende Beschleunigungsphase (Kraft > Gewichtskraft) mit der Streckbewegung des Sprung-, Knie- und Hüftgelenks (<http://wiki.ifs-tud.de/biomechanik/projekte/ss2012/springen>). Die rote Gerade zeigt dabei die Krafrate (Force rate (N/s)). Je höher die Krafrate und je steiler die rote Gerade, desto grösser ist die Explosivkraft. Der Kraftzuwachs pro Zeiteinheit steht im Vordergrund (Weineck, 2010). Die Kraftwerte liegen nun deutlich über dem Gewichtskraftniveau. Der Anstieg endet mit dem Abflug von der Kraftmessplatte. Die Gerade zwischen den roten Kreisen markiert die effektive Flugphase des Sprunges (Flying Time). Die Steigung der Geraden nach dem zweiten roten Kreis stellt die Landung des Probanden nach dem Sprung

dar. Anhand der Resultate wurde die höchste Sprunghöhe der drei Versuche jedes Probanden ermittelt. Die Sprunghöhe wurde auf zwei unterschiedliche Arten ausgerechnet:

1. Aus der Flugzeit (Jump (FT) (cm)): Die Flugzeit wurde anhand der Dauer, in welcher keine Kraft auf die Kraftmessplatte wirkt, berechnet. Um nun die Sprunghöhe zu erhalten, wird die Formel  $h = 1/2 g \times t^2$  ( $h$  = Sprunghöhe,  $t$  = Flugzeit) angewendet.
2. Aus dem Impuls/Kraftstoss (Jump (Imp) (cm)): Der Kraftstoss kennzeichnet die zeitliche Wirkung einer Kraft auf einen Körper und ist identisch mit der Fläche unter der Kraft-Zeit-Kurve, d.h. je größer diese Fläche ist, desto höher ist die Abfluggeschwindigkeit und somit auch die Flughöhe. Der Impuls dagegen ist eine Größe, die den Bewegungszustand eines Körpers unter Einbeziehung seiner Masse charakterisiert. Zwischen diesen beiden Größen besteht ein enger Zusammenhang. Jeder Kraftstoß ist mit einer Impulsänderung verbunden. Wirkt ein Kraftstoss auf einen Körper, so ist die Impulsänderung umso größer, je größer die Kraft und je länger die Einwirkung ist (<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physikabitur/artikel/kraftstoss-und-impuls>). Kraftstoss ( $F \times t$ , auf den Körper wirkende Kraft  $\times$  Zeitdauer der Einwirkung) und Impuls ( $m \times v$ , Masse des Körpers  $\times$  Geschwindigkeit) werden in der gleichen Einheit gemessen (Ns). Der Kraftstoß auf einen Körper ist gleich der Änderung seines Impulses (<http://wiki.ifs-tud.de/biomechanik/projekte/ss2012/springen>). Mit der bekannten Masse des Studienteilnehmers kann die Abfluggeschwindigkeit berechnet werden und aus dieser wiederum die Sprunghöhe.

Die Sprunghöhe, berechnet an der Flugzeit (Jump (FT) (cm)), muss mit Skepsis betrachtet werden, da diese sehr anfällig auf nicht korrekt ausgeführte Sprünge ist (z.B. angezogene Beine). Relevant für diese Studie ist daher die Sprunghöhe, berechnet an dem dabei erzeugten Kraftstoss (Jump (Imp) (cm)).

## 2.6 Statistische Analysen

Die Datenanalyse und die statistischen Tests wurden in RStudio (RStudio für PC, Boston, USA) durchgeführt.

Als Erstes wurden die erhaltenen Daten der besten Sprünge in Excel übertragen, gruppiert und der Kollektivmittelwert und die Standardabweichung für jeden Parameter (Tab. 4) berechnet. Jedes Resultat ist in Kilogramm, Sekunden, in Zentimetern, in Newton/Sekunde usw. angegeben. Danach wurden die Daten in RStudio eingelesen und mittels Shapiro-Wilk-Test

auf Normalverteilung überprüft. Der Test überprüft, ob die Grundgesamtheit einer Stichprobe normalverteilt ist. Die Normalverteilung ist für viele weitere Tests Voraussetzung. Ist der erhaltene  $p$ -Wert grösser als das festgelegte Signifikanzniveau, in diesem Fall  $\alpha = 0.05$ , liegt eine Normalverteilung vor. Die Wahl fiel auf den Shapiro-Wilk-Test, da sich dieser durch eine hohe Teststärke, insbesondere bei der Überprüfung von kleineren Stichproben mit  $n < 50$ , auszeichnet.

Für die Daten mit einer Normalverteilung folgte darauf ein gepaarter  $t$ -Test. Der  $t$ -Test überprüft anhand der Mittelwerte zweier Stichproben, ob sich diese gleichen oder ein Unterschied besteht. Ist der berechnete  $p$ -Wert kleiner als das Signifikanzniveau, gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen den zwei Stichproben.

Besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der besten Sprünge beider Gruppen, könnte daraus abgeleitet werden, dass das durchgeführte plyometrische Training einen grossen positiven Einfluss auf die Sprungleistungsfähigkeit der Probanden hat. Ist der  $p$ -Wert hingegen grösser als 0.05, hat sich die Leistung der Interventionsgruppe beim Posttest nicht merklich gegenüber der Leistung beim Pretest verändert.

Sind die Daten der Stichproben nichtparametrisch, wird ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Er überprüft die Gleichheit der zentralen Tendenzen der zugrundeliegenden Grundgesamtheiten. Oft wird dieser Test angewendet, um eine Gruppe, zum Beispiel vor und nach einer Trainingsintervention, auf Unterschiede hinsichtlich einer Testvariablen zu untersuchen. Durch den Vergleich lässt sich so überprüfen, ähnlich wie beim  $t$ -Test, ob die Trainingsintervention einen Einfluss hatte.

Letztlich wurde mit den verschiedenen Daten der Krafrate und der Sprunghöhe ein Pearson-Korrelation-Test durchgeführt, um einen allfälligen Zusammenhang dieser zwei Variablen festzustellen.

### 3 Resultate

Dieses Kapitel präsentiert die erzielten CMJ-Resultate der Interventions- und der Kontrollgruppe. Dabei wird auf die anthropometrischen Daten, die Sprunghöhe und die Krafrate eingegangen.

#### 3.1 Anthropometrische Daten

Die anthropometrischen Messungen haben über die gesamte Probandengruppe die folgenden Resultate gezeigt: Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung: Alter  $20 \pm 3$  Jahre, Grösse  $1.77 \pm 0.05$  m, Gewicht  $73.9 \pm 8.3$  kg.

Mit den anthropometrischen Daten der beiden Gruppen wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt, um allfällige Unterschiede zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe aufzuzeigen. Das Signifikanzniveau wurde dabei auf  $p < 0.05$  festgesetzt. Die folgenden Werte wurden ermittelt: Alter  $p = 0.002$ , Grösse  $p = 0.251$ , Gewicht  $p = 0.285$ .

Die Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung der erhobenen anthropometrischen Parameter.

Tab.3: Anthropometrische Daten beider Gruppen. \*= signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p < 0.05$ )

Gruppe	Anzahl	Alter (Jahre)*	Grösse (m)	Gewicht (kg)
Intervention	13	$18 \pm 1$	$1.76 \pm 0.04$	$72.09 \pm 7.19$
Kontroll	11	$22 \pm 3$	$1.79 \pm 0.06$	$75.96 \pm 8.99$

Abgesehen vom Alter bestehen zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

### 3.2 Sprunghöhe

Die Daten der Sprunghöhe der Kontrollgruppe sind normalverteilt. Der  $p$ -Wert beim Pretest beträgt 0.239, resp. 0.340 beim Posttest. Die Daten der Sprunghöhe der Interventionsgruppe sind normalverteilt. Der  $p$ -Wert beim Pretest beträgt 0.077, resp. 0.165 beim Posttest.

Der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der Kontrollgruppe beim Pretest beträgt  $35.73 \pm 5.06$  cm, resp.  $34.57 \pm 5.24$  cm beim Posttest. Wie der folgende Boxplot (Abb. 4) zeigt, hat sich die Sprunghöhe der Kontrollgruppe im Vergleich des Pre- zum Posttest um 3.26 % verringert. Der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der Interventionsgruppe beim Pretest ist  $34.31 \pm 3.98$  cm, resp.  $36.18 \pm 5.22$  cm beim Posttest. Wie der folgende Boxplot (Abb. 4) zeigt, hat sich die Sprunghöhe der Interventionsgruppe im Vergleich des Pre- zum Posttest um 5.44 % vergrößert.

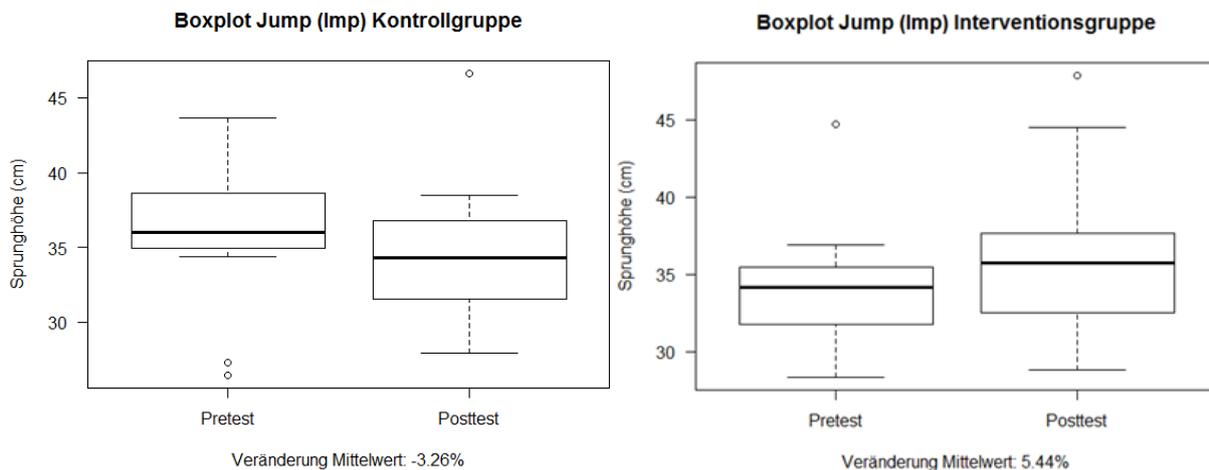


Abb. 4: Vergleich der Sprunghöhe der Kontroll- und der Interventionsgruppe von Pre- zu Posttest.

Der t-Test ergab bei der Kontrollgruppe einen  $p$ -Wert von 0.256. Es besteht daher kein signifikanter Unterschied. Der t-Test ergab bei der Interventionsgruppe einen  $p$ -Wert von 0.383. Es besteht daher kein signifikanter Unterschied.

### 3.3 Krafrate

Die Daten der Krafrate der Kontrollgruppe sind nicht normalverteilt. Der  $p$ -Wert beim Pretest beträgt 0.047, resp. 0.009 beim Posttest. Die Daten der Krafrate der Interventionsgruppe sind normalverteilt. Der  $p$ -Wert beim Pretest beträgt 0.188, resp. 0.492 beim Posttest.

Der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der Kontrollgruppe beim Pretest beträgt  $2435 \pm 2392$  N/s, resp.  $2472 \pm 3715$  N/s beim Posttest. Wie der folgende Boxplot (Abb. 5) zeigt, hat sich die Krafrate der Kontrollgruppe im Vergleich des Pre- zum Posttest um 1.51 % erhöht. Der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der Interventionsgruppe beim Pretest beträgt  $1932 \pm 1538$  N/s, resp.  $2462 \pm 2109$  N/s beim Posttest. Wie der folgende Boxplot (Abb. 5) zeigt, hat sich die Krafrate der Interventionsgruppe im Vergleich des Pre- zum Posttest um 27.39 % erhöht.

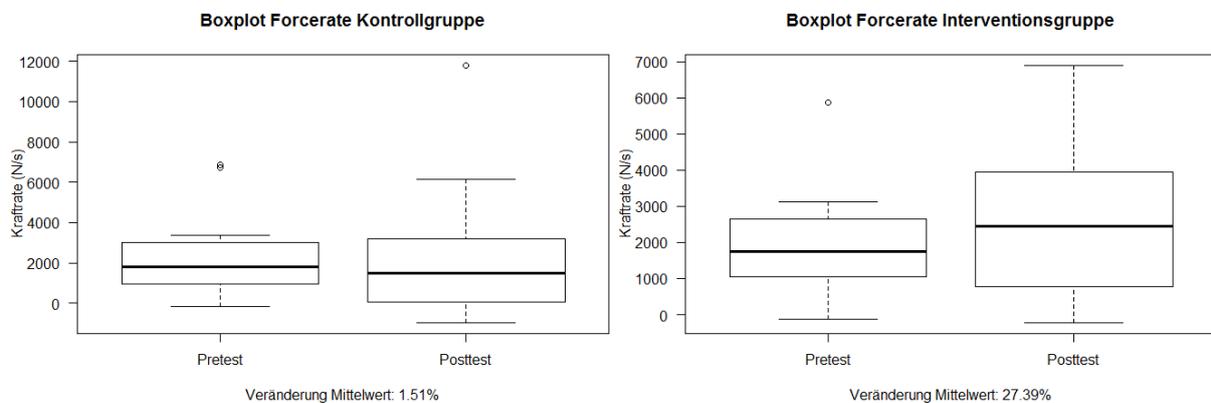


Abb. 5: Vergleich der Krafrate der Kontroll- und der Interventionsgruppe von Pre- zu Posttest.

Der Wilcoxon-Test ergab bei der Kontrollgruppe einen  $p$ -Wert von 0.562. Es besteht daher kein signifikanter Unterschied. Der t-Test ergab bei der Interventionsgruppe einen  $p$ -Wert von 0.423. Es besteht daher kein signifikanter Unterschied.

Tab. 4: Zusammenfassung der Resultate des CMJ

Parameter	Einheit		Kontrollgruppe	Interventionsgruppe	Veränderung Interventionsgruppe
Körpergewicht	kg	Pre	76.0 ± 9.4	72.1 ± 7.5	<b>0.02%</b>
		Post	76.5 ± 11.0	72.1 ± 7.5	
Flugzeit	s	Pre	0.540 ± 0.045	0.538 ± 0.035	<b>0.95%</b>
		Post	0.538 ± 0.047	0.543 ± 0.037	
Sprunghöhe (FT)	cm	Pre	35.97 ± 5.90	35.56 ± 4.78	<b>1.95%</b>
		Post	35.74 ± 6.39	36.25 ± 5.06	
Sprunghöhe (Imp)	cm	Pre	35.73 ± 5.06	34.31 ± 3.98	<b>5.44%</b>
		Post	34.57 ± 5.24	36.18 ± 5.22	
Kraftrate	N/s	Pre	2435 ± 2392	1932 ± 1538	<b>27.39%</b>
		Post	2472 ± 3715	2462 ± 2109	

Die Tabelle 4 fasst alle erhaltenen Daten der Pre- und Posttests zusammen. Beim Abschnitt „Veränderung“ sieht man, dass bei der Interventionsgruppe in allen Bereichen eine positive Veränderung stattgefunden hat, jedoch ohne Signifikanz. Hingegen blieben die Variablen der Kontrollgruppe beim Vergleich der beiden Tests relativ stabil.

### 3.4 Korrelation

Um herauszufinden, ob die Kraftrate mit der Sprunghöhe zusammenhängt, wurde eine Korrelation durchgeführt. Der Korrelationskoeffizient ist dabei ein Mass für den Grad eines linearen Zusammenhanges zwischen zwei Variablen. Bei der Kontrollgruppe ergab diese Korrelationsanalyse beim Pretest  $p = 0.514$ , beim Posttest  $p = 0.370$  und einen Korrelationseffizienten von je  $r = .23$  (Abb. 6 und Abb. 7). Bei der Interventionsgruppe ergab sie beim Pretest  $p = 0.983$  und einen Korrelationseffizienten von  $r = -.007$  (Abb. 6) und beim Posttest  $p = 0.589$  und  $r = .17$  (Abb. 7).

Nach Cohen (1992) hängen die Variablen bei der Interventionsgruppe überhaupt nicht bis wenig linear voneinander ab. Die Variablen der Kontrollgruppe besitzen eine kleine bis mittlere Effektstärke.

Nachfolgend sind die einzelnen Resultate, zur besseren Verständlichkeit, jeweils in einem QQ-Plot dargestellt.

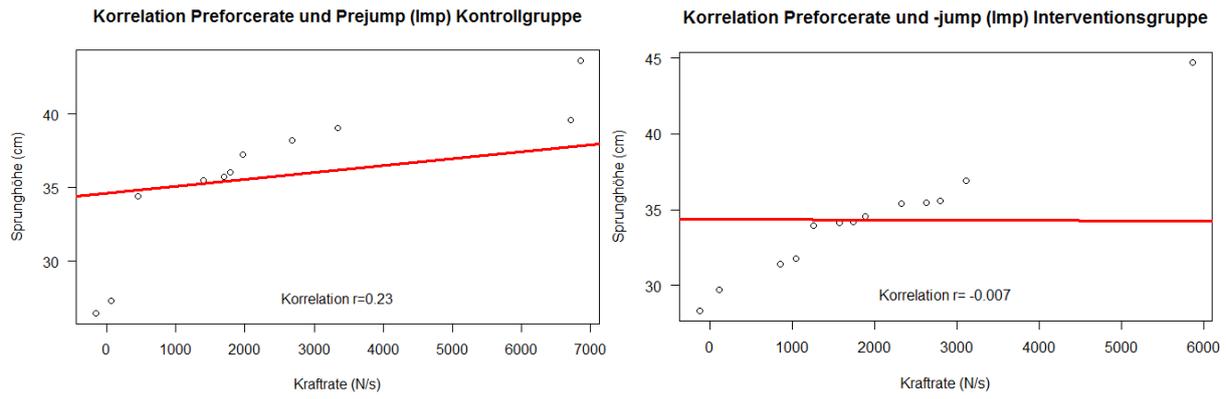


Abb. 6: Zusammenhang von der Kraftrate und der Sprunghöhe beim Pretest der Kontroll- und der Interventionsgruppe.

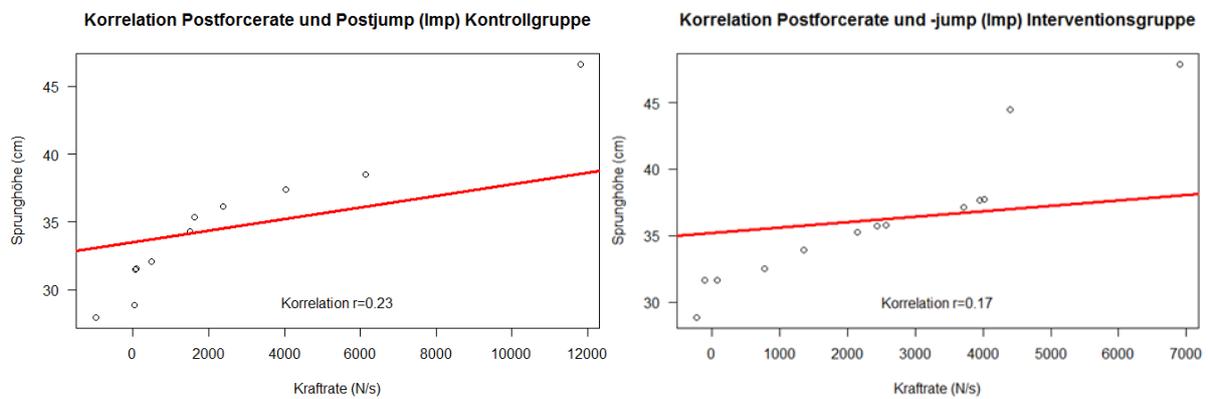


Abb. 7: Zusammenhang von der Kraftrate und der Sprunghöhe beim Posttest der Kontroll- und der Interventionsgruppe.

## 4 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war, herauszufinden, welches die Effekte einer vierwöchigen plyometrischen Trainingsintervention auf die vertikale Sprungkraft beim CMJ von männlichen U-20-Fussballspielern sind. Die folgenden zwei Hypothesen wurden untersucht:

1. Ein 4-wöchiges plyometrisches Training steigert die Krafrate.
2. Ein 4-wöchiges plyometrisches Training steigert die Sprunghöhe.

Die Resultate der Interventionsgruppe haben gezeigt, dass sich die Probanden in allen erhobenen Variablen leicht verbessert haben. Jedoch konnte bei keiner dieser Messungen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Um die Fragestellung dieser Studie zu beantworten, kann man sagen, dass das vierwöchige plyometrische Trainingsprogramm keine signifikanten Effekte auf die Sprungkraft beim CMJ bei männlichen U-20-Fussballspielern gezeigt hat. Aus diesem Grund müssen die beiden Hypothesen abgelehnt werden, obwohl es bei der Krafrate sowie bei der Sprunghöhe eine Steigerung von 27.39%, resp. 5.44% gab, diese jedoch nicht signifikant waren. Die Leistungen der Kontrollgruppe veränderten sich im Vergleich der beiden Messzeitpunkte wie erwartet kaum. Abgesehen vom Alter gab es, wie erwünscht, zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe keine signifikanten Unterschiede. Der signifikante Unterschied beim Alter sollte keinen Einfluss auf die Leistung haben, da sich die Trainierbarkeit der Muskulatur in Abhängigkeit des Alters bei allen Probanden auf einem hohen Level befindet (Weineck, 2010).

Die Veränderungen der Sprunghöhe von vergleichbaren Studien, reichen von -3.5% (Luebbers et al., 2003), über -0.3% (Herrero et al., 2006), 1.9% (Dodd & Alvar, 2007), 3.8% (Vescovi, Canavan & Hasson, 2008), 7.8% (Wilson et al., 1993) bis hin zu 8.1% (Potach et al., 2009). Unsere gemessene Veränderung von 5.44% liegt dabei völlig im Rahmen. Vergleichen wir das erzielte Resultat der Sprunghöhe von 36.18 cm der Interventionsgruppe beim Posttest mit vergleichbaren Werten von U-20-Nachwuchsathleten aus anderen Sportarten (Hübner et al., 2013), Unihockey 34.0 cm und Skisprung 41.6 cm, so stellen wir fest, dass die erlangten Resultate der Sprunghöhe durchaus in einem normalen Bereich liegen. Gemäss Hoff & Helgerud (2004) liegen Vergleichswerte für die Messung der vertikalen Sprunghöhe mit Armeinsatz von professionellen erwachsenen Fussballspielern zwischen 50 cm und 60 cm. Diese sind jedoch aufgrund des Armeinsatzes, des Alters und der

Professionalität der Spieler nur bedingt mit unseren Ergebnissen vergleichbar, resp. geben lediglich einen groben Anhaltspunkt.

Erwähnenswert ist die deutliche Steigerung der Krafrate bei der Interventionsgruppe um 27.39%. Aufgrund einer hohen Standardabweichung wurde der Unterschied jedoch als nicht signifikant eingestuft. Die Probanden der Interventionsgruppe haben wahrscheinlich während den plyometrischen Trainings gelernt, mehr Kraft in kürzerer Zeit zu generieren. Diese Steigerung könnte auch auf den Fokus auf eine maximale Höhe bei einem möglichst kurzen Bodenkontakt zurückzuführen sein. Die Verbesserung der Explosivkraft ist ein Ziel des plyometrischen Trainings und wurde mit der gesteigerten Krafrate einiger Probanden teilweise erreicht.

Ein Korrelationskoeffizient nahe der Zahl Eins spricht für einen starken Zusammenhang. Kein Zusammenhang besteht, wenn der Koeffizient null ist. In unserem Fall bewegten sie sich zwischen -0.007 und 0.23. Die tiefen Korrelationskoeffizienten und die hohen  $p$ -Werte sprechen für einen schwachen Zusammenhang. Entgegen den Erwartungen korrelieren die Resultate der Sprunghöhe schwach mit den Resultaten der Krafrate. Das heisst, dass sich die Krafrate eines Probanden nicht aufgrund dessen Resultats der Sprunghöhe abschätzen lässt.

Die Fachliteratur zeigt eine grosse Vielzahl von Beurteilungen, welches die Effekte von plyometrischem Training auf unterschiedlichste Leistungsparameter sind. Trotzdem ist wenig über die Effektivität verschiedener Trainingsdauern auf diese Parameter bekannt. Wie auch mit anderen Trainingsmethoden ist es wichtig zu wissen, über welchen Zeitraum das Training angewendet werden soll, um einerseits eine möglichst hohe Leistungsoptimierung zu erhalten, andererseits einem Übertraining vorzubeugen. Die Studien von Luebbers et al. (2003) und Herrero et al. (2006) haben den Einfluss einer mehrwöchigen Erholungsphase nach einer intensiven plyometrischen Trainingsintervention auf verschiedene Leistungsparameter untersucht. Aufgrund der Erholungsphase wurde die Sprunghöhe signifikant gesteigert (Herrero et al., 2006; Luebbers et al., 2003). Möglicherweise sind diese Verbesserungen auf eine etwas verzögerte Anpassung der körperlichen Strukturen auf den gegebenen Trainingsreiz zurückzuführen. Nun stellt sich die Frage, ob auch bei unserer Studie nach einer mehrwöchigen Erholungsphase ohne plyometrischen Trainingsreiz, eine signifikante Steigerung der Sprunghöhe messbar gewesen wäre.

Plyometrisches Training wird seit mehreren Jahren als Mittel zur Verbesserung der Leistungen in Sportarten, bei denen die Kraft in den unteren Extremitäten eine wichtige Rolle

für den Erfolg spielt, angewendet. Während einer plyometrischen Übung vollziehen die beteiligten Muskeln einen sehr schnellen Wechsel von der exzentrischen zur konzentrischen Phase. Dieser DVZ verringert die Zeit der Amortisationsphase, die wiederum mehr Kraft als üblich produziert. Die gespeicherte elastische Energie und der Reflex ermöglichen dem Muskel in der konzentrischen Phase eine grössere Arbeit zu leisten. Studien mit plyometrischen Trainingsprogrammen haben gezeigt, dass kraftdominante Bewegungen wie Sprünge oder Sprints positiv beeinflusst werden. Verbessert wurde die vertikale Sprunghöhe sowie die vertikale Sprungkraft (Luebbers et al., 2003). Die vertikale Sprungleistung hängt von unterschiedlichen Faktoren wie Stärke, Kraft und die Fähigkeit zum Gebrauch des DVZ ab (Channell & Barfield, 2008). Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass für die optimale Erbringung einer sportlichen Leistung ein bestimmtes Mass an Explosivkraft notwendig ist. Die Höhe der Explosivkraft leitet sich aus dem jeweiligen Anforderungsprofil der Sportart ab. Sie resultiert aus einem komplexen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Kontaktzeiten auf unterschiedlichen Bodenbelägen, der Wettkampfzeit oder der zweckmässigen Körpermasse (Hübner et al., 2013).

Während beim Antritt eines Sprints der Anteil der Sprintleistung zu mehr als der Hälfte über die Explosivkraft definiert ist, nimmt mit zunehmender Laufgeschwindigkeit die Wichtigkeit der Explosivkraft ab. Der höhere prozentuale Anteil der Explosivkraft beim Antritt könnte durch die ähnliche Geschwindigkeit der Muskelkontraktion sowie vergleichbare Winkelpositionen der Gelenke beim Antritt und beim CMJ gedeutet werden (Lüthy et al., n.d.). Gemäss Lüthy et al. (n.d.) besteht zwischen dem CMJ und der Bodenkontaktzeit kein Zusammenhang und somit kann die vergleichbar lange Kontaktzeit beim Antritt als Erklärung ausgeschlossen werden. Mit zunehmendem Alter nähert sich die Grösse der Explosivkraftwerte im Nachwuchsbereich dem Anforderungsprofil der jeweiligen Sportart an (Hübner et al., 2013). Bei den 12-jährigen ist das Explosivkraftniveau der unteren Extremitäten zwischen Jungen und Mädchen ähnlich. Danach entwickeln sich Jungen immer besser und so entsteht zunehmend eine Differenz von bis zu 17% ab dem 18. Lebensjahr (Hübner et al., 2013).

Der CMJ beinhaltet den DVZ und ist den plyometrischen Übungen, welche in unserer Intervention trainiert wurden, sehr ähnlich (Chelly et al., 2010). Plyometrisches Training kann gebraucht werden, um die Koordination und somit neuromuskuläre Anpassungen, die wiederum eine Steigerung der Kraft hervorrufen, zu verfeinern. Die Steigerung der Maximalkraft aufgrund von plyometrischem Training geht auf neuronale Anpassungen

zurück: selektive Aktivierung von motorischen Einheiten im Muskel, selektive Aktivierung der Muskeln und eine erhöhte Rekrutierung von motorischen Einheiten (Chelly et al., 2010).

Leistungsorientiertes Fussballspielen erfordert ein hohes Mass an Agilität, Schnelligkeit, Ausdauer und Sprungkraft (Markovic & Mikulic, 2010; Stølen, Chamari, Castagna & Wisløff, 2005). Plyometrisches Training wird oft gebraucht, um die Sprungleistung zu steigern (Luebbers et al., 2003). Verschiedene Studien haben gezeigt, dass bereits ein kurzes plyometrisches Trainingsprogramm die vertikale Sprunghöhe bei Kindern und Erwachsenen erhöhen kann, unabhängig deren Geschlechts oder Fitnesslevels. Einige Studien haben jedoch eine Verschlechterung der getesteten Variablen gezeigt, was mit einem nicht ausreichenden Stimulus, einem Muskelschaden, einer ungenügenden Interventionsdauer oder nicht ausreichender Erholung erklärt werden könnte. Diese verschiedenen Gründe könnten auch Erklärungen sein, weshalb es in unserer Studie keine signifikante Leistungssteigerung gab. In mehreren Studien wurde jedoch eine signifikante Steigerung der vertikalen Sprunghöhe nach einer kurzen Erholungsphase beschrieben.

Clutch et al. (1983) hat eine Steigerung der Sprunghöhe nach einer vierwöchigen Drop-Jump-Trainingsintervention um 8.4 Zentimetern festgestellt. Die relativen Effekte von plyometrischem Training sind beim schnellen DVZ grösser als beim langsamen DVZ. Die Resultate über die Effekte bezüglich langsamen DVZ sind widersprüchlich, was wiederum bestätigen könnte, dass die grösste Steigerung der vertikalen Sprunghöhe beim Drop-Jump (schneller DVZ) gemessen wurde. Die Kombination eines plyometrischen Trainingsprogramms mit einem Krafttrainingsprogramm hat ein höheres Potenzial um die vertikale Sprungleistung zu erhöhen als das plyometrische Trainingsprogramm alleine (Markovic & Mikulic, 2010). Diese Sicht wurde von verschiedenen Autoren bestätigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass plyometrisches Training unter Berücksichtigung von individuellen Erholungsphasen, alleine oder in Kombination mit anderen Trainingsmethoden, ein grosses Potenzial bezüglich Verbesserung der sportlichen Leistung von Kindern und Erwachsenen, unabhängig von deren Geschlecht und sportlichen Erfahrung, hat.

## 4.1 Stärken und Schwächen

Geeignete Probanden für diese Studie zu finden, stellte sich zu Beginn als die grösste Herausforderung heraus. Ein Grund war das Fehlen von Kontakten in dieser Region. Die Sprachbarriere könnte ein weiterer Grund gewesen sein. Die Entscheidung zur Teilnahme an einer Studie kommt zuerst vom Trainer. Glücklicherweise konnte, auch dank der Hilfe meiner Betreuer, ein kompetenter Trainer gefunden werden, welcher auch einen sportwissenschaftlichen Hintergrund vorwies und deshalb das nötige Verständnis für unsere Situation aufbrachte.

Stärken dieser Studie waren sicherlich die Entwicklung und die Durchführung der Trainingsintervention und der beiden Messungen. Hinter der Intervention stehe ich auch noch nach der Auswertung der Daten. Die Zusammenarbeit mit dem Trainer des Teams und den Fussballspielern war sehr angenehm. Die Probanden verhielten sich stets respektvoll, anständig und waren pünktlich und sehr motiviert. Der freie Zugang zum Leichtathletikstadion Saint Léonard und die Bereitstellung des Materials durch den Fussballverein erleichterte die Entwicklung und Durchführung der Trainingsintervention erheblich. Speziell hervorzuheben ist der grosse Einsatz der Probanden, obwohl sie für ihre aufgewendete Zeit nicht finanziell oder materiell belohnt wurden. Die Messungen wurden vom Studienleiter extrem seriös, gemäss dem Protokoll, angeleitet und durchgeführt.

Schade war, dass zwei Probanden der Kontrollgruppe aufgrund eines längeren Aufenthaltes im Ausland den Posttest nicht absolvieren konnten. Die Daten dieser zwei Probanden wurden nicht verwendet. Neben dem CMJ- haben alle Probanden auch noch einen Drop-Jump-Test durchgeführt. Dieser wurde in der Arbeit nicht beschrieben, da ein Programm für dessen Auswertung fehlte. Sofern in Zukunft ein solches Auswertungsprogramm vorhanden sein würde, könnten diese Resultate analysiert werden.

Den Grund, dass kein signifikanter Unterschied aufgetreten ist, sehe ich vielmehr in der fehlenden Erholungsphase, als in der Interventionsdauer oder der Intensität. Zwischen dem letzten Training und dem Posttest lag lediglich ein Tag. Von meiner Seite waren im Interventionsdesign mehrere Tage Erholung vor dem Posttest eingeplant. Leider war der Trainer des Nachwuchsteams aufgrund der Winterpause unter Zeitdruck und deshalb mussten wir den Posttest vorverschieben.

Auch wenn die erhaltenen Resultate keine signifikanten Steigerungen aufweisen, bin ich trotzdem mit der gesamten Arbeit zufrieden. Es war eine sehr lehrreiche Erfahrung.

## 5 Konklusion

Die physische Leistungsfähigkeit im professionellen Fussball ist, nebst andern Faktoren wie Taktik und Technik, durchaus wichtig, um einen Rückschluss auf die sportliche Leistung zu erhalten. Logischerweise würde man sagen, dass das Fussballspiel selbst das beste Training ist. Studien haben jedoch gezeigt, dass dem nicht so ist (Hoff & Helgerud, 2004). Wird mit den Nachwuchsfussballspielern ein ergänzendes Krafttraining durchgeführt, entwickeln sich der schnelle und der langsame DVZ und die konzentrische Kraftentfaltung deutlich besser als bei Spielern ohne ergänzendes Krafttraining. Es konnte gezeigt werden, dass Leistungsverbesserungen im schnellen DVZ vor allem auf Verbesserung der Sprunghöhen beruhen. Ab einem Alter von neun Jahren bis ins Seniorenalter macht Krafttraining, auch um eine Leistungssteigerung in Schnellkraftparametern zu erreichen, durchaus Sinn (Keiner et al., 2012). Neben den Anpassungen des tendomuskulären Systems kann auch eine Optimierung des monosynaptischen Dehnungsreflexes zu Leistungsverbesserungen führen. Des Weiteren kommt ebenso eine verstärkte muskuläre Aktivität in der exzentrischen Phase und der Bewegungsgeschwindigkeit in der Umkehrphase der Bewegung als Erklärung in Frage (Keiner et al., 2012). Es ist empfehlenswert, plyometrisches Training auch während der Saison in das übliche technische, sowie taktische Training einzugliedern, um das Leistungspotenzial der Fussballspieler zu steigern (Chelly et al., 2010). Plyometrisches Training, explosives Krafttraining oder eine Kombination aus beiden kann genutzt werden, um die vertikale Sprunghöhe (Zisis, 2013), die Agilität und die Sprintleistung (Markovic & Mikulic, 2010) von Fussballspielern während der Saison zu steigern. Plyometrische Trainingsübungen wie Drop-Jumps oder CMJ sollten mit sportartspezifischen Sprüngen kombiniert werden (Gehri et al., 1998). Gemäss Luebbers et al. (2003) ist ein vierwöchiges und ein siebenwöchiges plyometrisches Trainingsprogramm gleichermassen effektiv um die vertikale Sprunghöhe zu steigern, wenn nach den Trainingsprogrammen eine vierwöchige Trainingspause eingelegt wird. Wird jedoch keine Trainingspause eingelegt, ist die längere Intervention effektiver. Plyometrisches Training ist zudem eine der effektivsten Trainingsmethoden, um Verletzungen im Sport vorzubeugen (Markovic & Mikulic, 2010).

Der Erfolg von jungen Fussballspielern wird oft auch mit einer guten aeroben Ausdauer assoziiert und im Spiel bringen sie damit eine bessere Leistung (Wong et al., 2010).

Zum spielerischen Anteil im Fussballtraining ist es durchaus empfehlenswert auch das Training der anaeroben Ausdauer, Krafttraining und explosive Bewegungen einzubauen.

Dabei darf man eine angemessene Interventionsdauer, einen ausreichenden Trainingsreiz und die dazu passenden Trainingspausen nicht ausser Acht lassen.

In den heutigen professionellen Sport investieren Sponsoren Unmengen von Geld. Deshalb müssen die Coaches und Trainer möglichst effektive Methoden in die Trainings einbinden, um eine optimale Leistungsfähigkeit ihrer Athleten gewährleisten zu können. Die Effekte und die Optimierung von plyometrischem Training werden sicherlich auch in den kommenden Jahren von Wissenschaftlern auf der ganzen Welt untersucht und diskutiert werden.

Die Frage, ob in unserer Studie mit einer mehrwöchigen Trainingspause signifikante Steigerungen der Sprungleistung möglich gewesen wären, beschäftigt mich noch heute. Ich hoffe, dass in Zukunft eine ähnliche Studie mit identischer Intervention durchgeführt wird, jedoch mit einer zusätzlichen Trainingspause vor dem Posttest.

## Literaturverzeichnis

- Alptekin, A., Kılıç, Ö., & Maviş, M. (2013). THE EFFECT OF AN 8-WEEK PLYOMETRIC TRAINING PROGRAM ON SPRINT AND JUMPING PERFORMANCE. *Serbian Journal Of Sports Sciences*, 7(2), 45-50.
- Astrand, P. O. & Rodahl, K. (1986). *Textbook of work physiology*. McGraw-Hill Book Company: New York.
- Baker, D. (1996). Improving Vertical Jump Performance Through General, Special, and Specific Strength Training: A Brief Review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(2), 131-136.
- Bangsbo, J. (1993). The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum*, 619, 1-155.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Medicine and science in sports and exercise*, 28, 1402-1412.
- Bosco, C., Komi, P. V., & Ito, A. (1981). Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, 111(2), 135-140.
- Bundesamt für Sport BASPO (n.d.). Borg-Skala des subjektiven Belastungsempfindens. *Homepage mobilesport.ch*. Zugriff am 17. Mai 2016, unter [http://www.mobilesport.ch/wp-content/uploads/2011/06/Hilfsmittel\\_esa\\_1\\_d.pdf](http://www.mobilesport.ch/wp-content/uploads/2011/06/Hilfsmittel_esa_1_d.pdf)
- Carlock, J. M., Smith, S. L., Hartman, M. J., Morris, R. T., Ciroslan, D. A., Pierce, K. C., et al. (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 534-539.
- Carlson, K., Magnusen, M., & Walters, P. (2009). Effect of Various Training Modalities on Vertical Jump. *Research In Sports Medicine*, 17(2), 84-94.
- Channell, B. T., & Barfield, J. P. (2008). Effect of Olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1522-1527.
- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., & Shephard, R. J. (2010). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump-and sprint performance of soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2670-2676.
- Clutch, D., Wilton, M., McGown, C., & Bryce, G. R. (1983). The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(1), 5-10.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 155-159.

- Delecluse, C., Van Coppenholle, H., Willems E., Van Leemputte, M., Diels, R., & Goris, M. (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Medecine and Science in Sports and Exercise*, 27(8), 1203-1209.
- De Villarreal, E. S. S., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2), 495-506.
- Dodd, D. J., & Alvar, B. A. (2007). Analysis of acute explosive training modalities to improve lower-body power in baseball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1177-1182.
- Ellis, L., Gatin, P., Lawrence, S., Savage, B., Buckeridge, A., Stapff, A., et al. (2000). Protocols for the physiological assessment of team sport players. *Physiological tests for elite athletes*, 128-144.
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., et al. (2000). Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 470-476.
- Gehri, D. J., Ricard, M. D., Kleiner, D. M., & Kirkendall, D. T. (1998). A Comparison of Plyometric Training Techniques for Improving Vertical Jump Ability and Energy Production. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(2), 85-89.
- Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1985). Effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensors muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. *Scand J Sports Sci*, 7(2), 65-76.
- Herrero, J. A., Izquierdo, M., Maffiuletti, N. A., & Garcia-Lopez, J. (2006). Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *Int J Sports Med*, 27(7), 533-539.
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports medicine*, 34(3), 165-180.
- Holcomb, W. R., Lander, J. E., Rutland, R. M., & Wilson, G. D. (1996). The Effectiveness of a Modified Plyometric Program on Power and the Vertical Jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(2), 89-92.
- Hrysomallis, C. (2012). The effectiveness of resisted movement training on sprinting and jumping performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 299-306.
- Hübner, K., Tschopp, M., Buholzer, O., & Clénin, G. E. (2005). Lassen sich Explosivkraftmessungen auf der Kraftmessplatte durch einfache Feldtests ersetzen?. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 53(3), 106-109.
- Hübner, K., Sonderegger, K., Lüthy, F., & Tschopp, M. (2013). Explosivkraftniveau der unteren Extremitäten bei Schweizer Nachwuchsathleten. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 61(4), 15-22.

- Kato, T., Terashima, T., Yamashita, T., Hatanaka, Y., Honda, A., & Umemura, Y. (2006). Effect of low-repetition jump training on bone mineral density in young women. *Journal of Applied Physiology*, *100*(3), 839-843.
- Keiner, M., Sander, A., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2012). Ergänzendes Krafttraining im Nachwuchsleistungssport. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, *60*(1), 8-13.
- Lyttle, A. D., Wilson, G. J., & Ostrowski, K. J. (1996). Enhancing Performance: Maximal Power Versus Combined Weights and Plyometrics Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *10*(3), 173-179.
- Luebbers, P. E., Potteiger, J. A., Hulver, M. W., Thyfault, J. P., Carper, M. J., & Lockwood, R. H. (2003). Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *17*(4), 704-709.
- Lüthy, F., Sonderegger, K., Hübner, K., & Tschopp, M. (n.d.) *Abhängigkeit der Sprintgeschwindigkeit von Sprung-Leistungsparametern. Schnelligkeitsdiagnostik mit Drop und Countermovement Sprüngen bei Elite-Sportlern*. Zugriff am 15. Mai 2016 auf [http://www.baspo.admin.ch/internet/baspo/de/home/dokumentation/publikationen/wissenschaft\\_und\\_forschung/sportwissenschaftliche0.parsys.75885.downloadList.35637.DownloadFile.tmp/matposterflkso.pdf](http://www.baspo.admin.ch/internet/baspo/de/home/dokumentation/publikationen/wissenschaft_und_forschung/sportwissenschaftliche0.parsys.75885.downloadList.35637.DownloadFile.tmp/matposterflkso.pdf).
- Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D., & Metikos, D. (2007). Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *21*(2), 543-549.
- Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports medicine*, *40*(10), 859-895.
- Matavulj, D., Kukulj, M., Ugarkovic, D., Tihanyi, J., & Jaric, S. (2001). Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *Journal of sports medicine and physical fitness*, *41*(2), 159.
- McClenton, L. S., Brown, L. E., Coburn, J. W., & Kersey, R. D. (2008). The effect of short-term VertiMax vs. depth jump training on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *22*(2), 321-325.
- Michailidis, Y., Fatouros, I. G., Primpa, E., Michailidis, C., Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., et al. (2013). Plyometrics' trainability in preadolescent soccer athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(1), 38-49.
- Mirzaei, B., Asghar Norasteh, A., Saez de Villarreal, E., & Asadi, A. (2014). Effects of six weeks of depth jump vs. Countermovement jump training on sand on muscle soreness and performance. *Kinesiology*, *46*(1), 97-108.
- Newton, R. U., Kraemer, W. J., & Haekkinen, K. (1999). Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Medicine and science in sports and exercise*, *31*, 323-330.

- Plisk, S. S. (2000). Speed, agility, and speed-endurance development. In: T.R. Baechle and R.W. Earle (Eds.)/ National Strength and Conditioning Association, *Essentials of strength training and conditioning* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 471-491). Champaign IL: Human Kinetics.
- Potach, D. H., & Chu, D. A. (2000). Plyometric training. In: T.R. Baechle and R.W. Earle (Eds.)/ National Strength and Conditioning Association, *Essentials of strength training and conditioning* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 427-471). Champaign IL: Human Kinetics.
- Potach, D. H., Katsavelis, D., Karst, G. M., Latin, R. W., & Stergiou, N. (2009). The effects of a plyometric training program on the latency time of the quadriceps femoris and gastrocnemius short-latency responses. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 49(1), 35.
- Potteiger, J. A., Lockwood, R. H., Haub, M. D., Dolezal, B. A., Almuzaini, K. S., Schroeder, J. M., et al. (1999). Muscle Power and Fiber Characteristics Following 8 Weeks of Plyometric Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(3), 275-279.
- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International journal of sports medicine*, 28(12), 1018-1024.
- Reilly, T., & Thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of human movement studies*, 2(2), 87-97.
- Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of sports sciences*, 18(9), 695-702.
- Sale, D., & MacDougall, D. (1981). Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. *Canadian journal of applied sport sciences*, 6(2), 87-92.
- Schmidtbleicher, D. (2003). Motorische Eigenschaft Kraft: Struktur, Komponenten, Anpassungserscheinungen, Trainingsmethoden und Periodisierung. In Fritsch W. (Hrsg.), *Rudern – erfahren, erkennen, erforschen* (S. 15-40). Giessen: Wirth-Verlag.
- Semenick, D., & Adams, K. (1987). SPORTS PERFORMANCE SERIES: The vertical jump: a kinesiological analysis with recommendations for strength and conditioning programming. *Strength & Conditioning Journal*, 9(3), 5-11.
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of sports sciences*, 24(9), 919-932.
- Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European journal of applied physiology*, 89(1), 1-7.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports medicine*, 35(6), 501-536.
- Thomas, G. A., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Anderson, J. M., & Maresch, C. M. (2007). Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2), 336-342.

- Tricoli, V., Lamas, L., Carnevale, R., & Ugrinowitsch, C. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: weightlifting vs. vertical jump training programs. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *19*(2), 433-437.
- Turner, A. M., Owings, M., & Schwane, J. A. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *17*(1), 60-67.
- Vescovi, J. D., Canavan, P. K., & Hasson, S. (2008). Effects of a plyometric program on vertical landing force and jumping performance in college women. *Physical Therapy in Sport*, *9*(4), 185-192.
- Wagner, D. R., & Kocak, M. S. (1997). A Multivariate Approach to Assessing Anaerobic Power Following a Plyometric Training Program. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *11*(4), 251-255.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder-und Jugendtrainings*. Spitta Verlag GmbH & Co. KG: Balingen.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and science in sports and exercise*, *25*(11), 1279-1286.
- Wilson, G. J., Murphy, A. J., & Giorgi, A. (1996). Weight and plyometric training: effects on eccentric and concentric force production. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *21*(4), 301-315.
- Wong, P. L., Chamari, K., & Wisløff, U. (2010). Effects of 12-week on-field combined strength and power training on physical performance among U-14 young soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *24*(3), 644-652.
- Zisis, P. (2013). The effects of an 8 weeks plyometric training program or an explosive strength training program on the Jump-and-Reach Height of male amateur soccer players. *Journal of Physical Education and Sport*, *13*(4), 594.

## **Danksagung**

Ich möchte mich hiermit bei allen bedanken, die mich beim Erstellen meiner Arbeit unterstützt haben.

Meinem Referenten Dr. Didier Staudenmann und meinem Betreuer Alain Rouvenaz für die Begleitung meiner Arbeit und die wertvollen Ratschläge.

Ein grosses Dankeschön geht ebenso an Ranjith Steve Sivagnanaselvam, der mich sehr geduldig an die selbständige Bedienung des Messgerätes herangeführt hat.

Insbesondere danke ich Jean-Daniel Ottet, Trainer des U-20-Teams des Freiburger Fussballverbandes, für die Möglichkeit die Studie mit seinen Trainierenden durchzuführen.

Und zuletzt natürlich noch allen Probanden für den grossen Einsatz bei den Trainings und den Tests und für ihre aufgewendete Zeit.

Danke!

## **Persönliche Erklärung**

*„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die ich wörtlich oder sinngemäss aus Veröffentlichungen oder aus anderweitig fremden Quellen entnommen habe, sind als solche kenntlich gemacht.“*

Ort, Datum

Unterschrift

## **Urheberrechtserklärung**

*„Der Unterzeichnende anerkennt, dass die vorliegende Arbeit ein Bestandteil der Ausbildung, Einheit Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Freiburg ist. Er überträgt deshalb sämtliche Urhebernutzungsrechte (dies beinhaltet insbesondere das Recht zur Veröffentlichung oder zu anderer kommerzieller oder unentgeltlicher Nutzung) an die Universität Freiburg.“*

*Die Universität darf dieses Recht nur im Einverständnis des Unterzeichnenden auf Dritte übertragen.*

*Finanzielle Ansprüche des Unterzeichnenden entstehen aus dieser Regelung keine.*

Ort, Datum

Unterschrift

## Anhang

# Einverständniserklärung

---

28.10.2015

Sehr geehrte Eltern oder Erziehungsberechtigte

Im Rahmen unserer Masterarbeit an der Universität Freiburg machen wir eine Studie zum Thema Plyometrie.

Die Studie beinhaltet zwei Leistungstests und plyometrische Trainingübungen, welche in das übliche Training im Sportverein integriert werden.

Die beiden Leistungstests bezwecken die Erhebung wissenschaftlicher Daten für unsere Masterarbeit. Die beiden Tests dauern je ca. eine halbe Stunde.

Alle erhobenen Daten werden anonym behandelt und werden ausschliesslich für unsere Arbeit verwendet.

Ich bitte Sie, den Abschnitt weiter unten auszufüllen und dieses Blatt Ihrem Kind ins Training mitzugeben.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

Christian Mauch und Samuel Barman

E-Mail: christian.mauch@unifr.ch samuel.barman@unifr.ch

Telefon: 076 529 33 17                      079 690 66 83

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

---

Hiermit erkläre ich mich einverstanden, dass mein(e) Sohn/Tochter,

\_\_\_\_\_

die oben beschriebenen Tests ausführt.

Name des Erziehungsberechtigten:

\_\_\_\_\_

Unterschrift des Erziehungsberechtigten:

\_\_\_\_\_

---

## Formulaire de consentement

---

28.10.2015

Chers parents ou représentants légaux

Dans le cadre de notre travail de master à l'Université de Fribourg, nous effectuons une étude sur le thème de la Pliométrie.

L'étude comprend deux tests de performance ainsi qu'un entraînement pliométrique spécifique, qui sera intégré dans l'entraînement standard d'un club de sport.

Les deux tests de performance ont pour but de recueillir des données scientifiques pour notre thèse. Leur durée est d'environ une demi-heure chacun.

Toutes les données sont anonymes et seront utilisées uniquement dans le cadre de notre recherche.

Je vous prie de remplir la section ci-dessous afin que votre enfant puisse nous la remettre lors du prochain entraînement.

En vous remerciant pour votre collaboration, recevez nos meilleures salutations!

Christian Mauch und Samuel Barman

E-Mail: christian.mauch@unifr.ch samuel.barman@unifr.ch

Telefon: 076 529 33 17                      079 690 66 83

Nous restons à votre disposition si vous désirez de plus amples informations.

---

Je déclare avoir pris connaissance et donner mon accord pour que mon/ma fils/fille,

\_\_\_\_\_

participe au test décrit ci-dessus.

Nom du représentant légal:

\_\_\_\_\_

Signature du représentant légal:

## Einverständniserklärung Probanden

---

Kontaktdaten:

Samuel Barman

Christian Mauch

Oberseenerstrasse 110b

8405 Winterthur

079 690 66 83

076 529 33 17

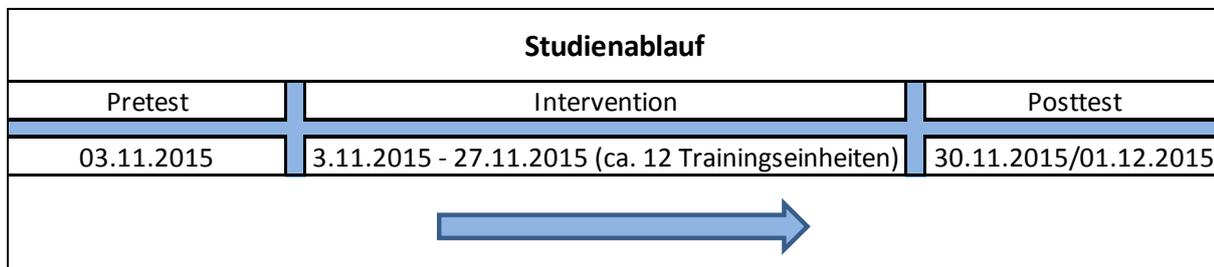
samuel.barman@unifr.ch

christian.mauch@unifr.ch

---

Einverständniserklärung zur Mitwirkung an der sportwissenschaftlichen Studie

**„Effekte von plyometrischem Training auf die Dynamik der Kniemuskulatur und auf die Bodenreaktionskraft“**



Ich wurde von den verantwortlichen Personen für die oben genannte Studie bezüglich Studienablaufs und meinen Aufgaben informiert. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen.

Ich habe mich zur Teilnahme entschieden und weiss, dass die Teilnahme freiwillig ist.

Mir ist bekannt, dass meine Daten vertraulich behandelt und ausschliesslich für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden.

Ich erkläre hiermit meine freiwillige Teilnahme an dieser Studie.

Ort, Datum

Vorname, Nachname

Unterschrift

---

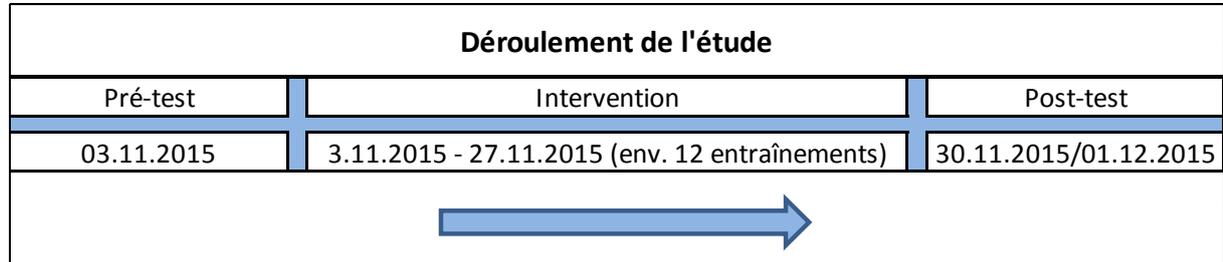
## Formulaire de consentement

Contact:

Samuel Barman	Christian Mauch
Chemin de Chavanne 17	Oberseenerstrasse 110b
1891 Vérossaz	8405 Winterthur
079 690 66 83	076 529 33 17
samuel.barman@unifr.ch	christian.mauch@unifr.ch

Consentement à participer à l'étude en Sciences du Sport sur

*« L'impact d'un entraînement pliométrique sur les extenseurs du genou de footballeurs amateurs »*



Les personnes responsables de l'étude mentionnée ci-dessus m'ont donné des informations sur le déroulement de l'étude ainsi que sur mes tâches. De plus, j'ai eu l'occasion de poser des questions auxquelles on a répondu, à ma satisfaction.

J'ai décidé de participer à cette étude et je sais que la participation est volontaire.

Je suis conscient que mes données sont confidentielles et seront utilisées exclusivement à des fins scientifiques.

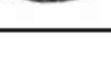
Par la présente, j'accepte librement de participer au projet.

Lieu et date

Nom et prénom

Signature

## Borg-Skala des subjektiven Belastungsempfindens

Skalenwert nach Borg	Anstrengungsgrad	% der max. Beanspruchung/Leistung	Trainingsbereich	Emoticon
6	Überhaupt keine Anstrengung	20 %	Aufwärmen/ Regeneration	
7	Extrem leicht	30 %		
8		40 %		
9	Sehr leicht	50 %		
10		55 %		
11	Leicht	60 %	Grundlagen-/ Zielzone	
12	Optimaler Trainingsbereich	65 %		
13	Etwas schwer	70 %		
14		75 %		
15	Schwer	80 %		
16		85 %	Intensives Training/ Stehvermögen	
17	Sehr schwer	90 %		
18		95 %		
19	Extrem schwer	100 %		
20	Grösstmögliche Anstrengung	Übersäuerung		

## Internetlinks verwendeter Bilder



<http://cdn.running.competitor.com/files/2014/06/Box-Jumps.jpg>



<http://www.manocchio.com.br/site/wp-content/uploads/2013/03/dropjump.jpg>



<http://wise-coach.com/images/pictures/measurements/pic-counter-movement-jump.jpg>