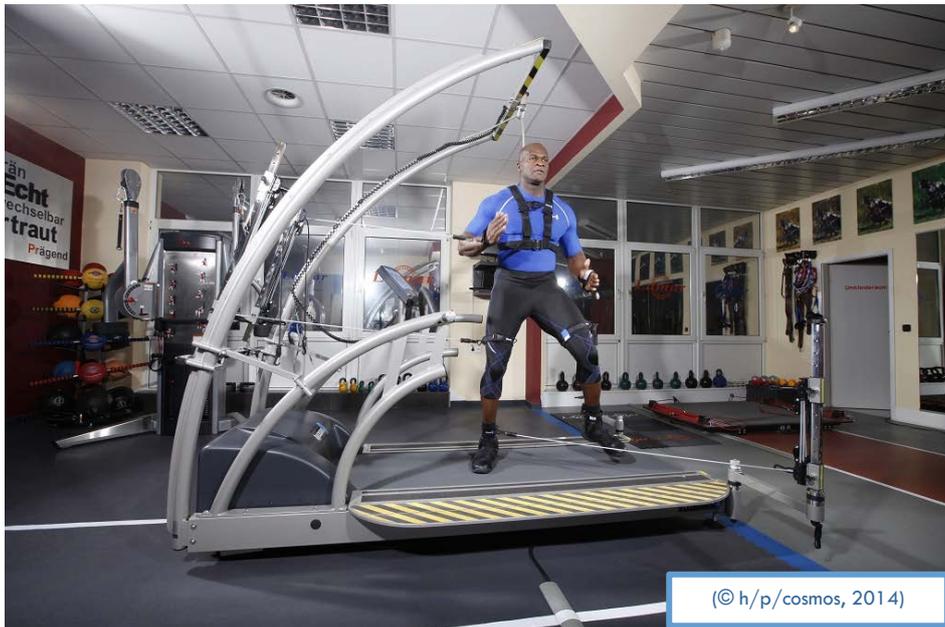




Wirkungen von maschinenbasiertem Schnellkrafttraining im Vergleich zum spezifischen Widerstandstraining (RoboWalk®-System) auf sportmotorische Leistungen Sportstudierender

Transferleistungen von maschinenbasiertem und spezifischem Schnellkrafttraining



UNIVERSITÄT POTSDAM
HUMANWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT
FORSCHUNGSSCHWERPUNKT KOGNITIONSWISSENSCHAFTEN
ABTEILUNG FÜR TRAININGS- & BEWEGUNGSWISSENSCHAFT
AB THEORIE & PRAXIS DER SPORTARTEN
LEICHTATHLETIK
LEITUNG: PROF. DR. URS GRANACHER

2 Oktober 2015

Erarbeitung: Dr. Tom Krüger & Dr. Olaf Prieske



Wirkungen von maschinenbasiertem Schnellkrafttraining im Vergleich zum spezifischen Widerstandstraining (Robo-Walk®-System) auf sportmotorische Leistungen Sportstudierender

Transferleistungen von maschinenbasiertem und spezifischem Schnellkrafttraining

Inhalt

1.	EINLEITUNG UND PROBLEMORIENTIERUNG.....	2
2.	HINTERGRUND.....	2
3.	ZIELSTELLUNG.....	4
4.	METHODISCHES VORGEHEN	4
4.1	TEST- UND MESSBEDINGUNGEN	4
4.2	PROBANDEN.....	5
4.3	MESSABLAUF UND STATISTISCHE AUSWERTUNG	6
4.4	TRAININGSPHASE.....	10
4.5	STATISTIK.....	15
5.	ERGEBNISSE	16
5.1	ERGEBNISSE ZU DEN SPRINTLEISTUNGEN (LINEARSPRINT 20 M).....	17
5.2	ERGEBNISSE ZU DEN SPRUNGLEISTUNGEN (DROPJUMP, COUNTERMOVEMENT JUMP).....	19
5.3	ERGEBNISSE ZU DEN AGILITÄTSLEISTUNGEN (T-AGILITÄTSTEST)	19
5.4	ERGEBNISSE ZUM Y-BALANCE-TEST	19
6.	DISKUSSION	20
7.	LITERATUR	25

1. Einleitung und Problemorientierung

Die Leistungsdichte im Spitzensport erfordert eine Optimierung von Trainingsprozessen und –maßnahmen (Hohmann, 2005; Schumacher, 2007). Spitzensportler bewegen sich bereits an der maximalen Schwelle ihrer Funktionskapazität, d. h. die noch vorhandene adaptive Reserve ist gering und es bedarf spezifischer Trainingsreize, um diese auszuschöpfen (Martin, Carl, & Lehnertz, 1991). Ein adaptives und sportartspezifisches Widerstandstraining, welches die Firma h/p/cosmos mit dem RoboWalk®-System entwickelt hat, könnte ein geeignetes Trainingsmittel darstellen, um auch bei Spitzensportlern (z. B. Fußball, Handball, leichtathletischer Sprint) Anpassungsprozesse auszulösen. Auch im Breiten- und Fitnesssport werden Trainingsgeräte (wie Laufbänder, Stepper, etc.) vielfach für die körperliche Leistungssteigerung eingesetzt. Das RoboWalk®-System wäre in diesem sportlichen Bereich ein sinnvolles und das tradierte Training ergänzende Trainingsmittel. Neben dem Spitzen- und Breitensport stellt ein weiteres Anwendungsfeld eines solchen Trainingssystems der Einsatz in der Rehabilitation von Verletzungen der unteren Extremitäten (z. B. Kreuzbandverletzungen, Hüft-/Knieendoprothetik) oder neurologischer Erkrankungen (z. B. M. Parkinson) dar. Mit Hilfe dieses Systems können Patienten optimal an ihren körperlichen Defiziten arbeiten und gezielt auf alltagsmotorische Anforderungen vorbereitet werden (Herman, Giladi, & Hausdorff, 2009; Kamandulis et al., 2012; Lau & Mak, 2011). Das RoboWalk®-System (Expander) verfügt somit über einen breiten Einsatzbereich vom Rehabilitationssport, Lokomotions-Therapie, kardiologische Rehabilitation, Fitnesssport, Biathlon- und Skisport über das Functional Training, leistungsorientierten Breiten- bis zum Spitzensport.

Die vorliegende Studie fokussiert auf den Einsatz des RoboWalk®-Systems zur Entwicklung sportlicher Leistungsparameter (z. B. Sprint, Sprung, Agilität). Das RoboWalk®-System von h/p/cosmos® ermöglicht dabei ein Laufbandtraining ähnlich auf herkömmlichen Laufbändern mit der Erweiterung von Widerstandswirkungen auf die Extremitäten. Anhand der Expanderaufbauten können Zugunterstützungen oder Widerstandswirkungen auf die Extremitäten aus verschiedenen Richtungen ausgeübt werden. Bisher ist eine fundierte Studienlage zur Wirksamkeit dieses Systems jedoch noch nicht gegeben. Daraus ableitend wird mit der Studie »WIRKUNGEN VON MASCHINENBASIERTEM SCHNELLKRAFTTRAINING IM VERGLEICH ZUM SPEZIFISCHEN WIDERSTANDSTRaining (ROBOWALK®-SYSTEM) AUF SPORTMOTORISCHE LEISTUNGEN SPORTSTUDIERENDER« ein erster Versuch unternommen, um das Laufband mit Zugwiderständen als Trainingsgerät zur Leistungssteigerung und die Effektivität im Vergleich zu einem maschinenbasierten Schnellkrafttraining zu evaluieren.

2. Hintergrund

In Studien wurde das Training mit einem Laufband zur Verbesserung der Sprintleistung bereits untersucht (Ross et al., 2009). Es wurde festgestellt, dass sowohl Sprinttraining auf dem Laufband, als auch Zugwiderstandstraining mit Geräten (z. B. Zugschlitten, Sprint-Fallschirm) die Sprintleistung positiv beeinflussen (Bachero-Mena & González-Badillo, 2014; Cantrell, Schilling, Paquette, & Murlasits, 2014, Dick, 1998, 1998; Labruyère & van Hedel, 2014; Ross et al., 2009). Vor allem in der Beschleunigungsphase des Sprintverlaufs ist ein Schnelligkeits-

training mit Zugwiderständen wirkungsvoller als ein Training ohne Widerstände (Bosco, Rusko, & Hirvonen, 1984, Martinopoulou, Argeitaki, Paradisis, Katsikas, & Smirniotou, 2011). Die Verbesserung in der Geschwindigkeit kommt vor allem dadurch zustande, dass in der Beschleunigungsphase die Schrittlänge zunimmt und sich in der Phase der höchsten Geschwindigkeit die Schrittfrequenz erhöht. In diesem Zusammenhang zeigten Bachero-Mena & González-Badillo (2014), dass abhängig von der Höhe des Widerstandes verschiedene Phasen des Sprints beeinflusst werden. Eine Last von ~20 % der Körpermasse verbessert die Anfangsphase der Beschleunigung bis 30 m, wohingegen Widerstände von 5 % und 12,5 % der Körpermasse einen positiven Einfluss auf die Flugphase im Sprintverlauf bis 40 m haben. Des Weiteren wirken sich Widerstände im Sprinttraining auch positiv auf die vertikale Sprungkraft aus (vgl. Bachero-Mena & González-Badillo, 2014).

Neben einem spezifischen Schnelligkeitstraining stellt auch das unspezifische Schnellkrafttraining ein anerkanntes und etabliertes Verfahren zur Steigerung der Schnelligkeit dar (Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Komi, 2000; Ross et al., 2009). Die mit dem Schnellkrafttraining einhergehende Verbesserung der Kontraktionsfähigkeit bedingt auch einen Anstieg der Kraftbildungsgeschwindigkeit, die vor allem für Schnelligkeits- und Schnellkraftdisziplinen von großer Bedeutung ist (Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Hohmann, Lames, & Letzelter, 2010). Werden Muskelaktionen mit exzentrischen (nachgebenden) und unmittelbar anschließend überwindenden (konzentrischen) Kontraktionen ausgeführt, spricht man vom Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ). Die Schnellkraft innerhalb des DVZ wird als Reaktivkraft bezeichnet (Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Komi, 2000). Damit sind sportliche Lauf- und Sprungformen vom DVZ beeinflusst und können durch ein Schnellkrafttraining (Reaktivkraft) positiv beeinflusst werden (Büsch, Pabst, Mühlbauer, Ehrhardt, & Granacher, 2015). Bezogen auf das Zugwiderstandstraining mit dem RoboWalk[®]-System zu sprint- und sprungspezifischen Bewegungen scheint es vor dem Hintergrund des Prinzips der Trainingsspezifität (Behm & Sale, 1993; Behm, Drinkwater, Willardson, & Cowley, 2010) gerechtfertigt zu sein, größere Leistungssteigerungen durch das sportartspezifische Training mit dem RoboWalk[®]-System gegenüber einem (maschinenbasierten) Schnellkrafttraining zu erwarten. Denn je größer die Transferfähigkeit des Trainings ist, desto größer wird auch der Nutzen des Trainings bzw. des Trainingsgerätes deklariert (Issurin, 2013).

Studien zeigen, dass eine signifikante Korrelation zwischen der Maximalkraft der unteren Extremitäten (insbesondere in Form der Kniebeuge oder eines Power-Clean) und der Sprintleistung vorliegt (Davis, Barnette, Kiger, Mirasola, & Young, 2004; Wisloff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004). Zudem sind laut Ahtiainen und Häkkinen (2009) Kraftsportler im Vergleich zu Nicht-Kraftsportlern in der Lage, eine höhere neuronale Aktivität mit gleichzeitig schneller einsetzender neuronaler Ermüdung zu erreichen. In diesem Zusammenhang haben sowohl ein sprintspezifisches Laufband- als auch ein unspezifisches Krafttraining einen positiven Einfluss auf die Sprintgeschwindigkeit (Ross, et al., 2009). Jedoch ist die Kombination im Training aus Laufband- und Krafttraining wirkungsvoller als ein reines Krafttraining zur Verbesserung der Sprintleistung (Ross, et al., 2009).

Im Bereich des Trainingstransfers gilt es zu überprüfen, ob das spezifische Schnelligkeitstraining (Widerstandstraining) mit dem RoboWalk[®]-System ein geeignetes Trainingsmittel zur Steigerung sportlicher Leistungen darstellt und ob es ein effektiveres Trainingsmittel gegenüber einem maschinenbasierten Schnellkrafttraining ist.

3. Zielstellung

Das ausgewiesene Ziel des Projektes ist es, in einer vergleichenden Analyse die Effekte eines sportartspezifischen Widerstandstrainings mit denen eines maschinenbasierten Schnellkrafttrainings auf Variablen der sportlichen Leistung (z. B. Laufzeit 20-m-Sprint, Sprintgeschwindigkeiten 20-m-Sprint, Sprunghöhen bei Counter Movement Jump und DropJump, Laufzeiten beim T-Agilitätstest) bei Sportstudierenden zu überprüfen.

Es wird erwartet, dass aus dem sportartspezifischen Widerstandstraining auf dem RoboWalk[®]-System eine größere Leistungssteigerung resultiert, da das Training in schnellen Laufbewegungen kombiniert mit Widerständen eine höhere Bewegungskomplexität aufweist, als ein maschinenbasiertes Schnellkrafttraining. Weiterhin wird eine Steigerung der zyklischen Beschleunigungs- und Schnelligkeitsleistung sowie der reaktiven, azyklischen Bewegungsschnelligkeit in beiden Versuchsgruppen angenommen, mit einem Vorteil der RoboWalk-Gruppe.

Folgende Hypothesen werden für die Studie formuliert:

- (1) Das spezifische Zugwiderstandstraining (RoboWalk-Gruppe) auf dem Laufband und das maschinenbasierte Schnellkrafttraining führen zu verbesserten Schnelligkeits- und Schnellkraftwerten gegenüber einer Kontrollgruppe ohne Trainingsmaßnahme (passive Kontrolle).
- (2) Das spezifische Zugwiderstandstraining (RoboWalk-Gruppe) auf dem Laufband bewirkt eine höhere Zunahme von Schnelligkeits- und Schnellkraftwerten der abhängigen Variablen (Trainingseffekt) gegenüber der Schnellkrafttrainingsgruppe.

4. Methodisches Vorgehen

4.1 Test- und Messbedingungen

Die randomisierte, kontrollierte Studie wurde in einem 3 (Gruppen: Robowalk [RW-Gruppe], Krafttraining [KT-Gruppe], Kontrolle [KonG]) x 2 (Messzeitpunkte: Prä, Post) Messwiederholungsdesign angelegt. In der Eingangs- und Ausgangsmessung erfolgte die Datenerhebung in folgenden Testbedingungen:

- (1) Primäre Endpunkte:
 - a) Linearer 20-m-Sprint: Messung der zyklischen Beschleunigungs- und Schnelligkeitsleistung; OptoJump 30 next [Microgate, Bozen, Italy]

- b) Sprungdiagnostik (Counter Movement Jump, Drop Jump): Messung der reaktiven azyklischen Bewegungsschnelligkeit; Kistler Mehrkomponenten-Messplattform (mobil) Typ 9286AA [Kistler Gruppe, Winterthur, Schweiz]
- (2) Sekundäre Endpunkte:
 - a) T-Test (T-Agilitätstest/Gewandtheitstest): Messung der Gewandtheit beim Lauf durch einen T Parcours (Pauole, Madole, Garhammer, Lacourse, & Rozenek, 2000)
 - b) Y-Balance-Test: Messung der dynamischen Stabilität der unteren Extremitäten (Plisky et al., 2009); WITTY[®] [Microgate, Bozen, Italy]
- (3) Anthropometrie:
 - a) Bioimpedanzanalyse (InBody 720): Bestimmung der Körperzusammensetzung (Mineral-, Muskel-, Fett- und Wasseranteil) und der Körpermasse; (zum Prä & Post-Test) [Biospace Co., Ltd., Seoul, Korea]
 - b) Körperhöhe
 - c) Körpermasse
 - d) Body-Mass-Index
 - e) Beinlänge
- (4) Aktivitätserfassung
 - a) Fragebogen zur Erfassung aller gesundheitswirksamen Aktivitäten (alltagsmotorisch und sportlich) anhand von Selbsteinschätzung zu Aktivitäten der letzten Woche/des letzten Monats (Freiburger Aktivitätsfragebogen für Erwachsene [Alter von 18 – 78 Jahre]) (Frey & Berg, 2002; Frey, Berg, Grathwohl, & Keul, 1999)

4.2 Probanden

Für die Durchführung der Studie konnten 45 gesunde Sportstudierende (17 Frauen und 28 Männer) der Universität Potsdam gewonnen werden. Alle Teilnehmer wurden zu Beginn über den Inhalt der Studie, die Messungen, das entsprechende Training sowie mögliche Risiken und den Datenschutz nach Richtlinien der Universität Potsdam informiert. Alle Probanden erteilten der Studienleitung die schriftliche Zustimmung in Anlehnung an die Deklaration von Helsinki. Die Zuordnung der Probanden in die Gruppe RoboWalk (Training auf dem Laufband mit Zugwiderständen) [RW], in die Gruppe Krafttraining (ballistisches Schnellkrafttraining) [KT] und die Kontrollgruppe [KonG] erfolgte randomisiert (Research Randomizer). Vier Teilnehmer in den beiden Interventionsgruppen (RoboWalk und Krafttraining) konnten das Training verletzungsbedingt nicht beenden. 41 Probanden (16 Frauen und 25 Männer) konnten für die finale Datenanalyse einbezogen werden. Nach der ersten Analyse zur Trainingshäufigkeit (Adhärenz) und der sportlichen Aktivität, erfolgte der Ausschluss von sechs Teilnehmern (3 aus RoboWalk-Gruppe und 3 aus der Krafttrainingsgruppe). Sie erfüllten nicht die Vorgaben der sportlichen Aktivitätsdauer (> 60 Minuten pro Woche) und der Adhärenz (> 70 %). Die Charakterisierung der Gruppen findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Probanden und Gruppenbeschreibung (Messungen zum Pre-Test)

	n	Alter in Jahren (± SD) [Altersspanne]	Körperhöhe in cm (± SD)	Körpermasse in kg (± SD)	BMI (± SD)	Sportliche Aktivi- tät in min./Wo. (± SD) [min. – max.]
Gesamt (12w / 23m)	35	22,9 (± 2,6) [19 – 31 Jahre]	176,3 (± 8,3)	71,4 (± 10, 2)	22,9 (± 1,94)	434,9 (± 249,3) [60–1.080 min.]
Gruppe RW (4w / 6m)	10	22,6 (± 2,6) [19 – 28 Jahre]	176,6 (± 8,7)	73,5 (± 10,7)	23,4 (± 1,9)	363,0 (± 222,9) [60–840 min.]
Gruppe KT (2w / 7m)	9	23,4 (± 3,2) [20 – 31 Jahre]	178,2 (± 9,0)	72,2 (± 9,6)	22,6 (± 1,5)	457,8 (± 278,8) [180–1.080 min.]
Gruppe KonG (6w / 10m)	16	22,9 (± 2,4) [19 – 27 Jahre]	174,9 (± 8,0)	69,7 (± 10,1)	22,6 (± 2,1)	466,9 (± 254,6) [120 – 900 min.]

4.3 Messablauf und statistische Auswertung

Das Messprotokoll sah vor, dass die anthropometrischen Messungen (InBody, Körperhöhe, Beinlänge) und der Y-Balance-Test zu beiden Messzeitpunkten vor den sportmotorischen Sprung- und Sprinttests absolviert wurden.

Die Abfolge der verschiedenen Messstationen zu den Sprung- und Sprinttests wurde für jeden Probanden zufällig ermittelt, um Ermüdungs- und Testwiederholungseffekte auszuschließen. Dabei wurde unterschieden, ob zuerst mit den Sprintmessungen oder den Sprüngen begonnen wurde. An der Station `Sprint` startete die erste Messreihe mit dem Linear-sprint oder dem T-Test. An der Station `Sprung` ergab die Zuordnung den Drop jump [DJ] oder den Counter Movement Jump [CMJ] als erste Sprungaufgabe (vgl. Abbildung 1). Dieses Prozedere wurde mit beiden Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe durchgeführt.

Vor den Messungen wurde ein standardisiertes Erwärmungsprogramm mit den folgenden Inhalten absolviert.

Das Warm up bestand aus (Anstrengungsgrad auf der 10-stufigen PESE-Skala¹ ca. 4 bis 5 (Robertson et al., 2003)) aus:

- 4x 20 m Laufen (locker Trab),
- 2x 20 m Kniehebelauf,
- 2x 20 m Anfersen,

¹ PESE (Perceived Exertion Scale for Resistance Exercise) Wahrgenommene Anstrengungsskala für Widerstandsübung, in diesem Zusammenhang Krafttrainingsübungen; der Anstrengungsgrad wird auf einer 10stufigen Skala abgetragen (sehr leicht bis extrem anstrengend)

- 2x 20 m Sprunglauf,
- 2x 20 m Skippings und
- 2x 30“ Seilspringen mit 30“ Pause

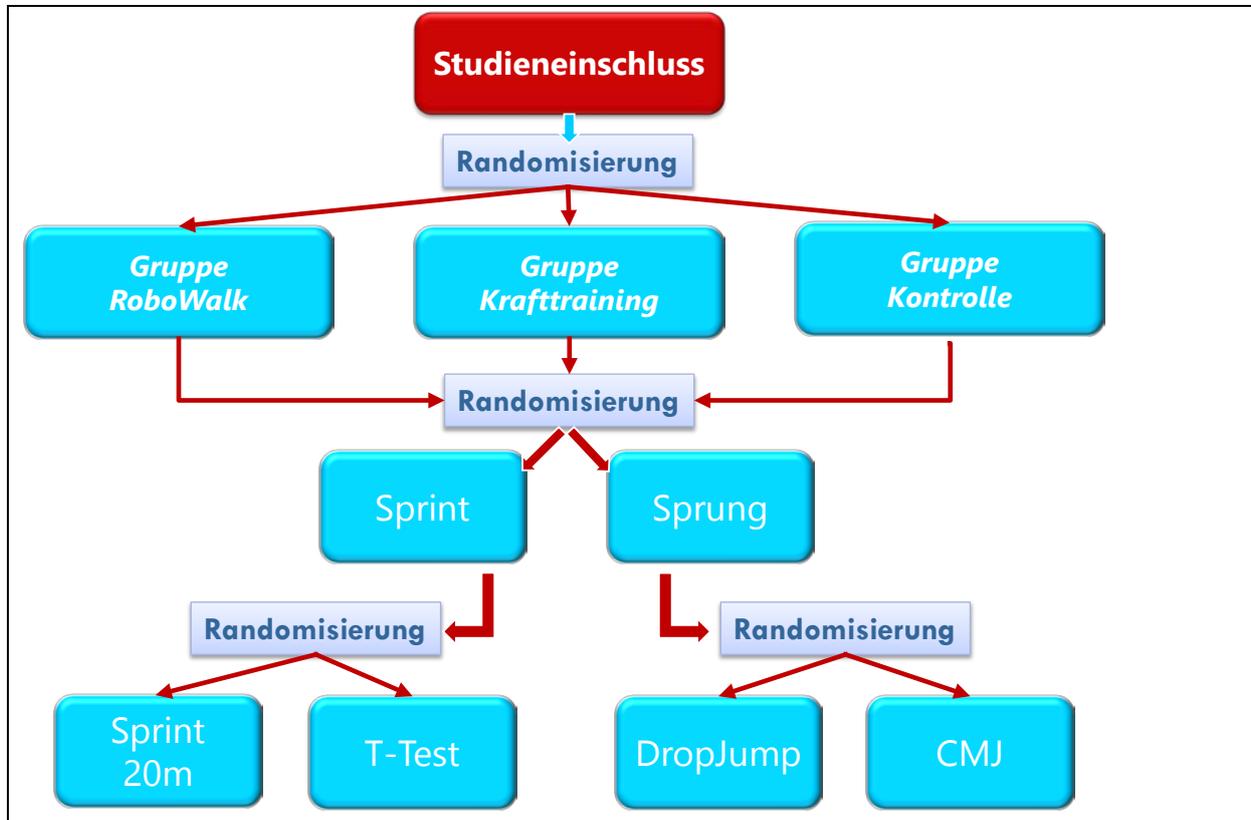


Abbildung 1: Zuordnungsschema der Messabfolge zum Sprint und Sprung in den Untersuchungsgruppen

Vor der Messreihe erfolgte die Bestimmung der anthropometrischen Daten und das Beantworten des Freiburger Aktivitätsfragebogens. Die Erfassung der anthropometrischen Daten wurde standardisiert in der Abfolge:

- ⇒ Messung mit dem InBody (Messprotokolls aus der Arbeitsgruppe [vgl. Beurskens, Muehlbauer, & Granacher (2015); Anderson, Erceg & Schroeder (2012)])
- ⇒ Bestimmung der Körperhöhe
- ⇒ Ermittlung der Beinlänge (links & rechts) [Büsch & Granacher (2013)]
- ⇒ Messung der Fußlänge

Der sich anschließende Y-Balance-Test wurde nach den Vorgaben von Plisky et al. (2009) und nach dem Handbuch von Büsch und Granacher (2013) durchgeführt.

Die anthropometrischen Messungen, der Y-Balance-Test und die Sprungkraftmessungen fanden im Labor der Abteilung für Trainings- und Bewegungswissenschaft statt. Der lineare 20-m-Sprint und der T-Test wurden von den Probanden in einer Sporthalle absolviert. Die Messstrecken wurden mit Bodenmarkierungen gekennzeichnet, um einen wiederholten Aufbau zu ermöglichen.

20-m-Sprint Test

Im Rahmen des linearen 20-m-Sprints absolvierten die Teilnehmer nach einem Probelauf 2 Wertungsläufe, von denen der zeitlich bessere für die Auswertung herangezogen wurde. Als abhängige Variable wurde die Laufzeit für die Testlänge auf 1/100 s genau bestimmt. Daneben wurden noch die Schrittfrequenz und Schrittlänge sowie die Bodenkontaktzeiten betrachtet.

Drop Jumps (DJ) und Countermovement Jumps (CMJ)

Bei den Sprungtests (DJ & CMJ) erfolgten jeweils ein Probesprung und dann 3 gültige Wertungssprünge. Aus den drei Wertungssprüngen floss der beste Sprung (Sprunghöhe) in die Auswertung ein. Abhängige Variablen waren die Bodenkontaktzeit (tBK) beim DJ und die Flughöhe (hF) beim DJ und CMJ.

T-Agilitätstest

Nach der Testerklärung wurde ein Gewöhnungslauf im submaximalen Intensitätsbereich (ca. 85 % der Laufgeschwindigkeit), gefolgt von 2 Wertungsläufen durchgeführt. Die bessere Laufzeit (abhängige Variable mit einer Genauigkeit von 1/100 s) ging in die Auswertung ein. Der Testaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

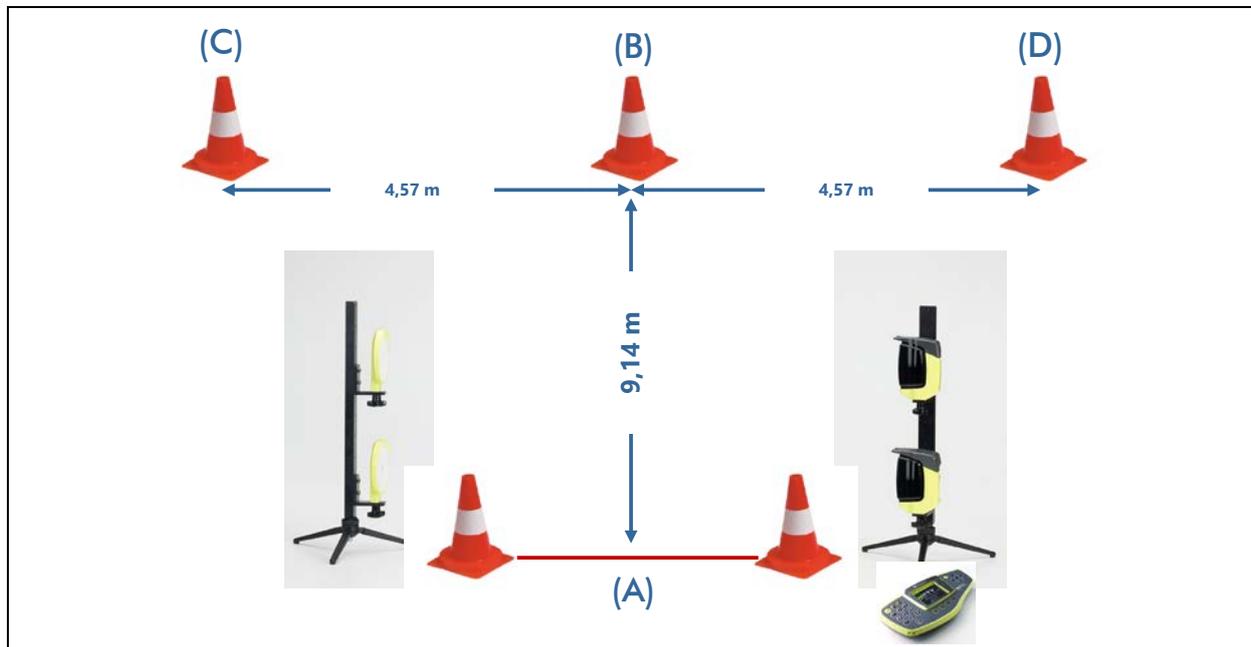


Abbildung 2: Testaufbau zum T-Agilitätstest (Gewandtheitstest (nach Beachle & Earle, 2008)

Der Ablauf der Messungen zum T-Agilitätstest orientierte sich an den Erläuterungen von Beachle und Earle (2008) und Paule et al. (2000). Nach der standardisierten Erwärmung (vgl. 4.3) hatten die Probanden die Aufgabe, den Parcours wie folgt zu absolvieren (die Abfolge der Laufrichtung ist vorgeschrieben):

- (1) Sprint vorwärts von A nach B, rechte Hand berührt Pylone B
- (2) Seitliche Schritte (side steps) von B nach C, linke Hand berührt Pylone C
- (3) Seitliche Schritte (side steps) von C nach D, rechte Hand berührt Pylone D
- (4) Seitliche Schritte (side steps) von D nach B, linke Hand berührt B
- (5) Sprint rückwärts von B nach A

Wie in der Abbildung 2 dargestellt, betrug die gesamte Strecke des Parcours 36,56 m (40 yards).

Y-Balance-Test

Der Y-Balance-Test ist nach Shumway-Cook & Woollacott (2001) ein Verfahren zur Abschätzung des dynamisch-proaktiven Gleichgewichts (Büsch & Granacher, 2013). In der vorliegenden Studie wurde der Test für die unteren Extremitäten angewandt. Die Aufgabe bestand darin, während des Einbeinstandes auf dem Standbein (vgl. Abbildung 3), möglichst große Reichdistanzen mit dem Spielbein in Richtung anterior (nach vorn), posteromedial (seitlich nach hinten) und posterolateral (überkreuzen nach hinten) zu erzielen (Büsch & Granacher, 2013; Plisky et al., 2009).

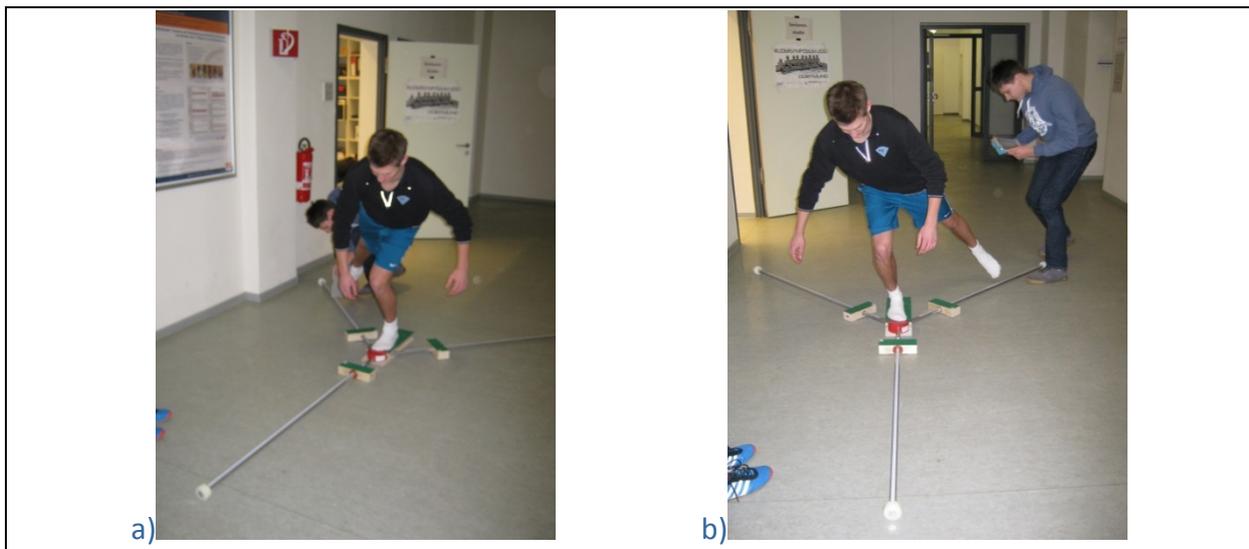


Abbildung 3: Y-Balance-Test in der Ausführung für das linke (a) und rechte (b) Standbein in der Bewegungsrichtung posteromedial (seitlich nach hinten)

Für die Auswertung wird je Bewegungsrichtung der größte erreichte Wert (Maximalwert) verwendet. Die Maximalwerte der drei Bewegungsrichtungen können als ein erstes Kriterium, getrennt für das linke und rechte Bein, aufsummiert werden (Summen-Score).

Für jede der drei Richtungen wurde die Differenz zwischen der Reichweite des rechten und linken Beines berechnet. Die Differenz der Bewegungsrichtung zwischen den beiden Beinen sollte nicht mehr als 4 cm betragen, da dies mit einem erhöhten Verletzungsrisiko assoziiert wäre (vgl. Büsch & Granacher, 2013).

Für die abschließende Beurteilung wird ein Gesamtwert für das rechte und linke Bein getrennt, errechnet. Dazu wird der Maximalwert jeder Bewegungsrichtung aufaddiert, durch die dreifache Länge der unteren Extremität dividiert und mit dem Faktor 100 multipliziert. Die Formel (1) beschreibt die Ermittlung des Gesamt-Scores für das linke Bein² (G_{SL}) (beachte: damit ist rechts das Standbein!):

$$G_{SL} = \left(\frac{\text{max.Reichweite links anterior} + \text{max.Reichweite links posteromedial} + \text{max.Reichweite links posterolateral}}{(\text{Beinlänge [links]} \cdot 3) \cdot 100} \right) \quad (1)$$

4.4 Trainingsphase

Die eingeschlossenen Probanden wurden randomisiert und nach Geschlecht stratifiziert den drei Gruppen Robowalk (RW), Krafttraining (KT) und Kontrolle (KonG) zugeteilt. Beide Trainingsgruppen absolvierten 18 Trainingseinheiten (TE) innerhalb der sechswöchigen Interventionsphase (3 TE's pro Woche, standardisiert immer montags, mittwochs, freitags). Die RoboWalk-Gruppe führte im Training ein schnellkraftorientiertes Lauftraining mit Hilfe des Robowalk®-Systems durch. Im selben Zeitraum erfolgte ein ballistisches Schnellkrafttraining an Geräten (siehe Tabelle 2) für die Krafttrainings-Gruppe. Die Erwärmung in den TE war in beiden Trainingsgruppen gleich. Die Kontrollgruppe absolvierte keine zusätzlichen Trainingseinheiten im Interventionszeitraum.

Die im Trainingsprozess absolvierten Trainingsübungen wurden von der Wirkung und dem Einsatz der Hauptmuskulatur in beiden Interventionsgruppen angenähert. Tabelle 2 stellt die Bewegungsausführungen in beiden Gruppen gegenüber.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Trainingsübungen in der RoboWalk- und Krafttrainings-Gruppe

Übungen Robowalk		Übungen Kraftmaschinen	
<p>Laterales Laufen (seitliches Laufen mit vorderem Überkreuzen)</p> 			
<p>Sprint</p> 		<p>Multipresse / Kniestecken / Fuß strecken</p> 	
<p>Kniehub</p> 		<p>Beinpresse</p> 	

² Für die Berechnung des Gesamt-Scores rechts müssen die Reichweiten des rechten Beins eingesetzt werden.



Die Trainingsbelastungen zum Trainingsprogramm werden in den Tabellen 3 und 4 für die RoboWalk- und Krafttrainings-Gruppe dokumentiert. Die Ableitung der Trainingsintensität erfolgte in der RoboWalk-Gruppe anhand der maximalen Sprintgeschwindigkeit aus dem 20-m-Sprint und in der Krafttraining-Gruppe aus dem Einerwiederholungsmaximum-Test [EWM-Test] (Test zur Bestimmung der maximalen Last, die einmal willkürlich von Athleten [entsprechend der Bewegungsaufgabe von der betreffenden Muskelgruppe] bewältigt werden kann; wurde für jede Trainingsübungen durchgeführt) vor Beginn der ersten Trainingseinheit. Die Steigerung der Belastung erfolgte sukzessiv von Woche zu Woche. In der RoboWalk-Gruppe wurde die Erhöhung der Belastung erreicht, in dem Expander verwendet wurden, die eine höhere Zugfestigkeit aufwiesen (1. Maßnahme) und in den letzten beiden Wochen die Laufgeschwindigkeiten erhöht wurden. In der Krafttrainings-Gruppe kam es bei gleichen Lasten zu einer Anhebung der Übungsserien alle zwei Wochen (beginnend bei 3 Serien mit Steigerung auf 5 Serien in den letzten beiden Wochen).

Tabelle 3: Trainingsplanung RoboWalk-Gruppe

Übung mit Belastungsvorgaben RoboWalk® - System	Woche	TE	Belastungsvorgaben für das Training
Laterales Laufen	1	1	⇒ 1x mit 1,5 % Steigung ohne Expander
Belastungsparameter:			⇒ 1x mit 8 % Steigung ohne Expander
↙ B-Dauer: 10 s auf Endgeschwindigkeit			⇒ 1x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↙ B-Dichte: 2 min Pause			⇒ Beschleunigungsstufe (BS) 4
↙ Zugwiderstand von hinten am Sprunggelenk links und rechts			⇒ 20 % v_{max}
↙ Beschleunigungsstufe 5 (wenn nicht anders in den Belastungsvorgaben vermerkt)	1	2	⇒ 2x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↙ Wechsel der Laufrichtung auf dem Laufband			⇒ 1x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander
↙ Expanderarme ca. 20°	1	3	⇒ 30 % v_{max}
	2	4 – 6	⇒ 3x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander
			⇒ 30 % v_{max}
			⇒ 3x mit 8 % Steigung
			⇒ schwarzer Expander
			⇒ 35 % v_{max}

	3	7 – 9	⇒ 3x mit 8 % Steigung ⇒ grauer Expander ⇒ 35 % v_{max}
	4	10 – 12	⇒ 4x mit 8 % Steigung ⇒ schwarzer Expander ⇒ 35 % v_{max}
	5	13 – 15	⇒ 4x mit 8 % Steigung ⇒ schwarzer Expander ⇒ 40 % v_{max}
	6	16 – 18	⇒ 4x mit 8 % Steigung ⇒ grauer Expander ⇒ 40 % v_{max}
Sprint	1	1	⇒ 1x mit 1,5 % Steigung ohne Expander
Belastungsparameter:			
↺ B-Dauer: 20 s			⇒ 1x mit 8 % Steigung ohne Expander
↺ B-Dauer: 10 s auf Endgeschwindigkeit			⇒ 2x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↺ B-Dichte: 2 min Pause			⇒ Beschleunigungsstufe (BS) 4
↺ Zugwiderstand von hinten am Sprunggelenk links und rechts			⇒ 50 % v_{max} ⇒ 2min Pause
↺ Beschleunigungsstufe 5 (wenn nicht anders in den Belastungsvorgaben vermerkt)	1	2	⇒ 2x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↺ Expanderarme ca. 8°			⇒ 2x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander ⇒ 60 % v_{max} ⇒ 2min Pause
	1	3	⇒ 4x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander ⇒ 60 % v_{max} ⇒ 2min Pause
	2	4 – 6	⇒ 4x mit 8 % Steigung + schwarzer Expander ⇒ 65 % v_{max} ⇒ 2min Pause
	3 – 4	7 – 12	⇒ 4x mit 8 % Steigung + grauer Expander ⇒ 65 % v_{max} ⇒ 2min Pause
	5	13 – 15	⇒ 4x mit 8 % Steigung + schwarzer Expander ⇒ 70 % v_{max} ⇒ 2,5min Pause
	6	16 – 18	⇒ 4x mit 8 % Steigung + grauer Expander ⇒ 70 % v_{max} ⇒ 2,5min Pause
Kniehub	1	1	⇒ 1x mit 1,5 % Steigung ohne Expander
Belastungsparameter:			
↺ B-Dauer: 20 s			⇒ 1x mit 8 % Steigung ohne Expander
↺ B-Dauer: 10 s auf Endgeschwindigkeit			⇒ 1x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↺ B-Dichte: 2 min Pause			⇒ Beschleunigungsstufe (BS) 4
↺ Zugwiderstand von hinten am Sprunggelenk links und rechts			⇒ 40 % v_{max}
↺ Beschleunigungsstufe 5 (wenn nicht anders in den Belastungsvorgaben vermerkt)	1	2	⇒ 2x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
			⇒ 1x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander

↪ Expanderarme ca. 8°	1	3	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 50 % v_{max} ⇒ 3x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander
	2	4 – 6	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 50 % v_{max} ⇒ 3 Serien ⇒ schwarzer Expander
	3	7 – 9	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 55 % v_{max} ⇒ 3 Serien ⇒ grauer Expander
	4	10 – 12	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 55 % v_{max} ⇒ 4 Serien ⇒ schwarzer Expander
	5	13 – 15	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 55 % v_{max} ⇒ 4 Serien ⇒ schwarzer Expander
	6	16 – 18	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 60 % v_{max} ⇒ 4 Serien ⇒ grauer Expander ⇒ 60 % v_{max}
Sprunglauf	1	1	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 1x mit 1,5 % Steigung ohne Expander
Belastungsparameter:			
↪ B-Dauer: 20 s			⇒ 1x mit 8 % Steigung ohne Expander
↪ B-Dauer: 10 s auf Endgeschwindigkeit			⇒ 1x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↪ B-Dichte: 2 min Pause			⇒ Beschleunigungsstufe (BS) 4
↪ Zugwiderstand von hinten am Sprunggelenk links und rechts	1	2	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 40 % v_{max} ⇒ 2x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↪ Beschleunigungsstufe 5 (wenn nicht anders in den Belastungsvorgaben vermerkt)			⇒ 1x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander
↪ Expanderarme ca. 8°	1	3	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 50 % v_{max} ⇒ 3x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander
	2	4 – 6	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 50 % v_{max} ⇒ 3 Serien, schwarzer Expander
	3	7 – 9	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 55 % v_{max} ⇒ 3 Serien, grauer Expander
	4	10 – 12	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 55 % v_{max} ⇒ 4 Serien, schwarzer Expander
	5	13 – 15	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 55 % v_{max} ⇒ 4 Serien, schwarzer Expander
	6	16 – 18	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 60 % v_{max} ⇒ 4 Serien, grauer Expander ⇒ 60 % v_{max}
Anfersen	1	1	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 1x mit 1,5 % Steigung ohne Expander
Belastungsparameter:			
↪ B-Dauer: 20 s			⇒ 1x mit 8 % Steigung ohne Expander
↪ B-Dauer: 10 s auf Endgeschwindigkeit			⇒ 1x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↪ B-Dichte: 2 min Pause			⇒ Beschleunigungsstufe (BS) 4
↪ Zugwiderstand von hinten am Sprunggelenk links und rechts	1	2	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 40 % v_{max} ⇒ 2x mit 1,5 % Steigung + schwarzen Expander
↪ Beschleunigungsstufe 5 (wenn nicht anders in den Belastungsvorgaben vermerkt)			⇒ 1x mit 8 % Steigung + schwarzen Expander
↪ Expanderarme ca. 8°	1	3	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 50 % v_{max} ⇒ 3x mit 8 % Steigung + schwarzen Ex-

		pander
2	4 – 6	⇒ 50 % v_{max} ⇒ 3 Serien, schwarzer Expander
3	7 – 9	⇒ 55 % v_{max} ⇒ 3 Serien, grauer Expander ,
4	10 – 12	⇒ 55 % v_{max} ⇒ 4 Serien, schwarzer Expander
5	13 – 15	⇒ 55 % v_{max} ⇒ 4 Serien, schwarzer Expander
6	16 – 18	⇒ 60 % v_{max} ⇒ 4 Serien, grauer Expander ⇒ 60 % v_{max}

Die TE 1 bis 3 dienten zur Gewöhnung der Probanden. **Widerstand:** schwarzer Expander < grauer Expander

Zwischen den Übungen erhielten die Studierenden 5 Minuten Pause. Ziel war die Gewährleistung einer umfassenderen Pause, um eine möglichst hohe Leistungsfähigkeit für die nachfolgenden Übungen sicherzustellen.

Die Kraftgruppe, mit dem ballistischen Schnellkrafttraining, absolvierte gesprungene Kniebeuge, Kniebeuger, Kniestrecker und Fußstrecker nach dem Schnellkraftverfahren (explosive Bewegungsausführung). Die Ableitung der Zulasten für die einzelnen Übungen erfolgte vom EWM-Test. In Tabelle 4 wird der Trainingsplan der KT-Gruppe vorgestellt.

Tabelle 4: Trainingsplanung Krafttrainings-Gruppe

Übung mit Belastungsvorgaben	Woche	TE	Belastungsdosierung
Beinpresse			
↵ 40% vom EWM	1 – 2	1 – 6	3 Serien
↵ 10 Wiederholungen	3 – 4	7 – 12	4 Serien
↵ 2 min Pause	5 – 6	13 – 18	5 Serien
↵ Schnellst möglichste Bewegungsausführung			
Leg curl			
↵ 40% vom EWM	1 – 2	1 – 6	3 Serien
↵ 10 Wiederholungen	3 – 4	7 – 12	4 Serien
↵ 2 min Pause	5 – 6	13 – 18	5 Serien
↵ Schnellst möglichste Bewegungsausführung			
Kniestrecker			
↵ 40 % vom EWM	1 – 2	1 – 6	3 Serien
↵ 10 Wiederholungen	3 – 4	7 – 12	4 Serien
↵ 2 min Pause	5 – 6	13 – 18	5 Serien
↵ Schnellst möglichste Bewegungsausführung			
Fußstrecker			
↵ 40 % vom EWM	1 – 2	1 – 6	3 Serien
↵ 10 Wiederholungen	3 – 4	7 – 12	4 Serien
↵ 2 min Pause	5 – 6	13 – 18	5 Serien
↵ Schnellst möglichste Bewegungsausführung			

Nach jeder Trainingseinheit wurde von allen Probanden der RoboWalk- und Krafttrainings-Gruppe die Anstrengung der gesamten Einheit mittels der Deutschen Anstrengungsskala – PESE (Brown et al., 2014; Robertson et al., 2003; Robertson et al., 2005) eingeschätzt, um im Training eine individuelle Belastungssteigerung vorzunehmen.

Die Erwärmung vor jeder Trainingseinheit in beiden Gruppe umfasste folgende Übungen (Tabelle 5) bei einer Gesamtdauer von 8 Minuten.

Tabelle 5: Übungen und Umfang der Erwärmung in beiden Trainingsgruppen

Übungen	Umfang Streckenabschnitt (Bahnen) á 20 m	Umfang gesamt / Dauer
Lockerer Lauf (auf der 10-stufigen PESE-Skala ³ ca. 4 bis 5) (Robertson et al., 2003)	8	160 m
Skippings	2	40 m
Kniehebelauf	4	80 m
Anfersen	4	80 m
Hopserlauf	4	80 m
Seilspringen	2 x 30“	60“

4.5 Statistik

Alle vorgestellten Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung (SD) berichtet. Die Prüfung auf Normalverteilung war gegeben (Shapiro-Wilk-Test, $p > 0.05$). Baseline-Unterschiede wurden mit einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) geprüft. Zur weiteren Berechnung und Analyse diente eine Kovarianzanalyse (ANCOVA) mit dem Prä-Test als Kovariate. Bei signifikanten Gruppeneffekten wurde eine Post hoc Analyse mit Bonferroni-Korrektur und Bootstrapping gerechnet. Das statistische Signifikanzniveau wurde mit $p < 0.05$ festgelegt. Tendenzen werden mit $p < 0.10$ ausgewiesen. Weiterhin wurde aus dem Effektmaß Eta-Quadrat die Effektgröße Cohen's d berechnet. Die Klassifizierungen der Effektgröße Cohen's d ist in Tabelle 6 repräsentiert. Die statistischen Berechnungen erfolgt mit dem Programm SPSS 22.0.

Tabelle 6: Klassifizierung von Cohen's d (nach Cohen (1988))

Size of Cohen's d	Classification of effect
$d < 0.50$	Small (schwacher Effekt)
$0.50 \leq d < 0.80$	Medium (mittlerer Effekt)
$d \geq 0.80$	Large (hoher Effekt)

³ PESE (Perceived Exertion Scale for Resistance Exercise) Wahrgenommene Anstrengungsskala für Widerstandsübung, in diesem Zusammenhang Krafttrainingsübungen; der Anstrengungsgrad wird auf einer 10stufigen Skala abgetragen (sehr leicht bis extrem anstrengend)

5. Ergebnisse

Zur Bestimmung der Ausgangslage wurden die Daten in der RoboWalk-, Krafttrainings- und Kontrollgruppe auf Unterschiede geprüft. Hierbei zeigten sich keine signifikanten Baseline-Unterschiede für die verschiedenen Variablen zwischen den Gruppen. In der RoboWalk-Gruppe konnten zwei Probanden (1 Frau und 1 Mann) das Training aus gesundheitlichen Gründen nicht bis zum Ende durchführen. Die Trainingsteilnahme (Adhärenz) belief sich in der RoboWalk-Gruppe auf 82,2 %. Zwei Probanden (2 Männer) aus der Krafttrainings-Gruppe konnten das Training ebenfalls aus gesundheitlichen und persönlichen Gründen nicht vollständig absolvieren. Die Teilnahmehäufigkeit der Trainingsmaßnahme betrug in der Krafttrainings-Gruppe 83,9 %.

Nach der ersten Analyse zur Trainingsteilnahme (Adhärenz) und der sportlichen Aktivität, erfolgte der Ausschluss von sechs Teilnehmer (3 aus RoboWalk- und 3 aus der Krafttrainings-Gruppe). Sie erfüllten nicht die Vorgaben der sportlichen Aktivitätsdauer (> 60 Minuten pro Woche) und der Trainingsteilnahme (> 70 %). Somit wurden 35 Probanden (12 Frauen und 23 Männer) in die finale Datenanalyse einbezogen.

Tabelle 7: Wesentlichen Untersuchungsparameter der Testgruppen zum Beginn (Pre-Test, T0) der Trainingsintervention

	RoboWalk-Gruppe (n=10)		Krafttrainings-Gruppe (n=9)		Kontroll-Gruppe (n=16)		Diff. RW - KT	Diff. RW - KonG	Diff. KT - KonG
	MW	SD	MW	SD	MW	SD			
max. Geschwindigkeit Sprint 20 m [m/s]	7,92	0,86	8,29	0,59	8,10	0,91	-0,37	-0,18	0,19
Mittlere Geschwindigkeit Sprint 20 m [m/s]	6,88	0,60	7,22	0,51	6,98	0,64	-0,34	-0,10	0,24
Bodenkontaktzeit Sprint 20 m [ms]	0,14	0,01	0,13	0,01	0,13	0,02	0,01	0,01	0,00
Flugzeit Sprint 20 m [s]	0,10	0,02	0,11	0,03	0,11	0,01	-0,01	-0,01	0,00
Schrittlänge Sprint 20 m [cm]	161,11	9,54	170,42	17,84	167,82	14,10	-9,31	-6,71	2,60
Schrittfrequenz Sprint 20 m [Schr./s]	4,29	0,38	4,29	0,39	4,18	0,35	0,00	0,11	0,11
Sprunghöhe DJ [cm]	22,27	5,50	28,45	5,46	29,13	6,60	-6,18	-6,86	-0,68
Leistungsindex DJ	1,06	0,28	1,51	0,30	1,23	0,50	-0,45	-0,17	0,28
Bodenkontaktzeit DJ [ms]	212,49	25,23	188,88	18,63	256,76	71,31	23,61	-44,27	-67,88
Bodenreaktionskraft DJ [N]	3.941,51	719,80	4.056,06	712,42	3.076,05	971,12	-114,55	865,46	980,01
Sprunghöhe CMJ [cm]	29,80	7,32	34,49	7,08	34,08	6,28	-4,69	-4,28	0,41
T-Test (Agilität) [s]	11,03	1,23	10,19	0,56	10,42	0,91	0,84	0,61	-0,23
Y-Balance-Index rechts	110,85	7,32	115,04	9,71	124,14	7,50	-4,19	-13,29	-9,10
Y-Balance Index links	110,66	6,50	114,78	9,28	124,06	5,19	-4,12	-13,40	-9,28

Notiz: MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; DJ = DropJump; CMJ = Countermovement Jump; Diff. = Differenzen der Mittelwerte zwischen den Gruppen

Die Tabelle 7 präsentiert die Leistungen wesentlicher Untersuchungsparameter der drei Gruppen zum Pre-Test (T0). Neben den Mittelwerten und Standardabweichungen sind auch die Parameterdifferenzen zwischen den drei Gruppen abgebildet.

Weiterführend zeigt die Tabelle 8 relevante und wesentliche Untersuchungsparameter der Testgruppen zum Ende des Untersuchungszeitraumes aus der ANCOVA-Berechnung (Mittelwerte wurden unter Berücksichtigung der Pre-Test-Werte korrigiert).

Tabelle 8: Zusammenstellung der wesentlichen Untersuchungsparameter der Testgruppen zum Ende des Untersuchungszeitraumes aus der ANCOVA-Berechnung (Mittelwerte wurden unter Berücksichtigung der Pre-Test-Werte korrigiert).

	RoboWalk-Gruppe (n=10)		Krafttrainings-Gruppe (n=9)		Kontroll-Gruppe (n=16)		p	d
	MW	SD	MW	SD	MW	SD		
max. Geschwindigkeit Sprint 20 m [m/s]	8,41	0,43	8,36	0,43	8,06	0,43	0,095	0,81
Mittlere Geschwindigkeit Sprint 20 m [m/s]	7,14	0,21	7,11	0,21	7,02	0,21	0,290	0,58
Bodenkontaktzeit Sprint 20 m [ms]	125,47	7,178	128,36	7,26	133,25	7,16	0,031	1,00
Flugzeit Sprint 20 m [s]	109,00	9,50	103,00	9,00	107,00	12,00	0,403	0,49
Schrittlänge Sprint 20 m [cm]	167,61	7,19	163,83	7,10	167,30	7,04	0,438	0,47
Schrittfrequenz Sprint 20 m [Schr./s]	4,30	0,16	4,35	0,16	4,22	0,16	0,126	0,76
Sprunghöhe DJ [cm]	27,49	4,16	28,73	3,84	25,86	3,92	0,201	0,66
Leistungsindex DJ	1,24	0,31	1,35	0,31	1,29	0,30	0,745	0,28
Bodenkontaktzeit DJ [ms]	235,06	48,11	216,47	51,03	219,85	51,46	0,649	0,34
Bodenreaktionskraft DJ [N]	3159,76	795,49	3310,80	807,54	3754,89	837,85	0,215	0,64
Sprunghöhe CMJ [cm]	33,62	2,98	32,90	2,90	32,63	2,90	0,733	0,29
T-Test (Agilität) [s]	10,35	0,40	9,99	0,40	10,27	0,39	0,136	0,74
Y-Balance-Index rechts	116,68	4,85	120,17	4,43	121,31	4,94	0,097	0,81
Y-Balance Index links	117,80	5,58	120,56	4,94	122,41	5,72	0,206	0,66

Notiz: MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; DJ = Droplump; CMJ = Countermovement Jump

5.1 Ergebnisse zu den Sprintleistungen (Linearsprint 20 m)

Bei der Analyse der Geschwindigkeiten (maximale und mittlere Geschwindigkeit) des Sprint über 20 m zeigten sich tendenzielle Gruppenunterschiede bei der maximalen Geschwindigkeit ($p = 0,095$; $d = 0,81$). Mit $d = 0,81$ ist die entsprechende Effektstärke als hoch zu klassifizieren. Die Post hoc Analyse ergab eine tendenziell höhere maximale Geschwindigkeit der RoboWalk-Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe ($p = 0,087$). Für die Krafttrainingsgruppe konnte ein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0,05$) zur Kontrollgruppe im Parameter maximale Geschwindigkeit belegt werden (vgl. Abbildung 4). Die beiden Interventionsgruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

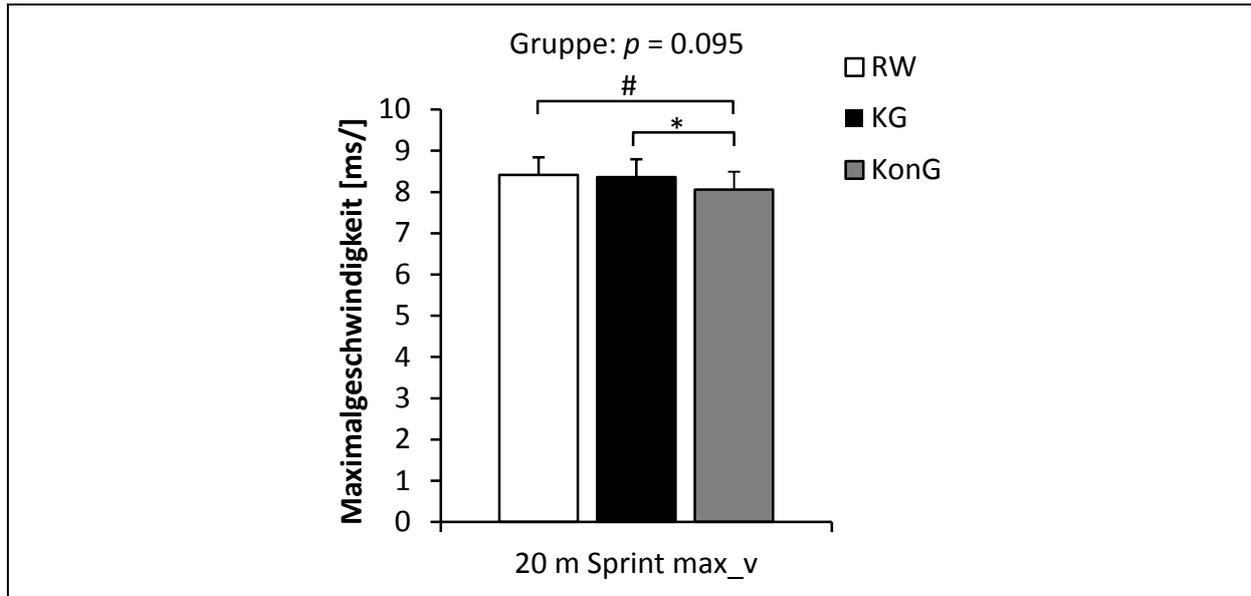


Abbildung 4: ANCOVA-korrigierte Maximalgeschwindigkeit zum Post-Test beim Linearsprint über 20 m der drei Probandengruppen im Vergleich. * $p < 0.05$; # $p < 0.10$

Für die erreichte Durchschnittsgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$) verfehlte die durchgeführte ANCOVA mit $p = 0,290$ das vorgegebene Signifikanzniveau.

Wie aus Tabelle 8 und Abbildung 5 ersichtlich wird, bestand ein signifikanter Gruppenunterschied bei der Variablen „Bodenkontaktzeit“. Cohen's d zeigte mit $d = 1,00$ einen hohen Einfluss des Faktors Gruppe auf die Ergebnisse. In der weiterführenden Post hoc Berechnung mit Bootstrap ergaben sich signifikante Unterschiede in der Variable zwischen der Robo-Walk-Gruppe und der Kontrollgruppe ($p < 0,05$) sowie der Krafttrainings-Gruppe und der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Zwischen den beiden Interventionsgruppen konnte kein signifikanter Unterschied belegt werden.

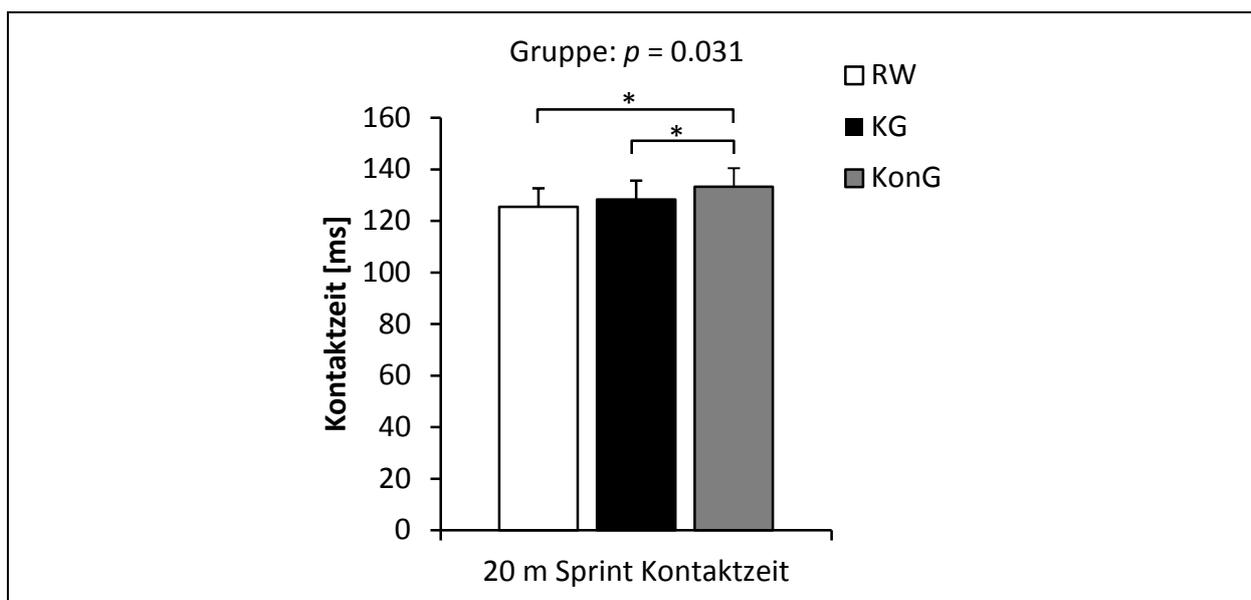


Abbildung 5: Bodenkontaktzeiten zum Post-Test beim Linearsprint über 20 m der drei Probandengruppen im Vergleich (ANCOVA (korrigierte Mittelwerte)). * $p < 0.05$

5.2 Ergebnisse zu den Sprungleistungen (DropJump, Countermovement Jump)

Die Auswertung der sprungspezifischen Daten (vgl. Tabelle 8) ergab keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Anhand der fehlenden Unterschiede wurde auf eine Post hoc Analyse der Daten verzichtet. Beim Vergleich der Mittelwerte der DropJump-Parameter zeigte die Krafttrainings-Gruppe bessere Werte als die RoboWalk- und Kontroll-Gruppe.

Bei der Sprunghöhe des CMJ konnten höhere Sprungleistungen bei der RoboWalk-Gruppe deskriptiv gegenüber Krafttrainings- und Kontroll-Gruppe verzeichnet werden.

Von diesen rein deskriptiven Vorteilen lassen sich keine inhaltlichen Merkmale ableiten, da auch die Effektgrößen nur schwach ausgeprägt waren.

5.3 Ergebnisse zu den Agilitätsleistungen (T-Agilitätstest)

Die Auswertung der besten Laufzeiten im T-Agilitätstest belegen keine Unterschiede zwischen den Gruppen, obwohl die Effektgröße im mittleren, oberen Bereich ($d = 0,74$) ausgewiesen ist. Ein Post hoc Test wurde in diesem Fall nicht berechnet.

Deskriptiv zeigten in der abhängigen Variablen »Laufzeit« die Probanden der Krafttrainings-Gruppe schnellere Zeiten als Kontroll- und RoboWalk-Gruppe. Statistisch konnte dies in der Studie nicht belegt werden.

5.4 Ergebnisse zum Y-Balance-Test

Die ANCOVA-Berechnung weist für den Index der rechten Seite (Summen-Score) auf einen tendenziellen Gruppeneffekt (siehe Tabelle 8) hin. Die EffektgrößeCohen's $d = 0,81$ zeigt einen hohen Effekt an. Die Post hoc Analyse ergab lediglich für den Vergleich RoboWalk-Gruppe und Kontrollgruppe signifikante Differenzen ($p < 0.05$). Die Interventionsgruppen unterschieden sich nicht statistisch voneinander (vgl. Abbildung 6).

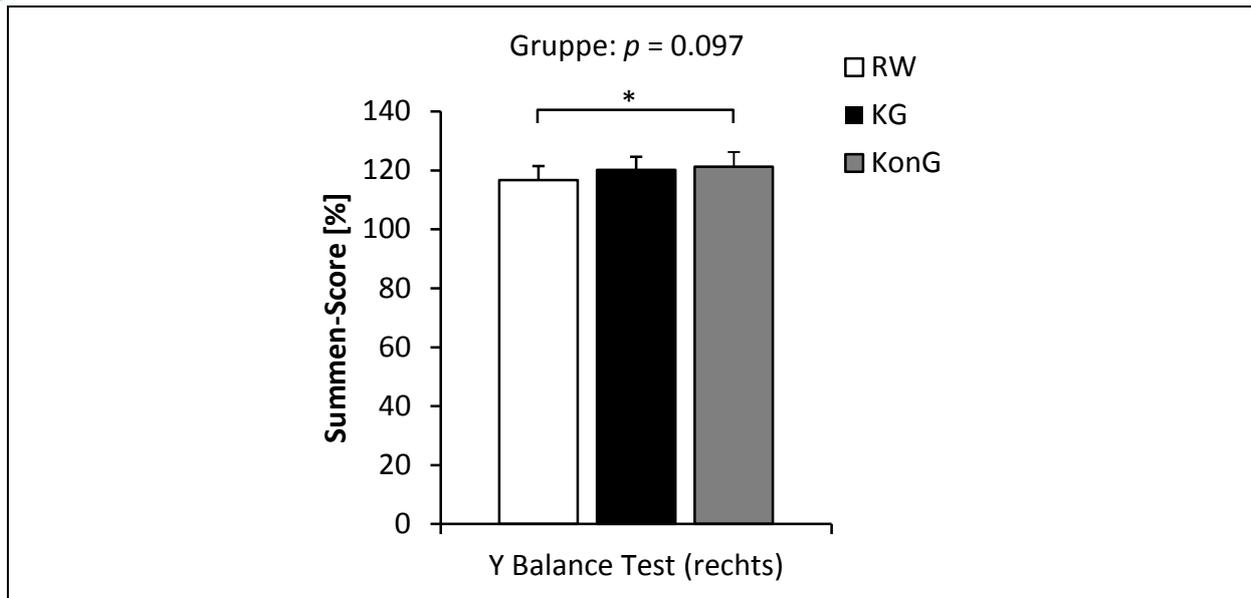


Abbildung 6: Y-Balance-Summen-Score rechts der drei Probandengruppen im Vergleich. * $p < 0.05$

6. Diskussion

Vor dem Hintergrund des Prinzips der Trainingspezifität war es das Ziel der vorliegenden Studie, unterschiedliche Anpassungserscheinungen von Schnelligkeitsleistungen bei einem spezifischen Widerstandstraining mit dem RoboWalk®-System im Vergleich zu einem gerätgestützten, ballistischen Schnellkrafttraining und einer Kontrollgruppe zu überprüfen.

35 Probanden (12 Frauen und 23 Männer; Sportstudierende der Universität Potsdam) wurden randomisiert auf drei Gruppen aufgeteilt: zwei Versuchsgruppen (RoboWalk-Gruppe und Krafttrainings-Gruppe) und eine Kontroll-Gruppe. Das Training der beiden Versuchsgruppen wurde auf Intensität und Dauer der Belastung abgestimmt und das Training drei Mal pro Woche über einen Zeitraum von sechs Wochen durchgeführt. Die Kontroll-Gruppe führte kein zusätzliches Training durch. Für die Evaluierung der Fragestellung wurden typische trainingswissenschaftliche Messverfahren zur Bestimmung der Schnellkraft- und Schnelligkeitsleistungen eingesetzt (Mangine et al., 2014).

Die Hauptergebnisse der vorliegenden Studie können wie folgt zusammengefasst werden: Im Vergleich zu einer passiven Kontrollgruppe führen ein spezifisches Zugwiderstandstraining mit dem RoboWalk®-System auf dem Laufband und ein maschinenbasiertes Schnellkrafttraining für die unteren Extremitäten 1.) zu verbesserten Schnelligkeitsleistungen im 20-m-Sprint (d. h. geringere Bodenkontaktzeit, höhere Maximalgeschwindigkeit) und 2.) zu keinen Verbesserungen in den Sprung- und Agilitätstests. Beide Trainingsformen (d. h. spezifisches Zugwiderstandstraining vs. unspezifisches Schnellkrafttraining) unterschieden sich nicht hinsichtlich ihrer Trainingswirkung auf die untersuchten Parameter.

Die in den Interventionsgruppen erzielten Steigerungen der Schnelligkeitsleistungen im 20-m-Sprint sind in Übereinstimmung mit Ergebnissen in der Literatur. Zum Beispiel untersuchten Martinopoulou et al. (2011) die Effekte eines Zugwiderstandstrainings bei 16 Sprintern

(nationales (griechisches) Leistungsniveau). Es konnte gezeigt werden, dass ein Training mit Zugwiderständen gegenüber einem Training ohne Zugwiderstände zu einer höheren Leistungssteigerung der Sprintzeit über 20 m führte. Zudem absolvierten trainierte Sprinter in der Studie von Kamandulis et al. (2012) ein hochintensives Schnellkrafttraining. Nach der vierwöchigen Trainingsphase konnten auch hier signifikant bessere Sprintleistungen (d. h. 60-m-Sprintzeit) festgestellt werden.

Die in der vorliegenden Studie erzielten Steigerungen der maximalen Geschwindigkeit auf der 20-m-Sprintstrecke lassen verbesserte Leistungsvoraussetzungen für den Linearsprint vermuten. Entsprechend des Phasenmodells des leichtathletischen Sprints, erfolgt mit zunehmender Streckenlänge nach dem Start eine kontinuierliche Steigerung der Momentangeschwindigkeit bis zum Erreichen der individuellen maximalen Laufgeschwindigkeit (siehe Krüger, 2013; Taylor & Beneke, 2012). Eine initiale Beschleunigungsphase zur Generierung einer möglichst hohen Maximalgeschwindigkeit ist demnach von essenzieller Bedeutung für den Erfolg im leichtathletischen Sprint. Die aufgezeigten Ergebnisse deuten demnach auf den effektiven Einsatz eines Zugwiderstandstrainings mit dem RoboWalk[®]-System und eines Schnellkrafttrainings für die unteren Extremitäten zur Verbesserung der Beschleunigungsphase hin. Zukünftige Studien sollten darüber hinaus auf längere Laufstrecken (d. h. 60-100 m) überführt werden, um eine positive Auswirkung auf den Leistungszugewinn auch in Phasen der maximalen Geschwindigkeit durch das Schnellkraft- und insbesondere das Zugwiderstandstraining noch besser unterstreichen zu können.

Aus biomechanischer Sicht sind die höheren Maximalgeschwindigkeiten nach den Trainingsmaßnahmen gegenüber der Kontrollgruppe voraussichtlich auf eine Optimierung der Stützphase während des Bodenkontaktes zurückzuführen. In der Tat konnten sowohl für die RoboWalk-Trainingsgruppe als auch die Schnellkrafttrainingsgruppe signifikant verringerte Bodenkontaktzeiten bei gleichbleibender Schrittlänge und -frequenz nach der Interventionsphase gegenüber der passiven Kontrollgruppe festgestellt werden. Ableitend daraus ist zu vermuten, dass beide Trainingsmaßnahmen zu größeren Kraftstößen während des Bodenkontaktes geführt haben, um trotz reduzierter Bodenkontaktzeit das Schrittmuster (d. h. Schrittlänge/-frequenz) beizubehalten (Taylor & Beneke, 2012). Die Ergebnisse aus der Studie sind nur annähernd konform mit denen aus anderen Studien (z. B. Martinopoulou et al., 2011), die nach einem Zugwiderstandstraining größere Schrittlängen bei gleichbleibenden Bodenkontaktzeiten postulieren. Es bleibt zu prüfen, ob die veränderte Impulsgenerierung während des Bodenkontaktes die kinematischen Beschreibungsgrößen auch in späteren Phasen des Sprints (z. B. Phase der maximalen Geschwindigkeit, Phase der absinkenden Geschwindigkeit) beeinflusst. Hier sollten bei zukünftigen Studien Streckenlängen von mindestens 30 m gewählt werden (Cormie, McGuigan, & Newton, 2010).

Innerhalb der sekundären Outcomes deuten die vorliegenden Ergebnisse darauf hin, dass ein Zugwiderstandstraining mit dem RoboWalk[®]-System sowie ein Schnellkrafttraining für die unteren Extremitäten über jeweils 6 Wochen keine zusätzlichen Effekte auf Sprung- und Agilitätsleistungen von aktiven Sportstudenten haben. Bezüglich der Sprungleistungen sind die

vorliegenden Ergebnisse im Gegensatz zu den Erkenntnissen von Buchheit et al. (2010). Die Arbeitsgruppe um Buchheit et al. (2010) konnte eine Leistungssteigerung bei Sprunghöhen im CMJ nach einem 10-wöchigen, explosiven Schnellkrafttraining feststellen. Die Autoren führen die Leistungssteigerung auf eine Zunahme der Muskelmasse, verbesserte Synchronisierung der Motorischen Einheiten und einen effizienteren Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus zurück (Buchheit, Mendez-Villanueva, Delhomel, Brughelli, & Ahmaidi, 2010). Hinsichtlich der Ergebnisse zur Agilität können in der Untersuchung keine Transfereffekte der linearen Trainingsausrichtung auf die Leistung im schnellkeitsorientierten Agilitätstest (T-Agilitätstest) belegt werden. Damit werden die Aussagen von Young, McDowell und Scarlett (2001) sowie Young, Dawson, & Henry (2015) zur Unabhängigkeit der Agilitätsleistung von der linearen Sprint- und Schnellkeitsleistung bestätigt.

Limitationen der Studie

Gründe für die von den Hypothesen abweichenden Ergebnisse könnten in den differierenden sportlichen Aktivitäten der Probanden beider Gruppen zu suchen sein (Cormie et al., 2010). Die Probanden der Krafttrainings-Gruppe zeigen eine höhere wöchentliche Sportaktivität. Die Ergebnisse einschränkend ist die Gruppengröße beider Versuchskohorten. Die anfänglich höheren Probandenzahlen mussten aufgrund der nicht erreichten vorgegebenen sportlichen Aktivitätsdauer von mehr als 60 Minuten pro Woche und der Trainingsdosis (> 70 %) reduziert werden. Auch die cut-off-Grenze der Trainingsdosis von 70 % (ca. 13 Trainingseinheiten von 18) scheint für eine adaptionsauslösende Leistungsanpassung unter-schwellig zu sein und sollte bei zukünftigen Studien dieser Art deutlich höher liegen (> 85 %; (Buchheit et al., 2010). Die Trainingsintensität muss im Nachgang kritisch hinterfragt werden (Ross et al., 2009; Rumpf et al., 2014). Beide Gruppen schätzten die Trainingsbelastung mit $5 (\pm 0,5)$ [Krafttrainings-Gruppe] und $5,7 (\pm 0,9)$ [RoboWalk-Gruppe] als eher mäßig auf der Perceived Exertion Scale Strength (Robertson et al., 2003; Robertson et al., 2005) ein. Das führt zwangsläufig zur Hinterfragung des Trainingsregimes. Die Belastungsnormative in der Krafttrainings-Gruppe folgte den bekannten Richtlinien zum Schnellkrafttraining (vgl. Hohmann, Lames, & Letzelter, 2010). Es bleibt offen, ob in den Trainingseinheiten die einzelnen Übungen mit dem maximalen Bewegungstempo absolviert wurden. Die Schwierigkeit in der RoboWalk-Gruppe bestand darin, dass eher ein moderates Schnellkrafttraining und kein ausgewiesenes Schnellkeitsstraining stattfand. Die im Schnellkeitsstraining geforderten Intensität von 100 % (maximales Tempo) wurden vermutlich im Training nicht erreicht (vgl. Hohmann, Lames & Letzelter, 2010). Vergleichbare Studien mit dem RoboWalk®-System liegen nicht vor, um die Trainingsintensität besser abzuschätzen (Cross, Brughelli, & Cronin, 2014; Mangine et al., 2014; Ross et al., 2009). Hier muss bei weiteren Untersuchungen mit höheren Intensitäten (Progression der Belastung) gearbeitet und die Widerstände (Expander) auf die Leistungsfähigkeit der Probanden besser abgestimmt werden.

Mit dem Messsystem »OptoJump next« können neben Zeitmessungen für definierte Strecken, Schrittfrequenz und –länge sowie die Geschwindigkeit über die Messstrecke erfasst werden. Nachteilig ist, dass die gemessene Sprintzeit nicht exakt der entsprechenden Stre-

ckenlänge, im vorliegenden Fall 20 m, entspricht. Der Start der Athleten erfolgt außerhalb der Messstrecke (unmittelbar an der vorderen Kante der Messbalken) und mit dem ersten Fußkontakt in der Messstrecke beginnt erst die Datenerfassung. Die Datenerfassung endet mit dem letzten Kontakt in der OptoJump-Messstrecke. Somit wird die tatsächliche Messstrecke von der Entfernung des ersten und letzten Kontaktes bestimmt. Zwischen den Läufen der Probanden und den Probanden kam es so zu differierenden Messstreckenlängen.

Die Ergebnisse des T-Agilitätstests sind indifferent. Obwohl angenommen wurde, dass durch die Einbettung einer lateralen Bewegungsaufgabe für die RoboWalk-Gruppe, diese davon mehr profitieren sollte (Prinzip der Trainingsspezifität (Behm & Sale, 1993; Behm et al., 2010;)). Die Robowalk-Gruppe trainierte auf dem »RoboWalk[®]-System« das laterale Laufen mit seitlichem Expanderzug. Das seitliche Überkreuzen mit dem lateralen Zug hätte zu einer Stärkung der Adduktoren sowie der Abduktoren der Bein- und Gesäßmuskulatur führen sollen. Eine vergleichbare Übung ist im Trainingsprogramm der Krafttrainings-Gruppe nicht enthalten.

Aufgrund fehlender Daten zum Schnelligkeits- und Schnellkrafttraining mit dem »RoboWalk[®]-System« ist die Festlegung der geeigneten Trainingsintensität erschwert worden. Hinzu kommt, dass die Probanden über keine Erfahrungen zum Laufen auf dem Laufband verfügten. Das Laufverhalten auf dem Laufband ändert sich bei höheren Geschwindigkeiten im Vergleich zum schnellen Laufen auf dem Boden. Die Schrittfrequenz nimmt ab und die Schrittlänge zu (siehe Gohlitz, Czempas, Hellstern, Moeller, & Jahn, 2014). Daraus resultiert eine längere Flugzeit, die im Endeffekt eine höhere erreichbare Geschwindigkeit ermöglicht (Gohlitz, Dreißigacker, & Köhler, 2012).

Schlussfolgerung

Ein maschinenbasiertes Schnellkrafttraining und das Training auf dem RoboWalk[®]-System können für die Steigerung der Schnelligkeitsleistung (z. B. verringerte Bodenkontaktzeit, höhere Maximalgeschwindigkeit), wie in der Studie gezeigt, genutzt werden (Ross et al., 2009). Somit stellt das RoboWalk[®]-System gegenüber dem Schnellkrafttraining eine attraktive und geeignete Alternative zur Variation der Trainingsstimuli dar. Die verbesserten Schnelligkeitsparameter sind dabei vermutlich auf eine ökonomischere Gestaltung der Stützphase zurückzuführen.

Für ähnliche und fortführende Studien müsste über einen längeren Interventionszeitraum des Trainings (6 Wochen zu gering) (Cormie et al., 2010) von ≥ 10 Wochen reflektiert werden. Weiterhin ist die Sprintstrecke auf mindestens 30 besser noch auf 40 m zu verlängern. Die Berücksichtigung des sportlichen Niveaus der Probanden und der Compliance muss erhöht werden. Eine Trainingsdosis von 80 % (RoboWalk-Gruppe = 82,2 % und KT-Gruppe = 83,9 %) innerhalb von 6 Wochen erscheint als nicht ausreichend (Cormie et al., 2010), um positive Effekte zur Steigerung der Sprungkraft auszulösen.



Bei Beachtung dieser Faktoren sollten sich auch deutlichere Effekte der primären Endpunkte und Effekte für die Schnellkraftparameter bei den Sprüngen (Sprunghöhe) sowie bei den sprintspezifischen Schrittmerkmalen (Schrittlänge und –frequenz) ergeben.

7. Literatur

- Ahtiainen, J. P., & Häkkinen, K. (2009). Strength Athletes Are Capable to Produce Greater Muscle Activation and Neural Fatigue During High-Intensity Resistance Exercise Than Nonathletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1129–1134.
- Bachero-Mena, B., & González-Badillo, J. J. (2014). Effects of resisted sprint training on acceleration with three different loads accounting for 5%, 12.5% and 20% of body mass. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 28(10), 2954–2960.
- Beachle, T. R., & Earle, Roger W. (eds.). (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning: Anweisung_T-Test* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Behm, D. G., Drinkwater, E. J., Willardson, J. M., & Cowley, P. M. (2010). The use of instability to train the core musculature. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 35(1), 91–108. doi:10.1139/H09-127
- Beurskens, R., Muehlbauer, T., & Granacher, U. (2015). Association of dual-task walking performance and leg muscle quality in healthy children. *BMC pediatrics*, 15(1), 2. doi:10.1186/s12887-015-0317-8
- Bosco, C., Rusko, H., & Hirvonen, J. (1984). The Effect of Extra-load Conditioning on Muscle Performance in Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18(4), 369–487.
- Brown, N., Holfelder, B., Hauber, C., Schilke, M., Bubeck, D., Brack, R., & Alt, W. (2014). Zusammenhang zwischen RPE und Blutlaktatkonzentration im Krafttraining. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 62(1), 39–48.
- 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. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 24(10), 2715–2722. doi:10.1519/JSC.0b013e3181bf0223
- Büsch, D., & Granacher, U. (2013). *Anwenderhandbuch Y-Balance-Test*. Leipzig: IAT Leipzig.
- Büsch, D., Pabst, J., Mühlbauer, T., Ehrhardt, P., & Granacher, U. (2015). Effekte plyometrischen Trainings unter Verwendung instabiler Untergründe auf sportmotorische Sprung- und Schnelligkeitsleistungen von Nachwuchsleistungshandballern. *Sports Orthopaedics and Traumatology Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie*. doi:10.1016/j.orthtr.2015.07.007
- Cantrell, G. S., Schilling, B. K., Paquette, M. R., & Murlasits, Z. (2014). Maximal strength, power, and aerobic endurance adaptations to concurrent strength and sprint interval training. *European journal of applied physiology*, 114(4), 763–771. doi:10.1007/s00421-013-2811-8
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Influence of Strength on Magnitude and Mechanisms of Adaptation to Power Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(8), 1566–1581. doi:10.1249/MSS.0b013e3181cf818d

- Cross, M. R., Brughelli, M. E., & Cronin, J. B. (2014). Effects Vest Loading Sprint Kinetics Kinematics. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 28(7), 1867–1874.
- Dick, F. W. (1998). Development of Maximum Sprinting Speed. *Track and Field*, 3475–3480.
- Frey, I., & Berg, A. (2002). Physical activity counseling: Assessment of physical activity by questionnaire. *European journal of sport science*, 2(4), 1–6. doi:10.1080/17461390200072406
- Frey, I., Berg, A., Grathwohl, D., & Keul, J. (1999). Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität - Entwicklung, Prüfung und Anwendung. *Sozial- und Präventivmedizin*, 44, 55–64.
- Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(7-8), 223–234.
- h/p/cosmos. (2015). *h/p/cosmos® Systeme für Anwendungen in Sport, Medizin, Therapie und Sportwissenschaft*. Retrieved from <http://www.h-p-cosmos.com/de/anwendungen/index.htm>
- Herman, T., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2009). Treadmill training for the treatment of gait disturbances in people with Parkinson's disease: a mini-review. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996)*, 116(3), 307–318. doi:10.1007/s00702-008-0139-z
- Hohmann, A. (2005). Steuerung sportlicher Spitzenleistungen aus trainingswissenschaftlicher Perspektive. *Leistungssport*, 35(6), 56–62.
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (5th ed.). Wiebelsheim: Limpert.
- Issurin, V. B. (2013). Training transfer: scientific background and insights for practical application. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(8), 675–694. doi:10.1007/s40279-013-0049-6
- Kamandulis, S., Skurvydas, A., Brazaitis, M., Stanislovaitis, A., Duchateau, J., & Stanislovaitiene, J. (2012). Effect of a periodized power training program on the functional performances and contractile properties of the quadriceps in sprinters. *Research quarterly for exercise and sport*, 83(4), 540–545. doi:10.1080/02701367.2012.10599143
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigue muscle. *Journal of Biomechanics*, 35, 1197–1206.
- Krüger, T. (2013). Biomechanische Aspekte in leichtathletischen Disziplinen. In D. Wick (Ed.), *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegungen* (3rd ed., pp. 193–230). Balingen: spitta.
- Labruyère, R., & van Hedel, H. J. (2014). Strength training versus robot-assisted gait training after incomplete spinal cord injury: a randomized pilot study in patients depending on walking assistance. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11(4), 1–12. doi:10.1186/1743-0003-11-4
- Lau, K. W. K., & Mak, M. K. Y. (2011). Speed-dependent treadmill training is effective to improve gait and balance performance in patients with sub-acute stroke. *Journal of rehabilitation medicine*, 43(8), 709–713. doi:10.2340/16501977-0838

- Mangine, G. T., Hoffman Jay R., Gonzalez, A. M., Wells, A. J., Townsend, J. R., Jajtner, A. R., Stout, J. R. (2014). Speed, Force, and Power Values Produced From Nonmotorized Treadmill Test Are Related to Sprinting Performance. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 28(7), 1812–1819.
- Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (1991). *Handbuch Trainingslehre* (1st ed.). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Vol. 100*. Schorndorf: Hofmann.
- Martinopoulou, K., Argeitaki, P., Paradisis, G., Katsikas, C., & Smirniotou, A. (2011). The effects of resisted training using parachute on sprint performance. *Biology of Exercise*, 7(1), 7–23.
- Pauole, K., Madole, K., Garhammer, J., Lacourse, M., & Rozenek, R. (2000). Reliability and Validity of the T-Test as a Measure of Agility, Leg Power, and Leg Speed in College-Aged Men and Women. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 14(4), 443–450.
- Plisky, P. J., Gorman, P. P., Butler, R. J., Kiesel, K. B., Underwood, F. B., & Elkins, B. (2009). The Reliability of an Instrumented Device for Measuring Components of the Star Excursion Balance Test. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 4(2).
- Robertson, R. J., Goss, F. L., Andreacci, J. L., Dubé, J. J., Rutkowski, J. J., Frazee, K. M., Snee, B. M. (2005). Validation of the Childrens OMNI-Resistance Exercise Scale of Perceived Exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), 819–826. doi:10.1249/01.MSS.0000162619.33236.F1
- Robertson, R. J., Goss, F. L., Rutkowski, J., Lenz, B., Dixon, C., Timmer, J., Andreacci, J. (2003). Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(2), 333–341. doi:10.1249/01.MSS.0000048831.15016.2A
- Ross, R. E., Ratamess, N. A., Hoffman Jay R., Faigenbaum, A. D., Knag, J., & Chilakos, A. (2009). Effects Treadmill Sprint Training Resistance Training maximal Running Velocity. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 23(2), 385–394. Retrieved from <http://journals.lww.com/nsca-jscr/pages/articleviewer.aspx?year=2009&issue=03000&article=00007&type=abstract>
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Mohamad, I. N., Mohamad, S., Oliver, J. L., & Hughes, M. G. (2014). The effect of resisted sprint training on maximum sprint kinetics and kinematics in youth. *European journal of sport science*, 1–8. doi:10.1080/17461391.2014.955125
- Schumacher, Y. O. (2007). Erfolg im Spitzenradsport - eine pro- und retrospektive Ranglistenanalyse. *Leistungssport*, 37(5), 23–28.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2001). *Motor Control: Theory and Practical Applications* (2nd edition). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Taylor, M. J., & Beneke, R. (2012). Spring Mass Characteristics of the Fastest Men on Earth. *International journal of sports medicine*, 33(08), 667–670. doi:10.1055/s-0032-1306283



Young, W., Dawson, B., & Henry, G. (2015). Agility and Change-of-Direction Speed are Independent Skills: Implications for Agility in Invasion Sports. *Int J Sports Sci Coaching*, 10(1), 159–169.