

**Der Einfluss von Alter und Aktivität auf die sportliche  
Leistungsfähigkeit am Beispiel der motorischen Fähigkeiten  
Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht im Erwachsenenalter**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Philosophischen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Julia Last

Kiel

2015

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Burkhard Weisser

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Andreas Koch

Tag der mündlichen Prüfung: 04.05.2015

Durch den zweiten Prodekan, Prof. Dr. John Peterson, genehmigt zum Druck am:  
05.05.2015

„Der Mensch bewegt sich nicht weniger, weil er alt wird.

Er wird alt, weil er sich weniger bewegt.

Also beweg' dich!“

(Gustav-Adolf Schur)



## Danksagung

Viele Menschen haben mich auf diesem nicht immer einfachen Weg begleitet und unterstützt. Diesen möchte ich an dieser Stelle danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Burkhard Weisser. Er hat mir mit diesem Forschungsprojekt nicht nur die Möglichkeit zur Promotion gegeben und mich konstruktiv bei der Verwirklichung unterstützt. Vor allem aber hat er mir den Freiraum für eigene Ideen gelassen und zur Verwirklichung derselben beigetragen.

Auch meinem Zweitgutachter, Prof. Dr. Andreas Koch gilt mein herzlicher Dank für seine konstruktive Unterstützung.

Der gesamten Abteilung Sportmedizin danke ich für die letzten Jahre der vertrauensvollen Zusammenarbeit und vor allem für die Unterstützung bei den Untersuchungen dieses Projekts. Insbesondere Christine Voigt-Landsiedel und Jutta Noffz haben maßgeblich zur Verwirklichung dieser Arbeit beigetragen und mich nicht nur fachlich unterstützt und begleitet.

Frau Claudia Hacke möchte ich für die Unterstützung in allen statistischen Angelegenheiten ganz herzlich danken.

Allen Probanden und Studierenden danke ich für ihre Teilnahme und die Unterstützung zur Realisierung dieser Arbeit.

Ohne den Rückhalt meiner Familie, meiner kleinen und meiner großen Familie, wäre ich heute nicht da, wo ich jetzt stehe. Ihr habt mich unterstützt, mich ertragen und mir den nötigen Antrieb gegeben.

**Danke!**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	VII
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	X
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	XII
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	XIII
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Motorische Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter</b> .....	5
2.1 Alter versus Altern .....	9
2.2 Sportliche Aktivität .....	10
2.3 Geschlechtsspezifische und konstitutionsbedingte Einflussfaktoren .....	12
<b>3 Motorische Fähigkeiten</b> .....	15
3.1 Ausdauer .....	16
3.1.1 Definition und Erscheinungsformen.....	16
3.1.2 Ausdauerleistungsfähigkeit.....	18
3.1.3 Energiebereitstellung.....	19
3.2 Kraft.....	21
3.2.1 Definition und Erscheinungsformen.....	21
3.2.2 Isometrische Maximalkraft .....	23
3.2.3 Morphologische Grundlagen.....	24
3.3 Gleichgewicht .....	25
3.3.1 Definition und Erscheinungsformen.....	25
3.3.2 Gleichgewichtsregulation.....	27
<b>4 Publikationen</b> .....	31
4.1 Synopse der Fragestellungen der Publikationen.....	31

<b>4.2</b>	<b>Der Einfluss von moderater körperlicher Aktivität und Alter auf Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht im Erwachsenenalter .....</b>	<b>33</b>
4.2.1	Zusammenfassung und Schlüsselwörter .....	34
4.2.2	Summary and Keywords .....	35
4.2.3	Einleitung.....	36
4.2.4	Material und Methoden.....	37
4.2.5	Ergebnisse .....	39
4.2.6	Diskussion.....	41
4.2.7	Abbildungen .....	46
4.2.8	Tabelle .....	49
4.2.9	Literatur.....	51
<b>4.3</b>	<b>The impact of age and physical activity on motor performances.....</b>	<b>55</b>
4.3.1	Zusammenfassung deutsch.....	56
4.3.2	Abstract .....	59
4.3.3	Introduction.....	60
4.3.4	Methods .....	61
4.3.5	Results .....	63
4.3.6	Discussion.....	64
4.3.7	Tabellen.....	67
4.3.8	References.....	70
<b>4.4</b>	<b>Belastungssteuerung und körperliche Aktivität in der Lebensspanne .....</b>	<b>73</b>
4.4.1	Zusammenfassung und Schlüsselwörter .....	74
4.4.2	Einleitung.....	76
4.4.3	Methode.....	78
4.4.4	Ergebnisse .....	80



4.4.5	Diskussion.....	81
4.4.6	Tabellen.....	85
4.4.7	Literatur.....	89
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>97</b>
	Lebenslauf .....	109

## Abkürzungsverzeichnis

AMA	<i>American Medical Association</i>
ANCOVA	Analysis of covariance
ATP	Adenosintriphosphat
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DZSM	Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin
GEDA	Gesundheit in Deutschland aktuell
h	Stunde (lat. hora)
H <sub>2</sub> O	Wasser
INT J Sports Med	International Journal of Sports Medicine
kcal	Kilokalorie
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
MET	Metabolic Equivalent of Task
MODALIS	Motor Development Across the Life Span
MW	Mittelwert
N	Anzahl
Nm	Newtonmeter
n.s.	nicht signifikant
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PAR-Q	Physical activity readiness questionnaire
PLa4.0	Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/-Laktatschwelle
PWC	Physical working capacity
RKI	Robert Koch-Institut
RPE	Rating of Perceived Exertion

SD	Standardabweichung
VO <sub>2</sub> max	Maximale Sauerstoffaufnahme
WHO	World Health Organisation

## Abbildungsverzeichnis

Die Abbildungsbeschriftung in Klammern entspricht den Beschriftungen der jeweiligen Publikation.

<i>Abbildung 1.</i> Übersicht zu den die motorische Leistungsfähigkeit mitbestimmenden Fähigkeiten. ....	6
<i>Abbildung 2.</i> Strukturmodell der koordinativen Fähigkeiten. ....	16
<i>Abbildung 3.</i> Arbeitsweisen der Muskulatur .....	22
<i>Abbildung 4.</i> Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Erscheinungsformen der Kraft.....	23
<i>Abbildung 5 (Abbildung 1).</i> Körpergewichtsbezogene Leistung an der 4 mmol/l-Laktatschwelle in Watt/kg Körpergewicht (rechnerisch korrigiert für Geschlecht und Gewicht). ....	46
<i>Abbildung 6 (Abbildung 2).</i> Isometrische Maximalkraft der Armbeugemuskulatur in Nm (rechnerisch korrigiert für Geschlecht und Gewicht). ....	47
<i>Abbildung 7 (Abbildung 3).</i> Isometrische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur in Nm (rechnerisch korrigiert für Geschlecht und Gewicht). ....	48
<i>Abbildung 8 (Abbildung 4).</i> Vergleich der Gleichgewichtsleistungsfähigkeit in der Frontalebene bei sportlich Aktiven und sportlich Inaktiven im Erwachsenenalter (rechnerisch korrigiert für Geschlecht und Gewicht) .....	49

## Tabellenverzeichnis

Die Tabellenbeschriftung in den Klammern entspricht der Tabellenbeschriftung in der jeweiligen Publikation.

<i>Tabelle 1.</i> Entwicklungsphasen in der Ontogenese des Menschen und deren motorische Kennzeichnung .....	8
<i>Tabelle 2</i> (Tabelle 1). Charakterisierung der Gesamtstichprobe sowie der Stichprobe, die den Ausdauerstest absolviert hat. Als statistische Kenngrößen sind Häufigkeiten (N), sowie Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD±) dargestellt.....	50
<i>Tabelle 3</i> (Tab 1). Effects of age, physical activity, body size, gender and body weight on aerobic capacity at the 4mmol/threshold. ....	67
<i>Tabelle 4</i> (Tab 2). Effects of age, physical activity, body size, gender and body weight on maximum isometric strength of the arm flexors.....	68
<i>Tabelle 5</i> (Tab 3). Effects of age, physical activity, body size, gender and body weight .... on maximum isometric strength of the leg extensors. ....	68
<i>Tabelle 6</i> (Tab 4). Effects of age, physical activity, body size, gender and body weight on balance ability.....	69
<i>Tabelle 7</i> (Tabelle 1). Borg-Skala des subjektiven Belastungsempfindens (modifiziert nach Borg, 1998; Borg, 2004) .....	85
<i>Tabelle 8</i> (Tabelle 2). Charakterisierung der Gesamtstichprobe.....	86
<i>Tabelle 9</i> (Tabelle3). Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0. ....	86
<i>Tabelle 10</i> (Tabelle 4). Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130.....	87
<i>Tabelle 11</i> (Tabelle5). Darstellung der univariaten Varianzanalyse der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC 130 zwischen den 20-30-Jährigen und den 60-70-Jährigen. ....	88
<i>Tabelle 12</i> (Tabelle 6). Darstellung der univariaten Varianzanalyse der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC 130 nach Altersklassen.....	88



## 1 Einleitung

Der medizinische Fortschritt, eine verbesserte medizinische Versorgung, aber auch gezielte Präventions- und Förderungsprogramme lassen die Menschen in der Bundesrepublik Deutschland immer älter werden. Im Jahr 2008 betrug der prozentuale Anteil der Bevölkerung der 65 Jahre Alten oder Älteren ca. 20%. Laut Berechnungen des statistischen Bundesamtes wird diese Zahl im Jahr 2060 auf 34% ansteigen. Dies bedeutet, dass jeder dritte Deutsche im Jahr 2060 mindestens 65 Jahre oder älter sein wird, jeder siebte Deutsche wird dann 80 Jahre oder älter sein (Statistisches Bundesamt, 2009). Eine gleichzeitige niedrige Geburtenhäufigkeit führt zu gravierenden Änderungen in der Altersstruktur der Bundesrepublik Deutschland.

Doch ein Mehr an Lebensjahren bedeutet nicht zwangsläufig auch eine Zunahme an Lebensqualität im Alter. Vielmehr steigt mit zunehmendem Lebensalter das individuelle Risiko zu erkranken. Neben den sogenannten Zivilisationskrankheiten sind es vor allem chronische Erkrankungen des kardiovaskulären, des metabolischen oder des muskuloskelettalen Systems, die nicht nur die subjektive Lebensqualität einschränken sondern auch das sozioökonomische System erheblich belasten (Predel & Tokarski, 2005). Ist im jungen Erwachsenenalter nur jeder Fünfte von einer chronischen Erkrankung betroffen, sind ab einem Alter von 65 Jahren mehr als die Hälfte aller Menschen chronisch erkrankt (Fuchs, Busch, Lange & Scheidt-Nave, 2012). Bluthochdruck, Hypercholesterinämie, chronische Rückenschmerzen, Adipositas und Arthrose dominierten die Auflistung der mit dem Alter zunehmenden Gesundheitsprobleme. Epidemiologische Daten verdeutlichen, dass die Gesundheitskosten und vor allem die Behandlungskosten steigen, die Belastbarkeit älterer Menschen jedoch abnimmt (McArdle, Katch, F.I. & Katch, V.L., 2010) In Deutschland stiegen die Gesundheitskosten im Jahr 2012 erstmalig über 300 Milliarden Euro an (Statistisches Bundesamt, 2012).

Vor dem Hintergrund erhöhter Lebensarbeitszeiten, dem Anstieg der Prävalenz altersbedingter Erkrankungen und den damit verbundenen Gesundheitskosten lässt der

demographische Wandel als gesellschaftliches Problem die körperliche Leistungsfähigkeit und insbesondere den Erhalt und die Wiederherstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter immer bedeutender werden (Weisser, Preuß & Predel, 2009). Für das Individuum bedeutet der Erhalt und die Wiederherstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit die Voraussetzung, dem großen Wunsch im Alter „körperlich und geistig fit“ zu bleiben, nachkommen zu können und möglichst lange und aktiv am gesellschaftlichen Leben teilzunehmen (Werle, Woll & Tittlbach, 2006).

Viele körperliche Leistungseinschränkungen ab dem mittleren Lebensalter werden allein auf den biologischen Alterungsprozess zurückgeführt. Das Altern als biologischer Prozess und eine damit verbundene Leistungsminderung sind nicht aufzuhalten. Für eine verminderte körperliche Leistungsfähigkeit ab dem mittleren Lebensalter sind jedoch häufig ungünstige Alltagsgewohnheiten und vor allem Bewegungsmangel und nicht das Alter die Ursache (Leyk et al., 2006; Leyk et al., 2008; Leyk et al., 2010).

Obwohl sportliche Inaktivität als einer der wichtigsten gesundheitlichen Risikofaktoren gilt und die positiven Aspekte sportlicher Aktivität in Bezug auf die Verminderung von Risikofaktoren und chronischen Erkrankungen wie Osteoporose, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Übergewicht sowie Diabetes mellitus hinlänglich bekannt sind (Bonaiuti et al., 2002; Jeschke & Zeilberger, 2004; Lakka & Bouchard, 2005; Oster, Pfisterer, Schuler & Hauer, 2005; Predel & Tokarski, 2005; Rüfer et al., 2014; Tarumi et al., 2013; Weisser, Preuss & Predel, 2009), steigt die Tendenz der Sportabstinenz mit zunehmendem Alter. Weniger als ein Viertel der Erwachsenen treiben mehr als zwei Stunden Sport in der Woche (Krug et al., 2013). Dabei ist das Risiko, durch sportliche Inaktivität zu erkranken, bei Weitem höher als durch sportliche Aktivität zu Schaden zu kommen. Dennoch gilt, je älter ein Mensch wird, desto individueller und fundierter sollte sein Training gestaltet werden (Rüfer et al., 2014). Nicht nur im rehabilitativen Bereich, sondern vor allem im gesundheitsorientierten Breitensport sind eine qualifizierte Anleitung und Trainingsbetreuung daher notwendig. Auch wenn jeder körperlichen Aktivität ab dem mittleren Erwachsenenalter eine qualifizierte ärztliche



Untersuchung zur Erkennung von Kontraindikatoren und Bestimmung von Belastungsintensitäten vorangehen sollte (Weisser & Okonek, 2003), sind diese arbeits- und kostenaufwendigen Untersuchungen nicht immer realisierbar.

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, die relativen Einflüsse von sportlicher Aktivität bzw. Inaktivität und Alter auf die körperliche Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter zu untersuchen. Dazu wurden die isometrische Maximalkraft, die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit und die Gleichgewichtsfähigkeit einem aktivitäts- und altersbedingten Vergleich unterzogen. Gleichzeitig wurde das subjektive Belastungsempfinden als Instrument der Belastungssteuerung und Leistungsdiagnostik vor dem Hintergrund Alter, Geschlecht und sportlicher Aktivität analysiert. Der publikationsbasierten Dissertation liegen folgende drei Publikationen zu Grunde, die den oben genannten Zielstellungen nachgehen.

Gedruckt mit freundlicher Genehmigung der Autoren und der Deutschen Zeitschrift für Sportmedizin:

**Last, J., Weisser, B.** Der Einfluss von moderater sportlicher Aktivität und Alter auf Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht im Erwachsenenalter. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 66 (1), 5-11.  
DOI: 10.5960/dzsm.2014.160

**Last, J., Weisser, B.** The impact of age and physical activity on motor Performances (im Revisions-Verfahren).

**Last, J., Weisser, B.** Belastungssteuerung und körperliche Aktivität in der Lebensspanne - Ein Vergleich subjektiven Belastungsempfindens mit objektiven kardialen und metabolischen Parametern (im Revisions-Verfahren).

Nach einem Überblick über den theoretischen Hintergrund und die Methoden der zugehörigen Untersuchungen, werden die drei Publikationen in einzelnen Kapiteln dargestellt. Anschließend werden die drei Publikationen noch einmal abschließend betrachtet und ein weiterer Forschungsausblick gegeben.



## 2 Motorische Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter

Im Folgenden wird der theoretische Hintergrund der Arbeit näher betrachtet und ein Überblick über die motorische Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter gegeben. Im Fokus der Betrachtungen stehen hierbei, neben den Definitionen der wichtigsten Begrifflichkeiten, die Problematik Alter vs. Altern, mögliche Einflussfaktoren auf die motorische Leistungsfähigkeit sowie die Betrachtung der in dieser Arbeit untersuchten motorischen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht.

Die motorische Leistungsfähigkeit als komplexe Form der motorischen Fähigkeiten stellt einen allgemeinen motorischen Status dar. Es ist „bisher weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene gelungen, zu einer einheitlichen Schematisierung [...] hinsichtlich der körperlichen Eigenschaften und Beanspruchungsformen zu gelangen“ (Hollmann & Strüder, 2009). In der Sportwissenschaft hat sich als theoretische Grundlage zur Beschreibung der motorischen Leistungsfähigkeit, bzw. der motorischen Fähigkeiten<sup>1</sup> der fähigkeitsorientierte Ansatz von Gundlach etabliert (Bös, 2003; Gundlach, 1968; Starker et al., 2007). Nach dem fähigkeitsorientierten Ansatz lassen sich die motorischen Fähigkeiten in erster Linie in konditionelle und koordinative Fähigkeiten unterscheiden (Gundlach, 1968). Ergänzt werden die konditionellen und koordinativen Fähigkeiten durch die passiven Systeme der Energieübertragung, die die Eigenschaften der Gelenke und des Skelettsystems charakterisieren und als Beweglichkeit bezeichnet werden (Bös, 2001). Auf einer zweiten Ebene werden den konditionellen und koordinativen Fähigkeiten die Grundeigenschaften Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit und Koordination zugeordnet. Diese werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit gesondert betrachtet.

---

<sup>1</sup> Neben dem Begriff der motorischen Eigenschaften sind körperliche/motorische Fähigkeiten, körperliche Eigenschaften, motorische Grundeigenschaften sowie motorische Hauptbeanspruchungsformen weitere synonym gebräuchliche Bezeichnungen für den Begriff der motorischen Fähigkeiten.

Abbildung 1 verdeutlicht die Komplexität der motorischen Leistungsfähigkeit mit idealtypischer Differenzierung der motorischen Fähigkeiten ergänzt um die Beweglichkeit.

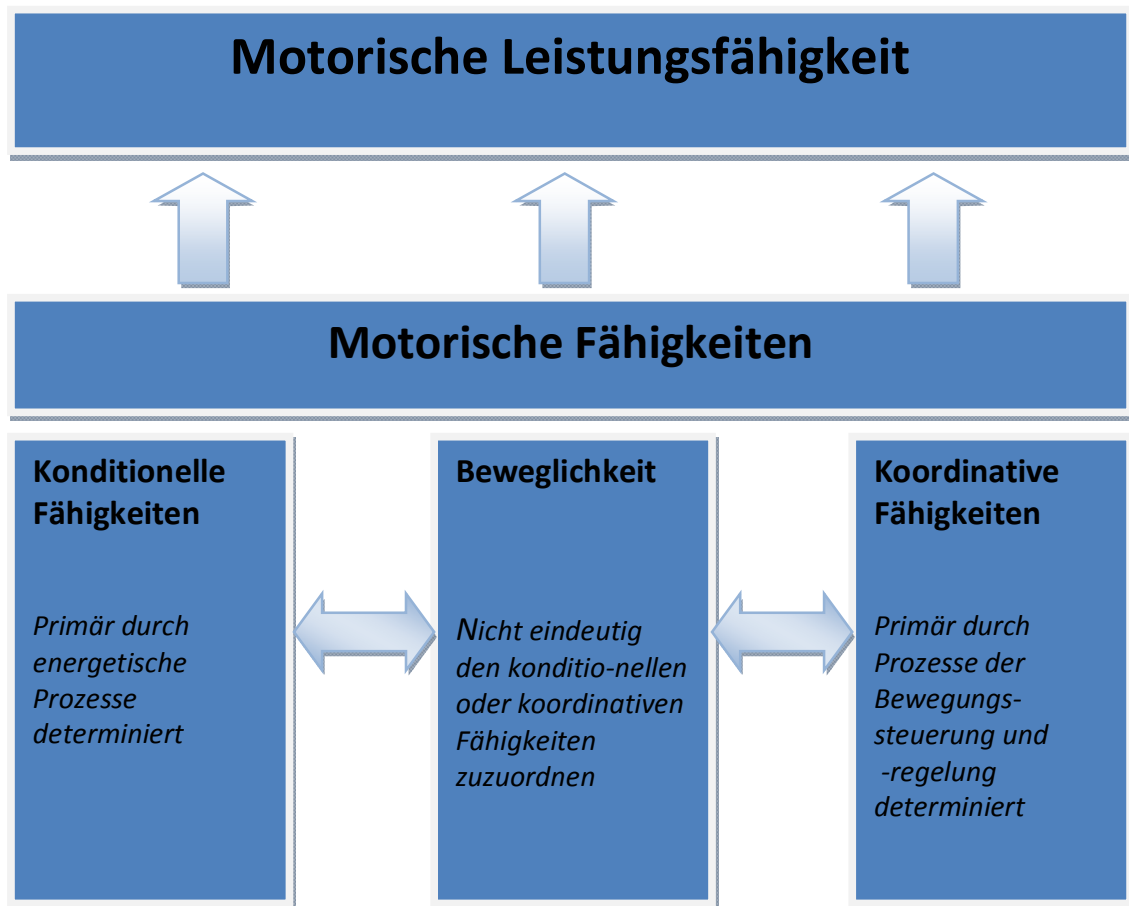


Abbildung 1. Übersicht zu den die motorische Leistungsfähigkeit mitbestimmenden Fähigkeiten (modifiziert nach Meinel und Schnabel, 2007, S.213).

Die motorischen Fähigkeiten umfassen demnach „die Gesamtheit der Strukturen und Funktionen, die für den Erwerb und das Zustandekommen von sportbezogenen Bewegungshandlungen verantwortlich sind“ (Bös, 2001). Qualität und Ausprägung motorischer Fähigkeiten bilden dabei die Ursache für die Qualität der beobachtbaren Bewegungsfertigkeiten (wie z.B. Fangen und Werfen) (Bös, 2001). Die Querverbindungen in der Abbildung verdeutlichen die wechselseitige Beziehung

zwischen den verschiedenen Fähigkeiten. Auch Carl (2003) stellt fest, dass in der Trainingslehre diese Unterteilung zwar getroffen wird, die einzelnen Eigenschaften jedoch aufgrund ihrer generell gegebenen Komplexität unterschiedlich von energetischen und informationsorientierten Prozessen und Körperbaumerkmalen abhängen.

Lange Zeit wurde die motorische Entwicklung bzw. Leistungsfähigkeit mit stark idealisierten Modellkurven dargestellt (Weiss, 1978). Der Aussagewert dieser Modellkurven ist jedoch begrenzt, die unterschiedlichen Entwicklungen der einzelnen motorischen Fähigkeiten werden hierbei nicht dargestellt (Willimczik, Voelcker-Rehage & Wiertz, 2006).

Nach einem starken Anstieg der Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter folgt eine flachere Anstiegsphase im frühen Erwachsenenalter bis zu einem Plateau, das meist bei 30-40 Jahren je nach Trainingszustand liegt, dem folgt der in der Literatur immer wieder diskutierte lineare Abfall der motorischen Leistungsfähigkeit (Weiss, 1978). Aktuelle Forschungsergebnisse der MODALIS-Studie (2006) belegen den Anstieg der Leistungskurve im Kindes- und Jugendalter mit einem Maximum zwischen 15 und 29 Jahren, für Trainierte zwischen 20 und 34 Jahren. Die Abnahme der motorischen Leistungsfähigkeit ist jedoch nicht so stark und auch nicht linear wie im Modell verzeichnet, vielmehr ist eine sich annähernde Plateaubildung zwischen dem 54. und 64. Lebensjahr unabhängig vom Geschlecht zu erkennen (Willimczik, Voelcker-Rehage & Wiertz, 2006).

Bis in die 90er Jahre des letzten Jahrhunderts diente hauptsächlich das kalendarische Alter als Bezugsgröße zur Beschreibung und Erklärung für motorische Veränderungen von Elementarfunktionen sowie Fähigkeiten und Fertigkeiten. Diese Betrachtungsweise ist neueren Forschungsansätzen gewichen, die betonen, dass eine ausschließliche Betrachtung von endogen gesteuerten Phasen nicht ausreichend ist. Vielmehr zeigt sich, dass auch körperliche und motorische Entwicklung in wechselseitiger Beziehung zur Umwelt stehen (Baur, Bös, Conzelmann, & Singer, 2009; Wollny, 2007). Eine mit dem Alter steigende interindividuelle Variabilität der motorischen Leistungsfähigkeit zeigt,

dass ältere Trainierende durchaus mit jüngeren Nichttrainierenden ähnliche Leistungswerte aufweisen können (Winter & Hartman, 2007).

Diese Vielzahl von Einflussfaktoren sowie die unterschiedlichen Verläufe der motorischen Entwicklung machen eine Klassifizierung von Entwicklungsphasen anhand des chronologischen Alters schwierig und beinahe unbrauchbar (Winter & Hartman, 2007; Wollny, 2007).

So stellt das Lebensalter nach moderner Verhaltensforschung keine psychologische Variable, sondern eine physikalische Trägervariable dar, die keine eigenständige erklärende Funktion für Veränderungsverläufe besitzt (Wollny, 2007).

Dennoch werden Klassifizierungs- und Systematisierungsversuche aus Gründen der Übersichtlichkeit und Orientierung immer wieder unternommen. Die Vielzahl sowie die Unterschiede dieser Versuche spiegeln sich in den verschiedenen Inhalten, Zeiteinteilungen und Terminologien wieder (Winter & Hartman, 2007). Die Phaseneinteilung nach Winter hat sich in der Sportwissenschaft durchgesetzt und ist in der nachfolgenden Tabelle abgebildet.

*Tabelle 1.* Entwicklungsphasen in der Ontogenese des Menschen und deren motorische Kennzeichnung (modifiziert nach Winter, R. & Hartman, C., 2007).

<b>Frühes Erwachsenenalter</b>	Relative Erhaltung der motorischen Leitungsfähigkeit	18./20. bis ca. 30. Lebensjahr
<b>Mittleres Erwachsenenalter</b>	Allmähliche motorische Leistungsminderung	30. bis ca. 45./50. Lebensjahr
<b>Spätes Erwachsenenalter</b>	Verstärkte motorische Leistungsminderung	45./50. bis 60./70. Lebensjahr
<b>Späteres Erwachsenenalter</b>	Ausgeprägte motorische Leistungsminderung	ab 60./70. Lebensjahr

Das Erwachsenenalter beträgt demnach knapp 50 Lebensjahre und umfasst die Phasen der relativen Erhaltung einer voll ausgeprägten Motorik bis zu einer allmählichen und verstärkten und ausgeprägten motorischen Leistungsminderung.

## 2.1 Alter versus Altern

Auf die Schwierigkeit der Alterseinteilung wurde bereits eingegangen. Um das Alter bzw. das Altern beschreiben zu können, wird zwischen chronologischem und kalendarischem Alter unterschieden. Das kalendarische Alter stellt lediglich den Altersverlauf auf einer Verhältnisskala in Jahren seit der Geburt dar (Martin & Kliegel, 2005). Dies dient einer einfachen Erfassung der tatsächlichen Lebenszeit, sagt jedoch nur wenig über den tatsächlichen altersbedingten Entwicklungsstand des Einzelnen aus. Das biologische oder auch individuelle Alter beschreibt hingegen das tatsächliche Fortschreiten des biologischen Alter(n)prozesses im Vergleich zu einer idealtypischen Norm (Clemens, 2001). Hier können erhebliche interindividuelle Unterschiede in psychologischen Bereichen, kognitiven Funktionen und der körperlichen Leistungsfähigkeit vorliegen.

Jeder höhere Organismus ist einem natürlichen Alterungsprozess ausgesetzt. Die Gerontologie, die Wissenschaft vom Altern, befasst sich mit den Prozessen, die das Altern des Körpers bedingen und welche äußeren Faktoren beim Altern eine Rolle spielen (Baltes & Baltes, 1994). Die Vielzahl an Alter(n)stheorien macht die Komplexität und Vielschichtigkeit des Alterungsprozesses deutlich. Es wird unterschieden zwischen *epiphänomenalen*, durch äußere Einflüsse bedingte, und *fundamentalen*, durch innere Einflüsse bedingte, Alternstheorien. Weiterhin können die fundamentalen Theorien in stochastische und deterministische Alternstheorien aufgeteilt werden.<sup>2</sup> Die genauen Abläufe und Mechanismen, die für das Altern verantwortlich sind und dieses beeinflussen, sind bis heute jedoch nicht gänzlich entschlüsselt. Beim menschlichen Organismus werden im Alterungsprozess exogene Veränderungen wie z.B. die Veränderung von Haut und Haar, sowie endogene Veränderungen wie den Rückgang

---

<sup>2</sup> Zum weiteren Verständnis nachzulesen bei Prinzinger (1996), Spirduso, Francis & MacRae (2005) und Dickhuth (2011).

der kognitiven und körperlichen Leistungsfähigkeit sowie die Verlangsamung des Stoffwechsels deutlich (Dickhuth, 2011). Jedoch ist zwischen altersbedingten Verlusten der Leistungsfähigkeit und lebensstilbedingten Verlusten der Leistungsfähigkeit nur schwer zu unterscheiden. Individuelle Lebensstilmuster spielen beim Alterungsprozess eine entscheidende Rolle, welche mit fortschreitendem Alter durch Verhaltensänderungen teilweise reversibel sind (Leyk et al., 2010; Vandervoort, 2002). Zwar kann die sportliche Aktivität die biologischen Grenzen des Alterns nicht überwinden, dennoch bietet sie die Möglichkeit innerhalb dieser gegebenen Grenzen die Anpassungsreserve des Körpers auszuschöpfen und den Eintritt der Morbidität im Sinne einer Unterschreitung der Funktionsreserven hinauszuzögern (Hollmann & Strüder, 2009; Jeschke & Zeilberger, 2004; Schlicht & Brand, 2007). Auf die Rolle der sportlichen Aktivität als möglicher Einflussfaktor auf die motorische Leistungsfähigkeit wird im Folgenden näher eingegangen.

## **2.2 Sportliche Aktivität**

„Sportliches Training ist ein komplexer Handlungsprozess, der auf die planmäßige Entwicklung bestimmter sportlicher Leistungszustände und deren Präsentationen in sportlichen Bewährungssituationen, speziell im sportlichen Wettkampf, ausgerichtet ist.“ (Martin, Lehnertz & Carl, 2001, S. 16). Andere Autoren merken an, dass durch eine Fokussierung auf die Bewährungssituation bzw. den sportlichen Wettkampf die Leistungssteigerung zentraler Aspekt ist. Sportliches Training kann neben der Leistungssteigerung jedoch auch anderen Zielsetzungen folgen, wie z.B. den Leistungserhalt oder auch gar eine verlangsamte Leistungsreduktion (Olivier, Büsch & Marschall, 2008).

Das sportliche Training, bzw. der Trainingseffekt, wird durch die Anpassungsfähigkeit des Menschen an seine Umwelt möglich gemacht. Als biologische Anpassung im Sport bezeichnet man jene Veränderungen von Organen und Funktionssystemen, die sich unter Einwirkung psychophysischer und sportlicher Aktivität auf Grundlage der



Homöostasestörung einstellen (Hottenrott & Neumann, 2010). Diese Adaptationseffekte begründen sich auf dem Prinzip der optimalen Relation von Belastung und Erholung. Nach einer Belastung werden demnach die entleerten Energiespeicher nicht nur aufgefüllt, nach dem Prinzip der Superkompensation erfolgt ein Aufbau von Energiepotentialen, welcher über das ursprüngliche Ausgangsniveau hinausgeht. Wird jedoch in dieser Superkompensationsphase kein neuer Reiz gesetzt, kann das Trainingsniveau nicht ansteigen, vielmehr kommt es zu einer Stagnation der Leistungsfähigkeit (Weineck, 2008). Es ist hierbei zu erwähnen, dass die unterschiedlichen physiologischen Teilsysteme ihre Höhepunkte der Superkompensation aufgrund der divergierenden Regenerationszeiten zu unterschiedlichen Zeitpunkten erreichen (Prohl & Scheid, 2009). Nach aktuellem Forschungsstand konnte die Superkompensation für die Glykogenspeicherung, den Proteinab- und Proteinneuaufbau sowie die Enzymkonzentration des aeroben und anaeroben Stoffwechsels nach etwa zwei bis drei Tagen nachgewiesen werden (Hohmann, Lames, & Letzelter, 2007). Die Regenerationszeit der Proteine Aktin und Myosin beträgt nach Weineck ebenfalls zwei Tage (Weineck, 2008). Doch nicht nur die Relation von Belastung und Erholung ist für einen Trainingseffekt entscheidend, auch die quantitativen Parameter wie Intensität, Dauer und Häufigkeit von Belastungen spielen eine entscheidende Rolle (Winter, & Hartman, 2007; Wollny, 2007). Körperliche Aktivität ist erst dann gesundheitlich wirksam, wenn sie strukturiert, geplant, zielgerichtet und regelmäßig durchgeführt wird (Predel & Tokarski, 2005). Aus gesundheitswissenschaftlicher Sicht wird ein gesundheitlicher Vorteil erst ab einem Kalorienverbrauch von 780 Kcal/Woche feststellbar, was einer sportlichen Belastung von 2 Stunden pro Woche entspricht (Tittlbach, Bös, Woll, Jekauc, & Dugandzic, 2005).

Körperliche Inaktivität gilt heutzutage als gesicherter gesundheitlicher Risikofaktor. In Amerika wird körperliche Inaktivität für 30% aller Todesursachen, hervorgerufen durch Herz-Kreislaufkrankungen, Darmkrebs und Diabetes, verantwortlich gemacht (McArdle, Katch, F.I. & Katch, V.L., 2010). Ähnliche Zahlen werden auch für Deutschland vermutet (Predel & Tokarski, 2005). Laut des telefonischen Gesundheitssurveys (GEDA) des Robert Koch Instituts (RKI) ist die Bevölkerungsgruppe der über 65-Jährigen die

sportlich inaktivste Gruppe (Robert Koch-Institut, 2011). Dies spiegelt aktuelle Untersuchungen wieder, wonach die sportliche Aktivität mit zunehmendem Alter abnimmt. Weniger als die Hälfte aller Deutschen treibt demnach mehr als zwei Stunden Sport in der Woche (Rütten, 2005). Regelmäßige sportliche Aktivität gilt als eine der wichtigsten Präventionsmaßnahmen zur Vorbeugung chronischer Erkrankungen des kardiovaskulären, metabolischen Systems sowie des Stütz- und Bewegungsapparates (Jeschke & Zeilberger, 2004). Aber auch die funktionale Gesundheit wird durch sportliche Aktivität positiv beeinflusst. Dies bedeutet, auch im höheren Lebensalter selbständig funktionale Dinge des Alltags durch eine gute motorische Leistungsfähigkeit absolvieren zu können und mit unvorhergesehenen Situationen, wie z.B. das Stolpern in Form einer Sturzprophylaxe umgehen zu können (Kruse, 2007). Vor allem im sportlichen Bereich ist es für ältere sportlich Inaktive möglich, durch systematische körperliche Aktivität ihre Leistungsfähigkeit zu verbessern und ein Niveau von untrainierten Jüngeren zu erreichen (Wollny, 2007).

Neben den erwähnten Einflussfaktoren Alter und Aktivität sind vor allem geschlechtsspezifische und konstitutionelle Unterschiede im Zusammenhang mit den Einflussfaktoren der motorischen Leistungsfähigkeit zu erwähnen, auf die im folgenden Kapitel näher eingegangen wird.

### **2.3 Geschlechtsspezifische und konstitutionsbedingte Einflussfaktoren**

In vielen Sportarten haben Frauen lange Zeit nicht nur eine Diskriminierung erfahren, auch wurden leistungsphysiologische Erkenntnisse oftmals nur aus untersuchten Männerpopulationen abgeleitet (Neumann & Hottenrott, 2009). Die Beachtung geschlechtsspezifischer Unterschiede im Training, aber auch gleichberechtigte Trainings- und Fördermöglichkeiten für Frauen lassen und ließen die sportlichen Leistungen von Frauen deutlich ansteigen und sich den Leistungen der Männer immer weiter annähern. Wissenschaftler der Universität Oxford veröffentlichten im Jahr 2004 eine Studie in der sie belegten, dass Frauen bei den Olympischen Spielen im Jahr 2156

über die Distanz von 100m schneller sein würden als Männer (Tatem, Guerra, Atkinson & Hay, 2004). Es handelte sich hierbei jedoch lediglich um eine mathematische Prognose, die die geschlechtsspezifischen biologischen Unterschiede nicht beachtet hat.

Während Alfermann (2009) bereits in der vorpuberalen Entwicklung von Leistungsunterschieden der Geschlechter spricht, weisen Bös und Schneider (2006) die Unterschiede in der vorpuberalen Phase bezüglich konditioneller und koordinativer Fähigkeiten als gering oder zu vernachlässigen aus (Alfermann, 2009; Bös & Schneider, 2006). Mit Einsetzen der Pubertät und den vermehrt gebildeten Sexualhormonen werden die Leistungsunterschiede deutlich größer. Doch nicht nur die Sexualhormone sind für die Leistungsunterschiede zwischen Männern und Frauen verantwortlich. Auch anatomische und biologische Unterschiede wie z.B. Körpergröße, Gewicht, Körperproportionen und Körperzusammensetzungen führen dazu, dass Frauen im Erwachsenenalter nur über 60-90% der Leistungsfähigkeit der Männer verfügen (Winter & Hartman, 2007). So sind Frauen durchschnittlich 13cm kleiner und 7,16kg leichter als Männer (Marées, 2003), verfügen aber über einen höheren Körperfettanteil und eine geringere Muskelmasse als Männer (Lechleitner, 2013). Bei Frauen beträgt der Anteil an Muskulatur bezogen auf das Gesamtkörpergewicht nur 25-30%, bei Männern 40-45% (Hollmann & Strüder, 2009). In Bezug auf die sportliche Höchstleistungsphase erreichen Frauen diese nicht nur früher (mit ca. 25 Jahren) als Männer (mit ca. 27-29 Jahren), die Phase der Höchstleistungen ist bei Männern auch wesentlich länger ausgeprägt (Wollny, 2007).

Aufgrund einer sich im Alter verringernden Körpergröße von ca. 3cm bei Männern und 5cm bei Frauen und einer Abnahme der Muskelmasse zugunsten des Körperfettanteils zeigen sich vor allem mit fortschreitendem Alter für die Maximalkraft als auch die aerobe Ausdauer deutliche geschlechtsspezifische Altersunterschiede, die zugunsten der Männer ausfallen (Alfermann, 2009; Bös & Schneider, 2006; Han, Tajar & Lean, 2011; Sorkin, Muller, & Andres, 1999; Zamboni et al., 2005). Auch werden die Kraftleistungen von Frauen in den oberen Extremitäten auch bei intensivsten Trainings aufgrund der schmalen Ausbildung des Thorax und einer geringeren relativen Muskelmasse immer um ca. 30% hinter den Kraftleistungen der Männer liegen (Nehrer, 2013).



### 3 Motorische Fähigkeiten

In Kapitel 2.1.1 wurde bereits kurz auf die motorischen Fähigkeiten oder auch Hauptbeanspruchungsformen als komplexe Form der motorischen Leistungsfähigkeit eingegangen. Im Folgenden soll der fähigkeitsorientierte Ansatz nach Gundlach (1968), der die motorischen Fähigkeiten auf einer ersten Ebene in konditionelle und koordinative Fähigkeiten gliedert, weiter betrachtet werden (Abbildung 1).

Konditionelle Fähigkeiten werden überwiegend durch energetische Prozesse determiniert (Roth & Willimczik, 1999). Die konditionellen Fähigkeiten bilden nicht nur die Leistungsvoraussetzung für körperliche und sportliche Bewegungshandlungen, sie sind schließlich aufgrund ihrer Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Organe, der Muskulatur und der Stoffwechsellistung auch leistungsbestimmend (Bös, 2001). Klassischer Weise zählen Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit zu den konditionellen Fähigkeiten. Nach heutigem Kenntnisstand ist eine Zuordnung der Schnelligkeit aufgrund hoher Anteile koordinativer Elemente nicht eindeutig möglich (Bös, 2001; Hirtz, 2007). Auch eine einheitliche Zuordnung der Beweglichkeit ist bis heute nicht möglich. Carl (2003) zählt die Beweglichkeit zu den konditionellen Fähigkeiten, während andere Autoren (Abbildung 1) die Beweglichkeit nicht eindeutig den konditionellen oder koordinativen Fähigkeiten zuordnen oder sie sogar als eigenständige Eigenschaft betrachten (Bös, 2001; Wollny, 2007).

Im Gegensatz zu den konditionellen Fähigkeiten sind die koordinativen Fähigkeiten vorrangig durch Prozesse der Bewegungssteuerung und -regelung bestimmt (Hirtz, 2007; Roth & Willimczik, 1999). Hirtz (2007) unterteilt die koordinativen Fähigkeiten in einem hierarchischen Strukturmodell in sieben Teilfähigkeiten, die der motorischen Lernfähigkeit, der motorischen Steuerungsfähigkeit und der motorischen Anpassungsfähigkeit zugeordnet sind. Das Strukturmodell mit den einzelnen Teilfähigkeiten ist in Abbildung 2 dargestellt.

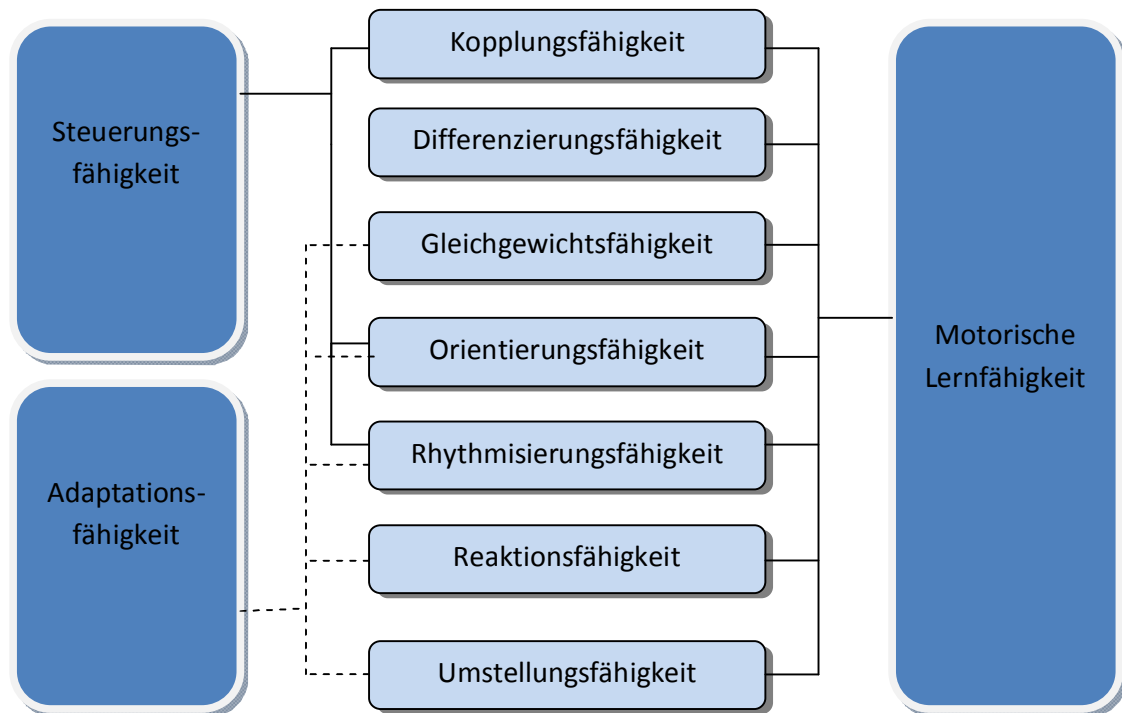


Abbildung 2. Strukturmodell der koordinativen Fähigkeiten (modifiziert nach Weineck, 2009).

Im Folgenden sollen die für die Publikationen dieser Arbeit untersuchten konditionellen und koordinativen Fähigkeiten näher betrachtet werden.

### 3.1 Ausdauer

#### 3.1.1 Definition und Erscheinungsformen

„Ausdauer“ charakterisiert sich durch die Fähigkeit, eine gegebene Leistung über einen möglichst langen Zeitraum durchhalten zu können. Ausdauer ist nach dieser Definition mit der Ermüdungswiderstandsfähigkeit identisch (Hollmann & Strüder, 2009). Der Versuch Ausdauer allein durch Ermüdungswiderstandsfähigkeit zu definieren wurde von anderen Autoren durch die Wiederherstellung des Normalzustandes nach einer Belastung ergänzt (Schnabel, Harre & Krug, 2008).

Tomasits und Haber (2011) beschreiben Ausdauer als „die Fähigkeit der Muskelzelle bei Belastung verbrauchtes ATP zu resynthesisieren“ (Tomasits & Haber, 2011). Anders als in den bereits erwähnten Definitionen, wird hier nicht nur ein Teilaspekt wie z.B. die Ermüdungswiderstandsfähigkeit von Ausdauer beschrieben, vielmehr beinhaltet dieser leistungsphysiologische Definitionsversuch mit seiner Allgemeingültigkeit nahezu alle in der Literatur verwendeten Definitionen (Tomasits & Haber, 2011).

Je nach Umfang der eingesetzten Muskulatur unterscheidet man zunächst zwischen lokaler und allgemeiner Ausdauer. Von allgemeiner Ausdauer wird gesprochen, wenn 1/6 bis 1/7 (mehr als die Muskulatur eines Beines) der gesamten Skelettmuskulatur eingesetzt werden. Jede Arbeit, bei der weniger Muskulatur zum Einsatz kommt, wird als lokale Ausdauer bezeichnet. Die allgemeine Ausdauer wird weiterhin in Kurzzeit-, Mittelzeit-, und Langzeitausdauer unterteilt, wobei die Langzeitausdauer in weitere Stufen untergliedert werden kann (Hollmann & Strüder, 2009; Schnabel, Harre & Krug, 2008).

Auf einer weiteren Ebene wird je nach Energiebereitstellung zwischen aerober und anaerober Ausdauer differenziert. Bei der aeroben Ausdauer ist eine vollständige oxidative Verstoffwechslung der Energieträger durch ausreichend zur Verfügung stehenden Sauerstoff möglich. Bei der anaeroben Ausdauer ist die Belastungsintensität so hoch, dass die Sauerstoffzufuhr nicht mehr ausreicht, eine oxidative Verbrennung der Energieträger zu gewährleisten. Die Energie wird auf anaerobem Weg bereitgestellt. In der Sportpraxis kommen beide Energiebereitstellungen in den seltensten Fällen in ihrer Reinform vor, vielmehr treten belastungs- und intensitätsabhängige Mischformen der aeroben und anaeroben Energiegewinnung auf. Je höher die Belastung und je kürzer der Belastungsumfang, desto eher stellt sich der Organismus auf eine anaerobe Energiebereitstellung ein. Je länger hingegen eine Belastung bei mittlerer bis geringer Intensität aufrechterhalten werden kann, desto höher ist der Anteil der Energiebereitstellung auf aeroben Weg. Besonders der Übergang von aerober zu anaerober Energiegewinnung ist von hoher Bedeutung, da er als Indikator für den Trainingszustand einer Person gesehen werden kann (Hollmann & Strüder, 2009).

Auf einer dritten Ebene wird die Ausdauer nach der Arbeitsweise der Muskulatur in statische oder dynamische Ausdauer klassifiziert. Bei der dynamischen Ausdauer spielen sowohl Muskellängenveränderung als auch Muskelspannungsveränderung eine Rolle. Die statische Ausdauer hingegen wird ausschließlich durch eine Muskelspannungsveränderung ohne Längenveränderung des Muskels charakterisiert (Hollmann & Strüder, 2009).

### *3.1.2 Ausdauerleistungsfähigkeit*

Die sportartspezifische Ausdauerleistungsfähigkeit hängt von der Größe der absoluten bzw. relativen maximalen Sauerstoffaufnahme sowie vom Prozentsatz ihrer Nutzungsmöglichkeit über eine gegebene Zeitdauer und damit von der aeroben-anaeroben Schwelle ab. Gleichzeitig kommen weitere anatomisch-physiologische Einflussfaktoren zu tragen, die leistungsbegrenzend auf die Ausdauerleistungsfähigkeit wirken, wie z.B. das Last-Kraft-Verhältnis, die Qualität der bewegungstypischen Koordination, die Leistungsfähigkeit von Herz, Kreislauf, Atmung, Stoffwechsel und die Zusammensetzung der Skelettmuskulatur nach Fasertypen (Hollmann & Strüder, 2009). Aufgrund des Studiendesigns soll an dieser Stelle ausschließlich auf die allgemeine aerobe Mittelzeitausdauer und die Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Laktatschwelle eingegangen werden.

Die allgemeine Mittelzeitausdauer umfasst eine Belastungsdauer von 10-30 Minuten. Im Gegensatz zur Kurzzeitausdauer sind wesentlich weniger anaerobe Stoffwechselanteile beteiligt. Die maximale Sauerstoffaufnahme/min kann aufgrund der langen Belastungsdauer nicht mehr voll erreicht werden, daher beginnt die aerob-anaerobe Schwelle eine Rolle zu spielen (Hollmann & Strüder, 2009). Gerade der Umschwung von aerober zu anaerober Energiegewinnung gibt Aufschluss über den Trainingszustand und lässt sich über den Laktatgehalt im Blut und im Gewebe feststellen. Sauerstoffaufnahme und Laktatwerte stehen eng in Relation.



Bei Trainierten setzt die Laktatbildung erst bei einer höheren Sauerstoffaufnahme ein. Untrainierte weisen daher im Vergleich zu Trainierten bei gleicher Belastung geringere Laktatwerte auf (Bachl, 2010; Hollmann & Strüder, 2009). Die Leistungsdiagnostik im Ausdauerbereich mittels Laktatwert bietet im Gegensatz zur maximalen Sauerstoffaufnahme besonders für Untrainierte Vorteile, da Untrainierte nicht an ihre maximalen Leistungsgrenzen gehen müssen. Zusätzlich werden Untrainierte bei einer submaximalen Belastung nicht mit koordinativen Anforderungen der Ergometrie überfordert. Und auch für trainierte Ausdauersportler, bei denen sich die  $VO_2\text{max}$  nur wenig ändert, gilt die Leistungsdiagnostik per Laktatwert als besonders wertvoll, da sich die anaerobe Schwelle noch verschieben und somit Aussagen über den Trainingszustand geben kann (Löllgen, 2010). In einem kurzen Exkurs wird im Folgenden auf die Energiebereitstellung sowie die Laktatbildung eingegangen.

### 3.1.3 Energiebereitstellung

Als unmittelbarer Energielieferant zur Energiegewinnung gilt das ATP (Adenosintriphosphat). Dieses Molekül ist in jedem Skelettmuskel vorhanden und bietet lediglich ausreichend Energie für 3-4 maximale Muskelkontraktionen, das entspricht bei starker körperlicher Belastung in etwa 1-2 Sekunden. Bei fortlaufender Leistung muss das ATP resynthetisiert werden. Zunächst greift die Muskelfaser auf das energiereiche Kreatinphosphat-Molekül zurück. Mit Hilfe der Spaltung des Kreatinphosphats können die ATP-Speicher wieder regeneriert werden. Die Kreatinphosphatspeicher sind 3-4-mal so groß wie die ATP-Speicher und erlauben maximale Muskelkontraktionen von 5-6 Sekunden Länge. Da weder Sauerstoff zur Energiegewinnung benötigt noch Laktat gebildet wird, bezeichnet man diese Phase als anaerob-alkalotazide Resynthese (Marées, 2003).

Dauert die Belastung fort, setzt die anaerobe Glykolyse ein. Hierbei wird Glukose mit Hilfe von Enzymen der anaeroben Energiebereitstellung unter Entstehung von Laktat zu ATP verwandelt. Bis zu einem gewissen Grad der Belastung kann das anfallende Laktat durch Verbrennung des Herzmuskels und der Aufnahme durch Leber und Niere

eliminiert werden. Wenn sich Laktatproduktion und Laktatelimination die Waage halten, spricht man von einem so genannten Laktat Steady State (Marées, 2003; Shephard, 2000; Steinacker, 2010). Der Punkt des maximalen Laktat Steady State wird als Maxlass bezeichnet. Ist eine gewisse Schwelle jedoch erreicht, übersteigt die Laktatproduktion die Laktatelimination, es kommt zu einem Absinken des PH-Wertes in der Zelle und damit zu einer Azidose (Übersäuerung). Zunächst ermüdet der Muskel aufgrund der Azidose, bis er schließlich die Arbeit einstellen muss (Grosser, Starischka & Zimmermann, 2008; Marées, 2003). Diese Phase der Energiegewinnung bezeichnet man als die anaerob-laktazide Resynthese (Marées, 2003).

Mit der aeroben Resynthese setzt die Energiegewinnung unter Zuhilfenahme von Sauerstoff ein. Hierbei wird mittels Glykogenolyse Glukose herausgespalten und zu ATP umgewandelt. Diese Umwandlung von Glukose zu ATP findet mit Hilfe von Enzymen im Zitronensäurezyklus statt. Ohne genau auf die chemischen Abbauprozesse einzugehen, ist die aerobe Oxidation dadurch gekennzeichnet, dass der gewonnene Wasserstoff aus den Nährstoffen auf Sauerstoff übertragen wird und dabei die energielosen Verbindungen  $H_2O$  und  $CO_2$  entstehen. Diese Stoffwechselprozesse laufen relativ langsam ab und bilden im Vergleich zu den anaeroben Prozessen weniger Energie pro Zeiteinheit. Die absolute Energiemenge ist jedoch bedeutend höher (Marées, 2003).

## 3.2 Kraft

### 3.2.1 Definition und Erscheinungsformen

Kraft als rein physikalische Größe  $[F]$  beschreibt das Produkt aus Masse  $[m]$  und Beschleunigung  $[a]$  (Graf & Rost, 2012). Im physiologischen Sinne beschreibt die Grundkraft, „die Kraft, die gebraucht wird, um willkürlich mit einem Nerv-Muskel-System einen Widerstand zu überwinden oder ihn zu halten“ (Graf & Rost, 2012).

Kraft als motorische Fähigkeit bezeichnet nach Schmidtbleicher (2003) folgende Merkmale des neuromuskulären Systems:

- „Der Muskel kann gegen einen Widerstand kontrahieren, ohne dass sich Ansatz und Ursprung annähern (isometrische Arbeitsweise).
- Der Muskel kann einen Widerstand (eigener Körper oder Körperteile, Sportgeräte) überwinden, so dass sich der Muskel verkürzt (konzentrische Arbeitsweise). [...]
- Der Muskel kann in einem Zyklus zunächst Brems- und dann auch Beschleunigungsarbeit verrichten. Er unterliegt einem Dehnungs-Verkürzungszyklus (syn. reaktive Arbeitsweise). Die Leistungsfähigkeit im Dehnungs-Verkürzungszyklus ist größer, verglichen mit rein konzentrischer Arbeitsweise“ (Schmidtbleicher, 2003, S. 316).

Unter Berücksichtigung der Arbeitsweise der Muskulatur lassen sich zunächst zwei Haupterscheinungsformen von Kraft ableiten: die dynamische und die statische Kraft (Hollmann & Strüder, 2009; Marées, 2003; Olivier et al., 2008). Einen Überblick über die verschiedenen Arbeitsweisen der Muskulatur gibt Abbildung 3.

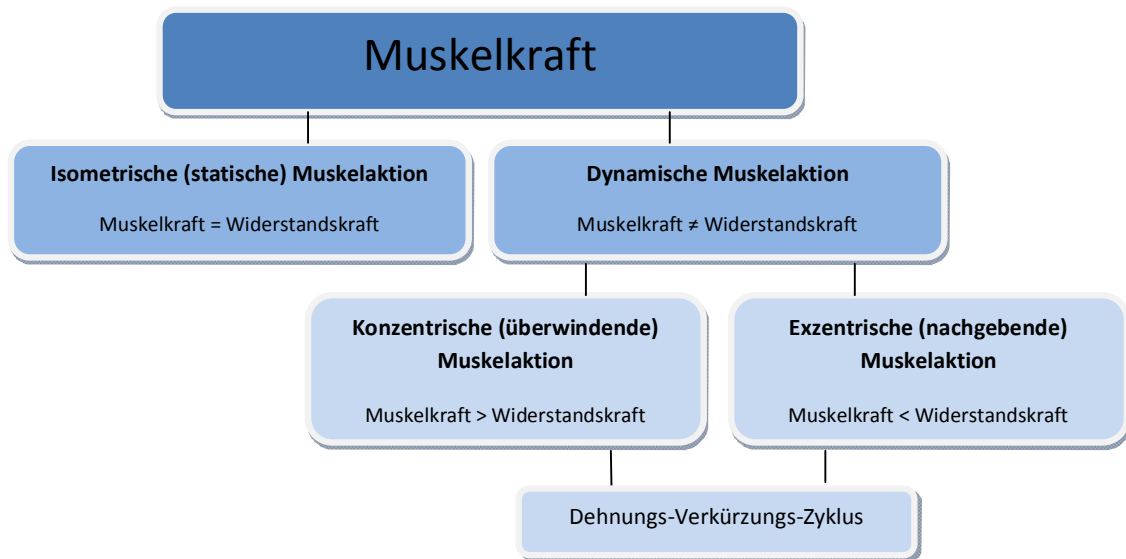


Abbildung 3. Arbeitsweisen der Muskulatur (modifiziert nach Olivier, Büsch & Marschall, 2008; S. 95).

Des Weiteren wird Kraft nach ihrer Erscheinungsform strukturiert. Im Wesentlichen finden sich zwei Modelle für die Erscheinungsformen. Am häufigsten werden die Kraftfähigkeiten in Maximalkraft, Reaktivkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer unterteilt. Letztere drei werden dabei in Bezug zur Maximalkraft gesetzt und sind demnach in unterschiedlichem Ausmaß von dem willkürlich aktivierbaren Kraftpotential abhängig und so der Maximalkraft untergeordnet (Marées, 2003).

Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Zusammenhänge und die hierarchische Struktur der Kraftfähigkeiten.

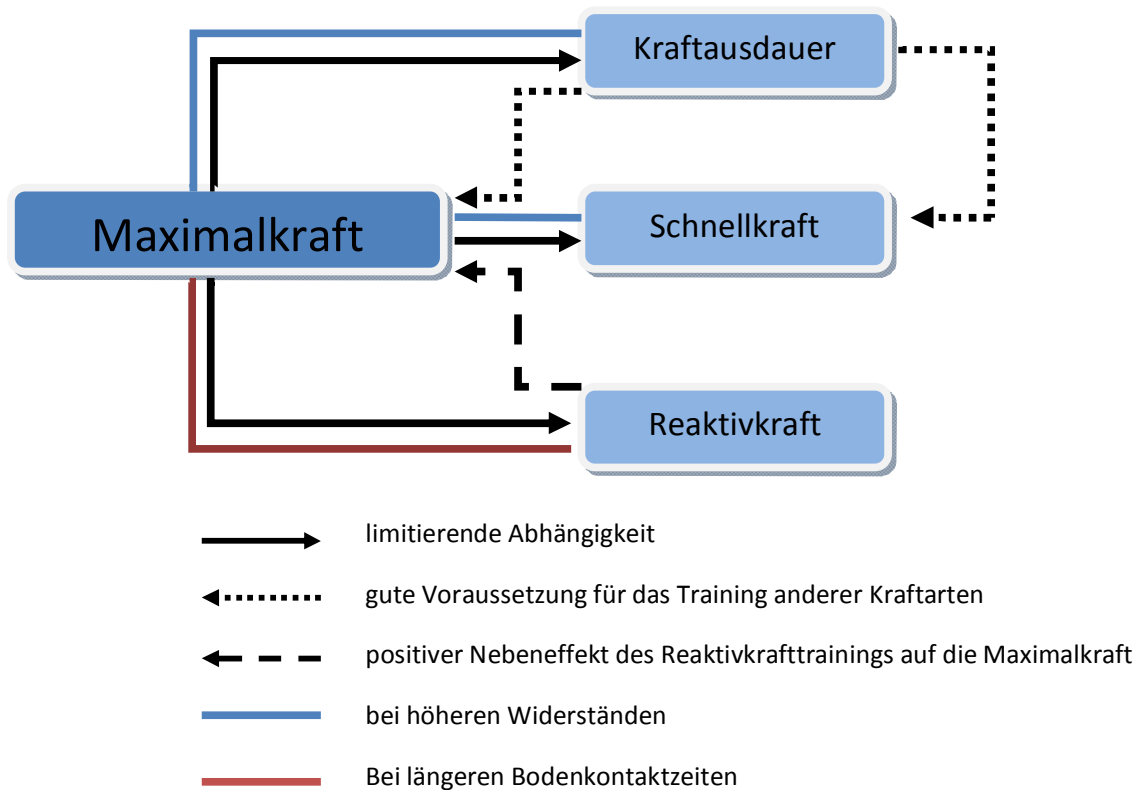


Abbildung 4. Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Erscheinungsformen der Kraft. Es fehlt die Ausdauerkraft (modifiziert nach Frey & Hildenbrandt, 2002).

### 3.2.2 Isometrische Maximalkraft

Die statische oder auch isometrische Maximalkraft bezeichnet nach Hollmann und Strüder die „bei einer willkürlichen maximalen statischen Muskelanspannung aufwendbare Kraft“ (Hollmann & Strüder, 2009). Dabei wird der Ist-Zustand der Muskelkraft unabhängig vom Trainingszustand des Muskels wiedergegeben. Sie ist zu unterscheiden von der dynamischen Muskelkraft, die sich bezüglich eines bewegten Widerstandes konzentrisch oder exzentrisch äußern kann. Unwillkürlich kann in extremen Situationen wie z.B. Todesangst oder durch Doping, zusätzlich zur Maximalkraft eine autonome Reserve, die Absolutkraft, mobilisiert werden (Carl, 2003; Hollmann & Strüder, 2009; Marées, 2003; Martin, Lehnertz & Carl, 2001). Das Kraftdefizit zwischen der Maximalkraft und der Absolutkraft beträgt je nach Autor

zwischen 10-40%. Trainierte Personen weisen ein geringeres Kraftdefizit auf als untrainierte Personen (Marées, 2003; Martin, Lehnertz & Carl, 2001). Trotz einer deutlich höheren Absolutkraft bildet die isometrische Maximalkraft das für willkürliche Bewegungshandlungen vorhandene Kraftpotential ab, das dem Menschen sowohl im Alltag als auch bei sportlichen Bewegungshandlungen zur Verfügung steht. Die Höhe der isometrischen Maximalkraft hängt neben individuellen Voraussetzungen wie Alter, Geschlecht, Motivation und genetischer Disposition im Wesentlichen von physiologischen Aspekten wie Muskelfaserquerschnitt, der Anzahl der eingesetzten Muskelfasern, der Struktur und Biochemie der Muskelfasern sowie der Muskelfaserlänge und des Zugwinkels ab (Hollmann & Strüder, 2009; Marées, 2003). In einem kurzen Exkurs wird im Folgenden auf die morphologischen Grundlagen der isometrischen Maximalkraft eingegangen.

### *3.2.3 Morphologische Grundlagen*

Der Muskelfaserquerschnitt bildet die Basis der isometrischen Maximalkraft, dabei ist nicht der anatomische Querschnitt, sondern vielmehr der Durchmesser der rechtwinklig verlaufenden Muskelfaserbündel für Kraftbestimmung verantwortlich. Die Struktur eines Muskels, seine Faseranordnung, sowie die Fiederung (Einfach- bzw. Doppelfiederung) und vor allem seine Faserzusammensetzung spielen bei der maximalen isometrischen Kraftentfaltung eine entscheidende Rolle (Hollmann & Strüder, 2009).

Im Vergleich zur schnellen Typ I Muskelfaser<sup>3</sup> erreicht die langsame Typ II Muskelfaser die höchste Effizienz bei der Umwandlung chemischer in mechanische Energie und gleichzeitig auch die größte Leistung bei relativ niedrigen Kontraktionsgeschwindigkeiten (Marées, 2003). Aufgrund der genetischen Verteilung der Muskelfasertypen und der Abhängigkeit der Kraftentfaltung von den Typ II

---

<sup>3</sup> Auf die verschiedenen Fasertypen wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Weitere Informationen sind nachzulesen bei Silbernagel und De Marées (Silbernagl and Despopoulos (2012); Marées (2003)).

Muskelfasern kommt es zu deutlichen interindividuellen Unterschieden bei der Erzielung hoher Kraftwerte (Schmidt, Lang & Heckmann, 2010).

Auch die inter- und intramuskuläre Koordination ist maßgeblich für die Kraftentwicklung von Bedeutung. Die intramuskuläre Koordination beschreibt das Zusammenspiel des Nerv-Muskel-Systems in einem einzelnen Muskel. Je mehr Muskelfasern innerviert werden können, desto höher ist die mögliche Kraftentfaltung. Die intermuskuläre Koordination hingegen bezeichnet das Zusammenwirken verschiedener Muskeln bei einem gezielten Bewegungsablauf (Hollmann & Strüder, 2009). Dabei sind sowohl synergetisch als auch antagonistisch tätige Muskeln beteiligt. Maximale Kraftentfaltung mit gezielter Bewegungsrichtung bedeutet daher nicht nur die maximale Kraftentwicklung aller Synergisten, sondern auch eine optimale Abstufung untereinander. Durch Training kann sowohl inter- wie auch intramuskuläre Koordination verbessert werden (Hollmann & Strüder, 2009).

### **3.3 Gleichgewicht**

#### *3.3.1 Definition und Erscheinungsformen*

Die Schwerkraft, der wir ausgesetzt sind, stellt eine immer vorhandene Rahmenbedingung für die Bewegungskoordination dar. Der menschliche Organismus befindet sich ständig in einer labilen Gleichgewichtslage, die durch Massenverschiebungen im Körper und der damit zusammenhängenden Verlagerung des Körperschwerpunktes, durch die relativ hohe Lage des Körperschwerpunktes und über eine relativ kleine Unterstützungsfläche, erklärt wird (Neumaier, Mechling & Strauss, 2009).

„Unter Gleichgewichtsfähigkeit wird die Fähigkeit verstanden, den gesamten Körperstand zu halten oder während und nach umfangreichen Körperverschiebungen diesen Zustand beizubehalten, bzw. wiederherzustellen“ (Hirtz, 2007). Dabei ist die

Länge der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts, die Schnelligkeit und die Qualität der Wiederaufnahme des Gleichgewichts für die Gleichgewichtsfähigkeit entscheidend (Hirtz, 2007).

Fetz präzisiert die Gleichgewichtsfähigkeit weiter in Objektgleichgewicht und Körpergleichgewicht (Fetz, 1987).

Das Objektgleichgewicht beschreibt die Fähigkeit, Objekte mit einem beliebigen Körperteil zu balancieren. Das Körpergleichgewicht hingegen beschreibt die Fähigkeit, den eigenen Körper auszubalancieren. Weiterhin lässt sich das Körpergleichgewicht in statisches und dynamisches Gleichgewicht unterteilen. Die statische Gleichgewichtsfähigkeit bezeichnet die Regulation bzw. Wiederherstellung des Gleichgewichts in relativer Ruhestellung oder bei sehr langsamen Bewegungen. Entsprechend sorgt die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit für eine Regulation des Gleichgewichts bei umfangreichen und schnellen Lageveränderungen des Körpers (Fetz, 1987; Meinel & Schnabel, 2007; Neumaier, Mechling & Strauss, 2009). Dabei ist die Gleichgewichtskontrolle kein einmaliger sondern ein fortlaufender Prozess (Neumaier, Mechling & Strauss, 2009). Fetz (1987) merkt zur Unterscheidung in dynamisches oder statisches Körpergleichgewicht die Schwierigkeiten bezüglich der Auffassung der jeweiligen Art an. Denn selbst das statische Gleichgewicht ist von Bewegungen geprägt, die ständig versuchen das Gleichgewicht wiederherzustellen bzw. zu halten (Hirtz, Hotz, & Ludwig, 2005). Das statische Gleichgewicht weist eine andere qualitative Sensomotorik auf als das dynamische Gleichgewicht. So ist das statische Gleichgewicht zum Großteil von kinästhetischen-, taktilen- und optischen Analysatoren und nur zu einem kleinen Teil vom statico-dynamischen Analysator abhängig, während das dynamische Gleichgewicht zum größten Teil vom statico-dynamischen Analysator abhängig ist (Hirtz, 2007).

Hirt, Hotz und Ludwig (2005) verweisen ebenfalls auf ein Systematisierungsproblem der Gleichgewichtsfähigkeit in der Literatur und geben eine weitere Art der Gleichgewichtssystematisierung an. Sie unterteilen das Körpergleichgewicht in das Standgleichgewicht, das Balanciergleichgewicht, das Drehgleichgewicht, sowie das



Fluggleichgewicht. Das Balanciergleichgewicht ist für eine Gleichgewichtsregulation bei Bewegungen ohne Ortsveränderungen entscheidend. Das Drehgleichgewicht kommt bei der Gleichgewichtsregulation nach Drehbewegungen zum Tragen. Das Fluggleichgewicht charakterisiert die Gleichgewichtsregulation in der Flugphase.

### 3.3.2 Gleichgewichtsregulation

Eine Bewegung, die das Ziel hat, den Körper im Gleichgewicht zu halten, ist nur möglich, wenn alle Sinne, die für die Wahrnehmung des Körpers und für die Bewegungskoordination zuständig sind, ausreichend funktionieren (Meinel & Schnabel, 2007). Diese Prozesse sollen im Folgenden näher erläutert werden.

Die Gleichgewichtsregulation beinhaltet die Prozesse der Informationsaufnahme, der Informationsverarbeitung, der Informationsabgabe und der permanenten Kontrolle (Hirtz, Hotz & Ludwig, 2005). Diese Prozesse werden durch Systeme der Sensorik, insbesondere den sensorischen Analysatoren, und den zugehörigen Elementen des Zentralnervensystems realisiert. Eingehende Reize der verschiedenen sensorischen Systeme werden von Rezeptoren erfasst und zum Gehirn auf afferenten Nervenbahnen geleitet. Das Gehirn verarbeitet die Informationen und leitet eine Bewegungshandlung aufgrund der sensorisch erfassten Informationen, auf efferenten Nervenbahnen zu den einzelnen Muskeln. Die resultierende Bewegungsaktion ist als eine angemessene Antwort auf die erfasste und weitergeleitete Information der Rezeptoren zu verstehen (Meinel & Schnabel, 2007).

Nach Hirtz, Hotz und Ludwig (2005) sind vier Analysatoren für die motorische Bewegungsregulation und demnach für die Gleichgewichtsfähigkeit verantwortlich: der kinästhetische, der taktile, der statico-dynamische und der optische Analysator.

Die sogenannten Propriozeptoren des kinästhetischen Analysators befinden sich in den Muskelspindeln, Sehnen und Gelenken. Diese geben Auskunft über die Spannungsverhältnisse des Körpers, über Gelenkstellungen, aber auch über die

Körperbewegung in Bezug auf Zeit und Raum. Informationen werden durch Motorezeptoren in den Muskeln und Gelenken registriert und über afferente Nervenbahnen zum Gehirn sowie Rückenmark weitergeleitet. Dieses Teilsystem ist somit vor allem für die Kontrolle der Eigenbewegung verantwortlich. Besonders hervorzuheben sind die hohe Leitungsgeschwindigkeit und die Differenzierungsfähigkeit im Vergleich zu den anderen Analysatoren (Meinel & Schnabel, 2007).

Der statico-dynamische Analysator, auch Vestibularanalysator genannt, dient der Wahrnehmung über die Lage des Kopfes im Vergleich zur Erdanziehung. Dieses geschieht mit Hilfe des Vestibularapparates, der im Innenohr des Menschen lokalisiert ist. Der Vestibularapparat wird häufig auch als Gleichgewichtsorgan bezeichnet, was allerdings nicht bedeutet, dass dieses Organ allein für die Gleichgewichtsregulation zuständig ist. Es informiert über Richtungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsänderungen des Kopfes bzw. des Körpers, registriert diese und reagiert über das zentrale Nervensystem und die Propriozeptoren auf Änderungen, um das Gleichgewicht halten oder wiederherstellen zu können (Hirtz, Hotz & Ludwig, 2005).

Die Mechanorezeptoren des taktilen Analysators befinden sich in der Haut und registrieren Berührungen, Druck und Vibrationen auf der Haut durch den Kontakt zur Umwelt. besonders für die Stütz-Motorik spielen diese Analysatoren eine große Rolle zur Gleichgewichtsregulation. Erschütterungen, Unebenheiten, Begrenzungen aber auch Unterstützungsflächen können so wahrgenommen werden (Hirtz, Hotz & Ludwig, 2005; Meinel & Schnabel, 2007).

Die optischen oder auch visuellen Analysatoren sorgen mit den Distanzrezeptoren der Augen für die Wahrnehmung von nahen und entfernten Objekten, Personen aber auch Bewegungen anderer Personen und Objekte. „Vor allem bei komplexen Bewegungen unter wechselnden äußeren Bedingungen stellen die optischen Reize wesentlich sensorische Orientierungspunkte für die Herstellung und Kontrolle des motorischen Gleichgewichts dar“ (Hirtz, Hotz & Ludwig, 2005).

Diese vier beschriebenen Analysatoren bilden die Grundlage für das statische Gleichgewicht (Meinel & Schnabel, 2007). In der Literatur wird zum Teil ein fünfter

---

Analysator, der akustische Analysator aufgeführt. Gleichzeitig wird jedoch darauf hingewiesen, dass dieser Analysator nicht entscheidend für die Ausführung bzw. Regulation des Gleichgewichts ist (Meinel & Schnabel, 2007).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Funktionen der hier aufgeführten Analysatoren die Grundlage für die Gleichgewichtsregulation darstellen. Erst durch das Zusammenwirken aller sensorischen Einzelsysteme ist eine optimale Gleichgewichtsleistung zu erzielen. Somit hat der Ausfall eines einzelnen Systems starke Auswirkungen auf die Gleichgewichtsfähigkeit, kann aber teilweise durch die übrigen Systeme kompensiert werden (Hirtz, Hotz & Schnabel, 2005).



## 4 Publikationen

### 4.1 Synopse der Fragestellungen der Publikationen

In Kapitel 2 und 3 wurden zunächst die motorische Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter sowie mögliche Einflussfaktoren dargestellt und die motorischen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht beschrieben. Es wird deutlich, dass die Motorische Leistungsfähigkeit als komplexe Form der motorischen Fähigkeiten einen allgemeinen motorischen Status darstellt und einer Vielzahl von Einflussfaktoren unterlegen ist.

Das Ziel dieser publikationsbasierten Dissertation bestand darin, den relativen Einfluss der Faktoren Alter und sportliche Aktivität bzw. Inaktivität auf die motorische Leistungsfähigkeit nachzuweisen und das subjektive Belastungsempfinden als Instrument der Belastungssteuerung im Ausdauerbereich vor dem Hintergrund des Alters, des Geschlechts und der sportlichen Aktivität zu analysieren. Zur Klärung der Fragestellung nach dem Einfluss von Alter und sportlicher Aktivität bzw. Inaktivität auf die motorische Leistungsfähigkeit und das subjektive Belastungsempfinden liegen dieser Dissertation folgende drei Publikationen zu Grunde:

Gedruckt mit freundlicher Genehmigung der Autoren und der Deutschen Zeitschrift für Sportmedizin:

**Last, J., Weisser, B.** Der Einfluss von moderater sportlicher Aktivität und

Alter auf Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht im Erwachsenenalter. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 66(1), 5-11. DOI: 10.5960/dzsm.2014.160

**Last, J., Weisser, B.** The impact of age and physical activity on motor performances (im Revisions-Verfahren).

**Last, J., Weisser, B.** Belastungssteuerung und körperliche Aktivität in der Lebensspanne - Ein Vergleich subjektiven Belastungsempfindens mit objektiven kardialen und metabolischen Parametern (im Revisions-Verfahren).

Die erste Publikation mit dem Titel „Der Einfluss von moderater sportlicher Aktivität und Alter auf Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht“ (Last & Weisser, 2015) stellt den Einfluss von 2h moderater sportlicher Aktivität in der Woche auf gleichzeitig drei motorische Fähigkeiten (Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht) unter Berücksichtigung des Alters der Probanden dar. Es wurde bei der Bearbeitung der Fragestellung nicht nur auf die aktivitätsbedingten Unterschiede der einzelnen motorischen Fähigkeiten in den unterschiedlichen Altersklassen eingegangen. Vielmehr lag der Hauptfokus der Untersuchung auf dem Vergleich der aktiven älteren Altersklassen mit den inaktiven jüngeren Altersklassen, um so den altersbedingten aktivitätsabhängigen Leistungsrückgang zwischen den motorischen Fähigkeiten vergleichen zu können.

In der zweiten Publikation „The impact of age and physical activity on motor performances“ wird der Einfluss von Alter und moderater sportlicher Aktivität auf die körperliche Leistungsfähigkeit beschrieben. Der Hauptfokus lag hier jedoch nicht auf dem aktivitätsbedingten Vergleich der Altersklassen, vielmehr wurde der Frage nachgegangen, welcher der beiden Faktoren Alter oder moderate sportliche Aktivität einen höheren Einfluss auf die motorischen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht in der Gesamtstichprobe ausübt.

Die dritte Publikation „Belastungssteuerung und körperliche Aktivität in der Lebensspanne - Ein Vergleich subjektiven Belastungsempfindens mit objektiven kardialen und metabolischen Parametern“ bearbeitet die Fragestellung, inwiefern das subjektive Belastungsempfinden am Beispiel der Ausdauer mit metabolischen und objektiven kardialen Parametern verglichen werden kann. Es wurde erstmals neben dem subjektiven Belastungsempfinden bei einer bestimmten Laktatkonzentration auch das subjektive Belastungsempfinden bei einer bestimmten Herzfrequenz verglichen und die Einflussfaktoren Alter, Geschlecht und sportliche Aktivität berücksichtigt.

## 4.2 Der Einfluss von moderater körperlicher Aktivität und Alter auf Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht im Erwachsenenalter

The influence of moderate physical activity and age on strength, aerobic power and balance ability

**Autoren: Julia Last, Burkhard Weisser**

Institut für Sportwissenschaft, Abteilung Sportmedizin,

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Leiter: Prof. Dr. med. B. Weisser

Wortanzahl Gesamtarbeit (ohne Literatur und Abbildungen):	2438
Wortanzahl Zusammenfassung:	237
Wortanzahl summary:	243

Zitationsstil: American Medical Association (AMA)

Gedruckt mit freundlicher Genehmigung der Autoren und der Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, aus:

**Last, J., Weisser, B.** Der Einfluss von moderater sportlicher Aktivität und Alter auf Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht im Erwachsenenalter. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 66(1), 5-11. DOI: 10.5960/dzsm.2014.160

#### 4.2.1 Zusammenfassung und Schlüsselwörter

Viele Leistungseinschränkungen ab dem mittleren Lebensalter sind nicht ausschließlich auf den Alterungsprozess zurückzuführen, vielmehr sind Bewegungsmangel und andere Lebensstilfaktoren für diese Tatsache verantwortlich. Ziel dieser Untersuchung war es, den Einfluss von sportlicher Aktivität und Alter auf die motorische Leistungsfähigkeit zu erheben.

Die Probanden wurden anhand ihres Aktivitätslevels in sportlich Aktive ( $\geq 2$ h moderater Sport/Woche) und sportlich Inaktive ( $< 2$ h moderater Sport/Woche) eingeteilt. Es wurden die Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Laktatschwelle ( $n=290$ ), die isometrische Maximalkraft sowie die Gleichgewichtsfähigkeit ( $n=508$ ) ermittelt.

Im Bereich der Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Laktatschwelle unterschieden sich die sportlich Aktiven in allen Altersklassen signifikant ( $p < 0,05$ ) von den sportlich Inaktiven. Im Bereich der Maximalkraft konnte bis auf die Altersklasse der über 60-Jährigen ebenfalls signifikante Unterschiede für die Armbeuger festgestellt werden ( $p < 0,05$ ). Die Beinstrecker unterschieden sich in allen Altersklassen bis auf die 45-60-Jährigen ( $p < 0,01$  und  $p < 0,05$ ). Auch die Gleichgewichtsfähigkeit unterschied sich im aktivitätsbedingten Vergleich zwischen den sportlich Aktiven und den sportlich Inaktiven bis auf die Altersklasse der 30-45-Jährigen ( $p < 0,01$  und  $p < 0,05$ ). Unsere Ergebnisse zeigten außerdem, dass die über 60-Jährigen Aktiven die gleiche Ausdauerleistungsfähigkeit erreichten wie die sportlich Inaktiven 20-30-Jährigen. Im Bereich der Kraft und des Gleichgewichts konnten die sportlich Aktiven mindestens die gleiche Kraft bzw. Gleichgewichtsfähigkeit wie die nächst jüngere Inaktive Altersklasse aufweisen.

Unsere Studie zeigt, dass der Alterungsprozess durch sportliche Aktivität nicht gänzlich aufgehalten werden kann. Es scheinen jedoch schon 2 Stunden moderate sportliche Aktivität auszureichen, um den altersbedingten Leistungsabbau verzögern zu können.

Schlüsselwörter: Motorische Leistungsfähigkeit, Erwachsenenalter, Bewegungsmangel, körperliche Aktivität



#### 4.2.2 Summary and Keywords

Reductions in physical fitness during adulthood are not due solely to the aging process; a sedentary lifestyle and other lifestyle factors contribute to this process.

The aim of this study was to raise the influence of physical activity and age on motor performance.

The subjects were divided according to their activity level: physical active ( $\geq 2$ h moderate activity/week); sedentary ( $< 2$ h moderate activity /week). Endurance capacity at Pla4.0 (n=290) as well as maximum isometric strength and balance ability (n=508) were determined.

In all age groups, endurance capacity at Pla4.0 was significantly higher in physically active ( $p < 0,05$ ). Maximum strength was also significantly higher in active subjects for the biceps up to the age group of over-60s ( $p < 0,05$ ). The leg extension differed in all age groups except the 45-60 year-olds ( $p < 0,01$  and  $p < 0,05$ ). Also the balance ability was significantly higher in physically active up to the age group of 30-45 year-olds ( $p < 0,01$  and  $p < 0,05$ )

In addition, the data indicate that active over-60s reached the same endurance capacity as the physically inactive 20-30 year-olds. In the fields of the maximum strength and balance ability the physically actives could at least have the same force and balance performance as the next younger sedentary age group.

Our study demonstrates that the aging process cannot be completely retarded in physically active person. However, as few as two hours of moderate activity per week may suffice to at least delay the age-related fitness degradation

Keywords: Motor performance, adulthood, sedentary lifestyle, physical activity

### 4.2.3 Einleitung

Der demographische Wandel ist eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts und stellt in Zusammenhang mit verlängerten Lebensarbeitszeiten, Bewegungsmangel und Übergewicht das Gesundheitssystem und viele andere Bereiche des öffentlichen Lebens vor neue Aufgaben.

Viele Leistungseinschränkungen ab dem mittleren Lebensalter werden häufig auf Alterungsprozesse zurückgeführt und hingenommen. Das Altern als biologischer Prozess ist nicht aufzuhalten und kann die Ursache für die Minderung von körperlicher Leistungsfähigkeit darstellen, dennoch sind das Auftreten von Risikofaktoren und gesundheitlichen Einschränkungen sowie die Verminderung der Leistungsfähigkeit schon im mittleren Lebensalter nicht ausschließlich auf den Alterungsprozess zurückzuführen. Vielmehr sind Lebensstilfaktoren wie Bewegungsmangel für den Leistungsrückgang bereits ab dem frühen Erwachsenenalter verantwortlich (18–20).

Körperliche Aktivität gilt als wichtigste Präventionsmaßnahme um chronischen Erkrankungen wie Osteoporose, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Übergewicht und Adipositas sowie Diabetes mellitus vorzubeugen (4, 16, 24, 27, 32, 37). Neben Risikofaktoren wie Übergewicht, Hypertonie und Fettstoffwechselstörungen gilt Körperliche Fitness durch sportliche Aktivität als wichtigster gesundheitlicher Prognosefaktor. Dabei zeigt schon der Aufstieg aus der niedrigsten Quintile in die zweitniedrigste Quintile der körperlichen Fitness den größten gesundheitlichen Nutzen für Ältere (1). Auch Belastungen niedrigerer Intensitäten konnten einen positiven gesundheitlichen Effekt erzielen (37). Doch obwohl die negativen Auswirkungen von Bewegungsmangel hinlänglich bekannt sind und Bewegungsmangel nachweislich als bedeutender Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen gilt, treiben weniger als ¼ der Erwachsenen mehr als 2h Sport pro Woche (15, 35).

Bisher gibt es nur wenige Studien, die parallel den Einfluss von Aktivität und Alter auf die körperliche Leistungsfähigkeit im Bereich dreier motorischer Fähigkeiten (Kraft, Ausdauer und Koordination, bzw. Gleichgewicht) untersucht haben. Ziel dieser

Untersuchung ist daher, den Einfluss von Alter und sportlicher Aktivität bzw. Inaktivität auf die motorische Leistungsfähigkeit der isometrischen Maximalkraft, der aeroben Ausdauer und der Gleichgewichtsfähigkeit darzustellen und zu vergleichen.

#### 4.2.4 *Material und Methoden*

Die Probanden wurden über Aushänge, die Homepage der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sowie Aufrufe über örtliche Radiosender auf die Untersuchung aufmerksam gemacht und erklärten freiwillig ihre Studienteilnahme.

Vor jeder Leistungsanalyse wurde mittels Fragebogen und körperlicher Untersuchung der Gesundheits- und Aktivitätszustand der Probanden ermittelt. Die Ausschlusskriterien orientierten sich am PAR Q-Fragebogen (Physical Activity Readiness Questionnaire) der Leitlinien zu Vorsorgeuntersuchungen im Sport der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin (8). Insgesamt nahmen 561 Probanden im Alter von 20-70 Jahren an der Studie teil. Nach Anwendung der oben erwähnten Ausschlusskriterien, wie z.B. der Einnahme von Beta-Blockern oder einem auffälligen Befund in der körperlichen Untersuchung, konnte die isometrische Maximalkraft sowie die Gleichgewichtsfähigkeit bei 508 gesunden Probanden gemessen werden. Von diesen 508 Probanden nahmen 290 an den Tests zur Ausdauerleistungsfähigkeit teil. Die Charakterisierung der Gesamtstichprobe ist in Tab.1 dargestellt.

Die Probanden wurden in Anlehnung an Tittlbach nach ihrem Aktivitätslevel in zwei Gruppen, sportlich Aktive (mindestens 2h moderater Sport/Woche) und sportlich Inaktive (weniger als 2h moderater Sport/Woche) eingeteilt (34). Als moderate sportliche Aktivität bezeichnet man einen durch sportliche Aktivität erhöhten Kalorienverbrauch von mehr als 780 Kcal oder 3-6MET (Walking bei 4-7km/h) pro Woche (34, 40). Ausschlaggebend für die Einteilung der Probanden war der zeitliche und Faktor und nicht die Intensität. Diese wurde nur als Mindestkriterium vorausgesetzt.

Körperliche Aktivitäten die einen bewegten Alltag ausmachen, wie z.B. Gartenarbeit wurden nicht berücksichtigt. Diese Aktivitäten ziehen zwar ebenfalls eine Erhöhung des Energiegrundumsatzes mit sich, werden aus sportwissenschaftlicher Perspektive jedoch nicht als Sport bezeichnet (22, 36).

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Probanden in vier Altersgruppen, angelehnt an die Entwicklungsphasen im Erwachsenenalter nach Winter und Hartmann, eingeteilt: 20-30 Jahre, 30-45 Jahre, 45-60 Jahre und über 60 Jahre (39).

#### Ausdauerleistungsfähigkeit

Die Probanden wurden nach WHO-Schema stufenförmig 2 Minuten pro Wattstufe (25/50W) auf dem Fahrradergometer (Ergoselect 100) belastet. Es wurde am Ende jeder Belastungsstufe die Herzfrequenz mittels EKG dokumentiert sowie Kapillarblut zur Bestimmung der Laktatwerte aus dem Ohrläppchen entnommen. Mittels Photometer der Firma Dr. Lange wurden die Laktatwerte bestimmt. Anschließend wurde die Wattzahl an der 4mmol/l-Laktatschwelle ermittelt und auf das Körpergewicht des jeweiligen Probanden bezogen. Die Leistungsdiagnostik an der 4mmol/l-Laktatschwelle bietet eine einfache und kostengünstige Möglichkeit, die Ausdauerleistungsfähigkeit zu bestimmen. Die Leistungsdiagnostik im Ausdauerbereich mittels Laktatwert bietet im Gegensatz zur maximalen Sauerstoffaufnahme besonders für Untrainierte Vorteile, da Untrainierte nicht an bis zur maximalen Leistungsgrenze belastet werden müssen (21).

#### Isometrische Maximalkraft

Die isometrische Maximalkraft der Armbeuger sowie der Beinstrecker wurde mit dem M3 Diagnos+ Systems der Firma Schnell, Gachenbach in Nm ermittelt. Alle Kraftmessungen erfolgten einseitig mit dreifacher Wiederholung. Es wurde jeweils der höchste Wert des stärkeren Armes bzw. des stärkeren Beines in die Ergebnisse aufgenommen.

## Gleichgewicht

Das Gleichgewicht wurde mithilfe des S3-Checks der TST Trend Sport Trading GmbH, Basel gemessen, welches sich als standardisiertes Messinstrument erwiesen hat (25). Eine kreisförmige stabile Platte ist dabei in der Frontalebene beweglich. Die Ausgleichsbewegungen, die erbracht werden, die Waagerechte zu halten, werden durch einen Neigungsrechner auf die Software des Gerätes übertragen. Ein Stabilitätsindex bewertet die Häufigkeit und Stärke sowie die Achsenverschiebung der Ausgleichsbewegungen. Es wurden nach einer Aufwärmzeit von 30 Sekunden jeweils zwei Testläufe von 20 Sekunden in den zwei Ebenen absolviert.

## Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der Statistik Software SPSS 20.0. Aufgrund geschlechtsspezifischer und gewichtsbedingter Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit wurden sowohl Geschlecht als auch Gewicht als Kovariate in die Berechnung unter Beachtung der statistischen Voraussetzungen für dieses Analyseverfahren einbezogen. Die Mittelwertunterschiede zwischen den sportlich Aktiven und den sportliche Inaktiven wurden differenziert nach Lebensabschnitten gemäß der Entwicklungsphasen frühes, mittleres, spätes und späteres Erwachsenenalter (20-29 Jahre, 30-44 Jahre, 45-60 Jahre und 60+ Jahre) nach Winter und Hartmann (39) durchgeführt und mittels Kovarianzanalyse (ANCOVA) geprüft.

### 4.2.5 Ergebnisse

Der Vergleich der sportlich Aktiven mit den sportlich Inaktiven in den verschiedenen motorischen Fähigkeiten ist nach Auspartialisierung von Geschlecht und Gewicht in den Abbildungen 1-4 für die verschiedenen Altersklassen dargestellt.

In allen statistischen Vergleichen zeigten sowohl das Geschlecht als auch das Gewicht einen statistisch bedeutsamen Einfluss auf die Ergebnisse und wurden dementsprechend rechnerisch korrigiert. Im Vergleich der benachbarten Altersklassen gleichen Aktivitätsniveaus zeigte sich für die Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Laktatschwelle für die sportlich Aktiven als auch die sportlich Inaktiven eine signifikant schlechtere Ausdauerleistungsfähigkeit bei den bei den sportlich Aktiven als auch den sportlich Inaktiven nicht signifikant. Bei der Armbeugemuskulatur des starken Armes zeigte sich für sportlich Aktive als auch Inaktive eine signifikante Leistungsminderung der isometrischen Maximalkraft ab der Altersgruppe der 45-60-Jährigen (aktiv  $F_{1,122}=4,668;p<0,05$ ; inaktiv  $F_{1,140}=4,825;p<0,05$ ). Im Gegensatz dazu konnte für die Beinstreckmuskulatur des starken Beines für die sportlich Aktiven bereits ab der Altersklasse 30-45-Jährigen ( $F_{1,105}=25,70;p<0,001$ ) eine Leistungsminderung der isometrischen Maximalkraft festgestellt werden. Bei den sportlich Inaktiven konnte eine signifikante Leistungsminderung erst ab der Altersklasse der über 60-Jährigen ( $F_{1,111}=21,05;p<0,0$ ) nachgewiesen werden. Auch die Gleichgewichtsfähigkeit verschlechterte sich bei den sportlich Aktiven signifikant ab der Altersklasse der 30-45-Jährigen ( $F_{1,104}=8,24;p<0,01$ ). Die sportlich Inaktiven wiesen erst ab der Altersklasse der 45-60-Jährigen eine signifikant schlechtere Gleichgewichtsfähigkeit ( $F_{1,122}=22,24;p<0,001$ ) als die vorangehende Altersklasse auf.

Im Vergleich von Alter und Aktivitätsniveau bezüglich der Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Laktatschwelle zeigten unsere Daten eine signifikante Überlegenheit der sportlich aktiven Älteren der sportlich inaktiven jüngeren Altersklasse gegenüber (30-45-Jährige aktiv/20-30-Jährige inaktiv:  $F_{1,68}=11,807;p<0,01$ ; 45-60-Jährige aktiv/30-45-Jährige inaktiv:  $F_{1,77}=9,264;p<0,01$ ; 60+aktiv/45-60inaktiv:  $F_{1,79}=5,419;p<0,05$ ). Im Vergleich der älteren Aktiven mit den jüngsten Inaktiven konnten nicht nur die aktiven 30-40-Jährigen eine signifikant höhere Ausdauerleistungsfähigkeit als die inaktiven 20-30-Jährigen aufweisen, auch die 45-60-Jährigen Aktiven waren den 20-30-Jährigen Inaktiven signifikant überlegen ( $F_{1,72}=13,675;p<0,001$ ). Der Vergleich der aktiven über 60-Jährigen erbrachte keinen signifikanten Unterschied den 20-30-Jährigen gegenüber.

Auch im Bereich der isometrischen Maximalkraft der Armbeuger konnten zwischen der aktiven älteren Altersklasse und der inaktiven jüngeren Altersklasse keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Im Vergleich der älteren aktiven Altersklassen (45-60-Jährige und über 60-Jährige) mit den 20-30-Jährigen Inaktiven zeigte sich nur für die über 60-Jährigen Aktiven eine signifikante Verschlechterung der Maximalkraft ( $F_{1,45}=90,59, p<0,01$ ).

Im Vergleich der benachbarten Altersklassen unterschiedlichen Aktivitätsniveau der Beinstreckmuskulatur waren die sportlich aktiven 30-45-Jährigen den 20-30-Jährigen Inaktiven signifikant überlegen ( $F_{1,108}=4,021, p<0,05$ ). Die aktiven 45-60-Jährigen unterschieden sich nicht signifikant von den inaktiven 30-45-Jährigen, während die über 60-Jährigen Aktiven signifikant schlechter waren als die 45-60-Jährigen Inaktiven. Der Vergleich der älteren aktiven Altersklassen mit der jüngsten Inaktiven Altersklasse zeigte signifikant schlechtere Maximalkraftwerte sowohl für die 45-60-Jährigen ( $F_{1,96}=21,842, p<0,001$ ) als auch die über 60-Jährigen Aktiven ( $F_{1,145}=96,391, p<0,001$ ).

Im Bereich der Gleichgewichtsfähigkeit konnte kein signifikanter Unterschied zwischen einer älteren aktiven Altersklasse mit der vorangehenden jüngeren inaktiven Altersklasse nachgewiesen werden. Der Vergleich der älteren aktiven Altersklassen (45-60-Jährige und über 60-Jährige) mit den inaktiven 20-30-Jährigen zeigte nur für die über 60-Jährigen eine signifikant schlechtere Gleichgewichtsfähigkeit ( $F_{1,148}=13,180, p<0,001$ ).

#### 4.2.6 Diskussion

Das wesentliche Ziel dieser Untersuchung bestand darin, den Einfluss von sportlicher Aktivität bzw. Inaktivität und Alter auf die Leistungsfähigkeit einzelner motorischer Fähigkeiten im Erwachsenenalter zu analysieren. Erstmals konnte ein Einfluss von moderater körperlicher Aktivität parallel auf drei motorische Hauptbeanspruchungsformen, Ausdauer, isometrische Maximalkraft und

Gleichgewichtsfähigkeit nachgewiesen werden. Bereits zwei Stunden unspezifische moderate sportliche Aktivität ließen signifikante Leistungsunterschiede zwischen sportlich Aktiven und Inaktiven derselben Altersklasse deutlich werden.

Die Ergebnisse aller drei untersuchten motorischen Fähigkeiten konnten bisherige Angaben aus der Literatur stützen und zeigten, dass sportlich Aktive in allen Altersklassen höhere Ausdauerleistungen aufweisen als sportlich Inaktive (7, 23, 30, 33). Die mit zunehmenden Alter in der Literatur beschriebene statistische Tendenz einer leichten Schere zugunsten von Trainierten gaben unsere Daten jedoch nicht her (33). Leyk et al. und auch andere sprechen bei trainingspezifischer Analyse von den größten aktivitätsbedingten Leistungsunterschieden im Ausdauerbereich (19, 23). Auch unsere Daten zeigten im Vergleich der drei untersuchten motorischen Fähigkeiten bei der Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol-Laktatschwelle die größten Leistungsunterschiede zwischen sportlich Aktiven und sportlich Inaktiven. In diesem Zusammenhang muss jedoch beachtet werden, dass im Alter vorwiegend ausdauerorientierte Sportarten betrieben werden (24, 28, 37) und im Rahmen dieser Studie die sportlichen Aktivitäten nicht weiter spezifiziert wurden.

Im altersbedingten Verlauf der motorischen Fähigkeiten zeigten unsere Ergebnisse, für die Ausdauer, ergänzend der Annahme von Leyk, dass ein geringer altersbedingter Rückgang bis zu einem Alter von ca. 54 Jahren für Trainierte gilt (18), sowohl für sportlich Aktive als auch sportlich Inaktive eine geringe altersbedingte Abnahme der Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Laktatschwelle bis zur Altersklasse der über 60-Jährigen.

Im Bereich der Maximalkraft lieferten unsere Daten im Vergleich zur Ausdauer keine homogenen Ergebnisse. Die parallele Leistungsminderung der Armbeugemuskulatur bei den sportlich Aktiven wie auch den sportlich Inaktiven 45-60-Jährigen ähnelt den Ergebnissen von Bula, der mit derselben Messmethode, jedoch geschlechtsspezifisch differenziert, Kraftwerte mit derselben Kraftmessmethode untersuchte. Bula konnte einen Rückgang der Leistungsfähigkeit der Armbeuger zwischen 40 und 50 Jahren sowohl für Männer als auch Frauen nachweisen (6). Sowohl die Art der sportlichen



Aktivität, mit zunehmenden Alter zunehmend werden zunehmend, wie bereits beschrieben, ausdauerorientierte Sportarten, wie z.B. Walken oder Joggen betrieben (24, 28, 37), bei denen die Armmuskulatur vergleichsweise wenig trainiert wird, als auch die Alltagsgewohnheiten der Probanden könnten für den parallelen Verlauf zwischen sportlich Aktiven und Inaktiven verantwortlich sein. Auch eine überdurchschnittliche Beanspruchung der Armbeugemuskulatur im Alltag der sportlich Inaktiven wäre als Erklärung für diese Ergebnisse denkbar.

Die Leistungswerte der Beinstreckmuskulatur lagen bei den sportlich Aktiven 20-30-Jährigen des vorliegenden Probandenkollektivs deutlich über den Werten Bulas (6). Diese hohen Ausgangswerte lassen die signifikante Leistungsminderung zu den 30-45-Jährigen nachvollziehen und sprechen für eine mögliche Verzerrung der Stichprobe in diesem Bereich. Der relativ konstante Leistungserhalt der Beinstreckmuskulatur der sportlich Inaktiven bis zum Alter von 60 Jahren deckt sich mit einer Untersuchung von Borges, der ebenfalls einen konstanten Leistungserhalt der Beinstreckmuskulatur für Männer von 30-60 Jahren zeigen konnte (5). Andere Studien in diesem Bereich gehen von einem relativ konstanten Leistungserhalt der Maximalkraft der Beinstrecker bis zu den Mittfünfzigern aus (6, 17). Annahmen aus der Literatur, dass die Muskulatur der unteren Extremitäten schneller atrophiert und somit an Leistungsfähigkeit einbüßt als die der oberen Extremitäten, konnten wir nur für die sportlich Aktiven bestätigen (11). Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen könnte die alltagsbedingte Nutzung der Beinmuskulatur unserer inaktiven Probanden darstellen. Alltagsgewohnheiten, wie z.B. Spaziergehen oder tägliche Gartenarbeit wurden im Rahmen dieser Untersuchung nicht erfasst. Für die statischen Vergleiche wurde ausschließlich die sportliche Aktivität berücksichtigt.

Der parallele Verlauf der Maximalkraft der Beinstrecker und der Gleichgewichtsfähigkeit der sportlich Aktiven, signifikante Verschlechterung der Leistungsfähigkeit bereits bei den 30-40-Jährigen, lässt sich möglicherweise durch den erheblichen Einfluss des Verlustes an Maximalkraft des Stichprobenkollektivs auf die Gleichgewichtsfähigkeit

begründen (28). Die Abnahme der Gleichgewichtsfähigkeit der sportlich Inaktiven ab den Mittvierzigern deckt sich hingegen mit den Angaben aus der Literatur (10).

Bezieht man die sportliche Aktivität in die altersbedingten Betrachtungen mit ein, verdeutlichen unsere Ergebnisse, dass die altersbedingte Abnahme der Leistungsfähigkeit auch durch sportliche Aktivität nicht gänzlich aufgehalten werden kann (38). Unsere Ergebnisse belegen jedoch für alle drei untersuchten motorischen Fähigkeiten, dass durch bereits zwei Stunden moderate sportliche Aktivität, ohne sportartspezifische Differenzierung, die Leistungsfähigkeit auch im Alter verbessert oder zumindest um eine Altersklasse erhalten werden kann (2). Für die Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Laktatschwelle waren diese Ergebnisse besonders deutlich, die über 60-Jährigen sportlich Aktiven konnten immer noch die gleichen Ausdauerleistungen erzielen wie die 20-30-Jährigen sportlich Inaktiven. Im Bereich der Maximalkraft fielen unsere Ergebnisse nicht mehr ganz so deutlich aus. Studien, die belegen, dass ältere Trainierte eine gleiche oder sogar höhere Leistungsfähigkeit der Maximalkraft wie jüngere Untrainierte aufweisen, konnten wir nicht gänzlich bestätigen (13, 14). Unsere Ergebnisse zeigten jedoch, dass auch im Bereich der Maximalkraft die altersbedingte Verschlechterung der Leistungsfähigkeit durch moderate sportliche Aktivität von zwei Stunden pro Woche um mindestens eine Altersklasse teilweise sogar zwei verzögert werden kann. An dieser Stelle sei jedoch angemerkt, dass bei der aktivitätsbedingten Einteilung der Studie die Art der sportlichen Aktivität nicht differenziert berücksichtigt wurde. Besonders im höheren Alter werden vorwiegend ausdauerorientierte Sportarten wie z.B. Walken betrieben, die keine Auswirkung auf die Muskelkraft haben (31). Ebenso wenig wurde die sportliche Biographie der Probanden, die Alltagsaktivitäten sowie der berufliche Hintergrund in dieser Studie berücksichtigt. Insbesondere reizstarke Berufe, wie z.B. handwerkliche Tätigkeiten, können einen starken Einfluss auf die Maximalkraft ausüben (39).

Auch im Bereich der Gleichgewichtsfähigkeit konnten unsere Daten für die sportlich Aktiven eine Verzögerung des altersbedingten Leistungsabfalls um eine bzw. zwei Altersklassen nachweisen. Dies spricht für die hohe Trainierbarkeit der

Gleichgewichtsfähigkeit auch im höheren Alter. Studien belegen, dass Trainierte gegenüber Untrainierten signifikant bessere Gleichgewichtsleistungen aufweisen (3, 12).

Vor allem vor dem Hintergrund erhöhter Sturzgefahr im Alter machen unsere Ergebnisse deutlich, dass jede Form von Aktivität und nicht nur spezielles Koordinationstraining einen Einfluss auf die Gleichgewichtsfähigkeit haben kann und sogar das Sturzrisiko vermindern können (9, 26, 29).

Eine weitere Limitation stellt neben der Tatsache, dass es sich bei dieser Studie um eine Querschnittsanalyse handelt, die Alterseinteilung nach Entwicklungsphasen dar. Eine Einteilung in Lebensjahrzenten könnte andere Ergebnisse bringen. Hier wurde allerdings aus Gründen der Übersichtlichkeit die Einteilung in Lebensphasen gewählt.

In folgenden Untersuchungen sollten neben den Faktoren Geschlecht und Gewicht weitere Faktoren, die einen Einfluss auf die motorische Leistungsfähigkeit ausüben können, analysiert und deren Möglicher Einfluss berücksichtigt werden. Vor allem die Alltagsgewohnheiten, die Art der sportlichen Aktivität sowie die sportliche Biographie wären vor diesem Hintergrund interessant.

#### Fazit

In allen untersuchten motorischen Fähigkeiten konnten signifikant bessere Leistungen der sportlich Aktiven den sportlich Inaktiven gegenüber nachgewiesen werden. Bereits zwei Stunden moderate sportliche Aktivität scheinen, unabhängig von der sportlichen Biographie und der betriebenen sportlichen Betätigung des einzelnen, den altersbedingten Rückgang der sportmotorischen Leistungsfähigkeit zwar nicht aufhalten aber deutlich verzögern zu können.

Das Projekt wurde durch das BMWi unter der Nummer 16399N gefördert.

## 4.2.7 Abbildungen

Die Abbildungsbeschriftung in Klammern entspricht den Abbildungsbeschriftungen der Publikation.

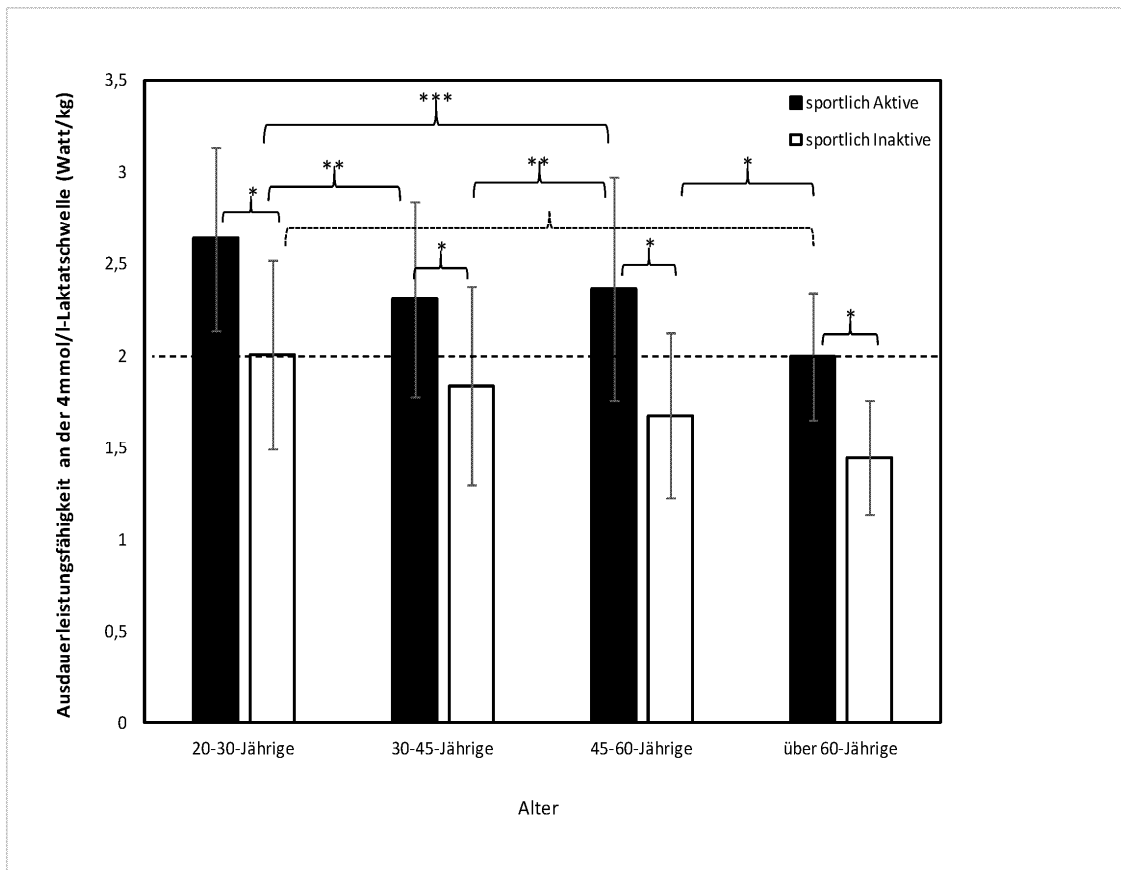
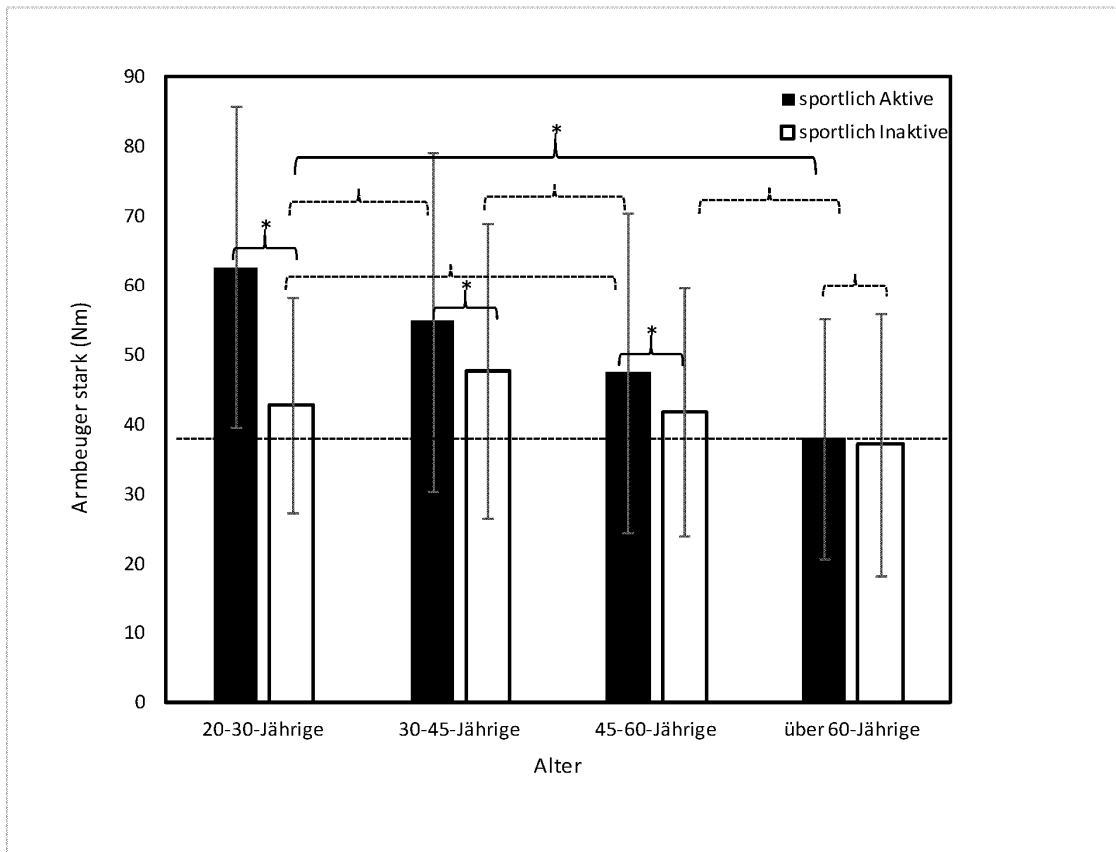


Abbildung 5 (Abbildung 1). Körpergewichtsbezogene Leistung an der 4 mmol/l-Laktatschwelle in Watt/kg Körpergewicht (rechnerisch korrigiert für Geschlecht und Gewicht). Die gestrichelte Linie markiert das Leistungsniveau der sportlich aktiven über 60-Jährigen. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen; signifikanter Unterschied, \*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ ; gestrichelte Klammer: nicht signifikant).



**Abbildung 6** (Abbildung 2). Isometrische Maximalkraft der Armbeugemuskulatur in Nm (rechnerisch korrigiert für Geschlecht und Gewicht). Die gestrichelte Linie markiert das Leistungsniveau der sportlich aktiven über 60-Jährigen. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen; signifikanter Unterschied, \*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ ; gestrichelte Klammer: nicht signifikant).

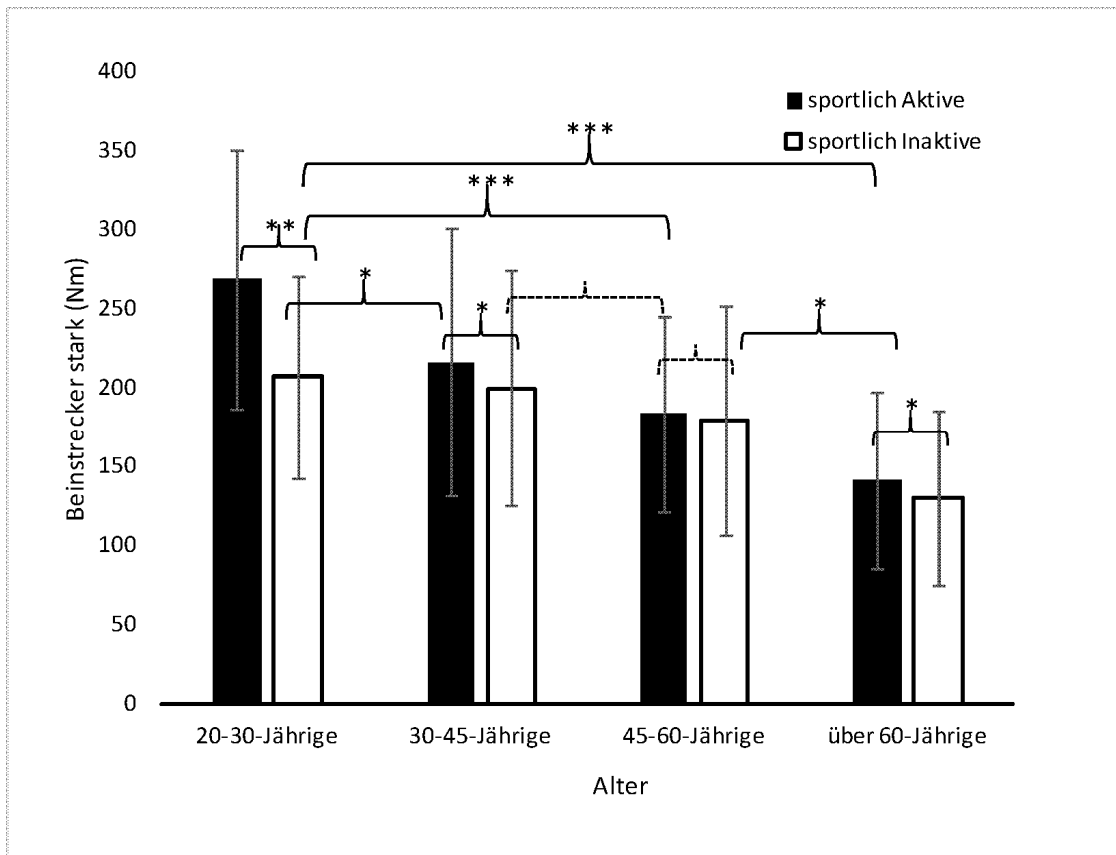


Abbildung 7 (Abbildung 3). Isometrische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur in Nm (rechnerisch korrigiert für Geschlecht und Gewicht). Die gestrichelte Linie markiert das Leistungsniveau der sportlich aktiven über 60-Jährigen. dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen; signifikanter Unterschied, \*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ ; gestrichelte Klammer: nicht signifikant).

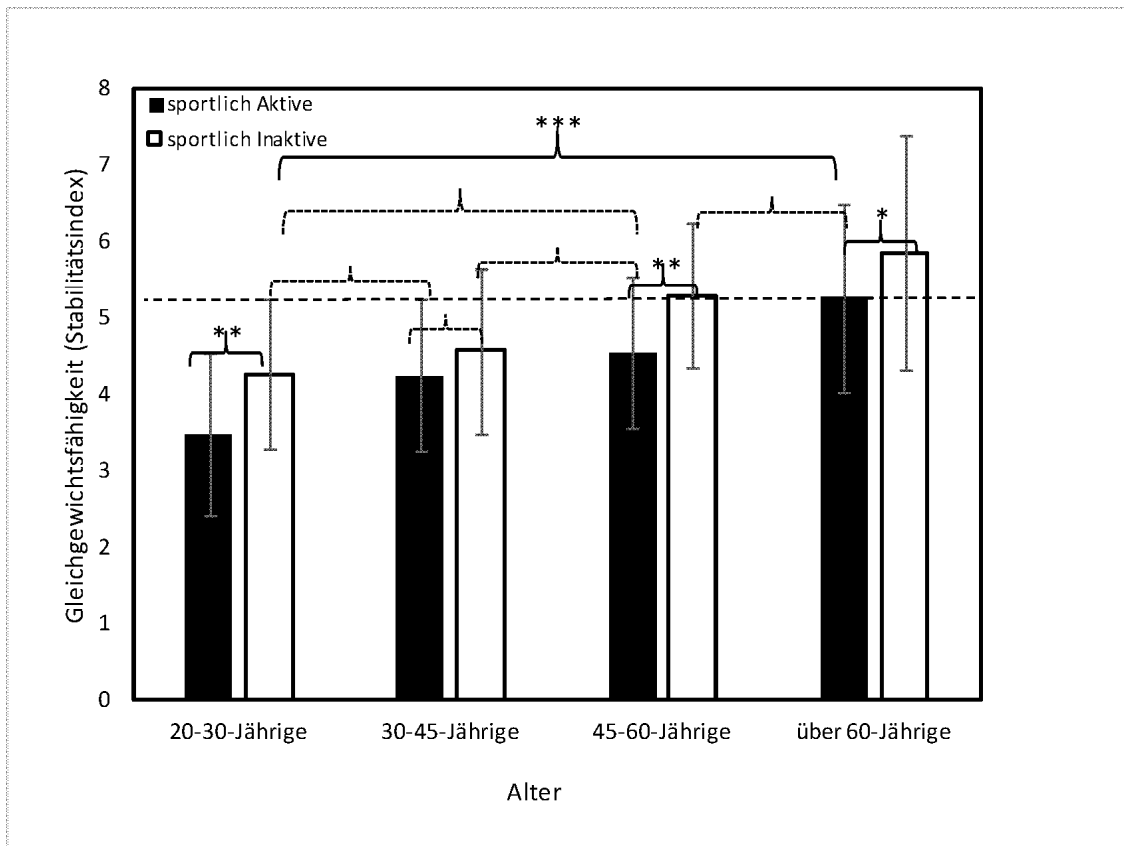


Abbildung 8 (Abbildung 4). Vergleich der Gleichgewichtsleistungsfähigkeit in der Frontalebene bei sportlich Aktiven und sportlich Inaktiven im Erwachsenenalter (rechnerisch korrigiert für Geschlecht und Gewicht). Die gestrichelte Linie markiert das Leistungsniveau der sportlich aktiven über 60-Jährigen. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen; signifikanter Unterschied, \*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ ; gestrichelte Klammer: nicht signifikant). Je größer der dargestellte Wert ist, desto schlechter ist die erbrachte Gleichgewichtsleistung.

#### 4.2.8 Tabelle

Die Tabellenbeschriftung in den Klammern entspricht der Tabellenbeschriftung der Publikation.

**Tabelle 2 (Tabelle 1).** Charakterisierung der Gesamtstichprobe sowie der Stichprobe, die den Ausdauerstest absolviert hat. Als statistische Kenngrößen sind Häufigkeiten (N), sowie Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD±) dargestellt

<b>Gesamtstichprobe (n=508)</b>					
	<b>Anzahl</b>	<b>20-30 Jahre</b>	<b>30-45 Jahre</b>	<b>45-60 Jahre</b>	<b>60+ Jahre</b>
<b>sportlich Aktive</b>	N	31	76	67	119
<b>sportlich Inaktive</b>	N	34	65	57	59
<b>Männer</b>	N	33	78	66	78
<b>Frauen</b>	N	32	63	58	100
<b>Alter in Jahren</b>	M (SD±)	23,94 (± 2,55)	36,62 (±4,94)	51,45 (±4,50)	68,13 (±5,43)
<b>Gewicht in kg</b>	M (SD±)	68,28 (±12,28)	77,60 (±14,98)	75,41 (±13,25)	71,76 (±13,00)
<b>Größe in cm</b>	M (SD±)	175,18 (±10,31)	176,99 (±10,54)	174,40 (±8,30)	173,99 (±9,86)
<b>Stichprobe Ausdauer (n=290)</b>					
<b>sportlich Aktive</b>	N	30	38	42	31
<b>sportlich Inaktive</b>	N	34	39	45	31
<b>Männer</b>	N	33	40	41	30
<b>Frauen</b>	N	31	37	46	32
<b>Alter in Jahren</b>	M (SD±)	23,86 (± 2,50)	36,05 (±4,56)	51,80(±4,68)	64,24 (±3,11)
<b>Gewicht in kg</b>	M (SD±)	68,41 (±12,33)	77,89 (±14,98)	74,62 (±15,10)	74,66 (± 4,39)
<b>Größe in cm</b>	M (SD±)	175,42 (±10,21)	176,62 (±8,75)	173,44 (±8,43)	173,25 (±9,31)



#### 4.2.9 Literatur

1. **Blair SN, Kohl HW, Barlow CE, Paffenbarger RS, Gibbons LW, Macera CA.** Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA*. 1995;273(14):1093–1098.
2. **Blank M.** Dimensionen und Determinanten der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten. Eine theoretisch-methodische Konzeptualisierung am Beispiel der maximalen Sauerstoffaufnahme. Hamburg: Czwalina; 2007.
3. **Böer J.** Charakterisierung des Balanceverhaltens von Gesunden, Hüft- und Kniepatienten auf dem Posturomed. Dissertation. Universität Tübingen: Medizinische Fakultät; 2006.
4. **Bonaiuti D, Shea B, Iovine R, Negrini S, Robinson V, Kemper HC, Wells G, Tugwell P, Cranney A.** Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *Cochrane Database Syst Rev*. 2002;(3):CD000333. doi:10.1002/14651858.CD000333
5. **Borges O.** Isometric and isokinetic knee extension and flexion torque in men and women aged 20-70. *Scand J Rehabil Med*. 1989;21(1):45–53.
6. **Bula PU.** M3 Diagnos + Normwertstudie: Isometrische Maximalkraft als maximale Drehmomente im Bereich der Armbeuge- und Kniestreckmuskulatur, eine Pilotstudie an 301 gesunden Männern und Frauen im Alter von 20 bis 70 Jahren. Dissertation. LMU München: Medizinische Fakultät; 2007.
7. **Conzelmann A, Blank M.** Entwicklung der Ausdauer. In: Baur J, ed. *Handbuch motorische Entwicklung*. 2nd ed. Schorndorf: Hofmann; 2009:167–186.
8. **DGSP-Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention.** PAR-Q-Fragebogen. [http://www.dgsp.de/\\_downloads/allgemein/leitlinie\\_vorsorgeuntersuchung\\_4.10.2007-Anlage-1.pdf](http://www.dgsp.de/_downloads/allgemein/leitlinie_vorsorgeuntersuchung_4.10.2007-Anlage-1.pdf). Accessed May 6, 2014.
9. **Fairhall N, Sherrington C, Lord SR, Kurrle SE, Langron C, Lockwood K, Monaghan N, Aggar C, Cameron ID.** Effect of a multifactorial, interdisciplinary intervention on risk factors for falls and fall rate in frail older people: a randomised controlled trial. *Age Ageing*. 2014;43(5):616-622. doi:10.1093/ageing/aft204
10. **Fetz F.** *Bewegungslehre der Leibesübungen*. 1st ed. Frankfurt/Main: Limpert; 1972.
11. **Goebel S.** Entwicklung, Überprüfung und Normierung eines Kraftmessverfahrens. Dissertation. RFW- Universität Bonn: Philosophische Fakultät; 2002.
12. **Iverson BD, Gossman MR, Shaddeau SA, Turner ME.** Balance Performance, Force Production, and Activity Levels in Noninstitutionalized Men 60 to 90 Years of Age. *Physical Therapy*. 1990;70(6):348–355.
13. **Kenney WL, Costill DL, Wilmore JH.** *Physiology of sport and exercise*. 5th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2012.
14. **Klitgaard H, Mantoni M, Schiaffino S, Ausoni S, Gorza L, Laurent-Winter C, Schnohr P, Saltin B.** Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training

- backgrounds. *Acta Physiol. Scand.* 1990;140(1):41–54. doi:10.1111/j.1748-1716.1990.tb08974.x
15. **Krug S, Jordan S, Mensink G, Müters S, Finger J, Lampert T.** Körperliche Aktivität. *Bundesgesundheitsbl.* 2013;56(5-6):765–771. doi:10.1007/s00103-012-1661-6
  16. **Lakka TA, Bouchard C.** Physical activity, obesity and cardiovascular diseases. *Handb Exp Pharmacol.* 2005;(170):137–163.
  17. **Larsson L, Grimby G, Karlsson J.** Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1979;46(3):451–456.
  18. **Leyk D, Rohde U, Gorges W, Ridder D, Wunderlich M, Dinklage C, Sievert A, Rüter T, Essfeld D.** Physical performance, body weight and BMI of young adults in Germany 2000 - 2004: results of the physical-fitness-test study. *Int J Sports Med.* 2006;27(8):642–647. doi:10.1055/s-2005-872907
  19. **Leyk D, Rüter T, Wunderlich M, Sievert A, Essfeld D, Witzki A, Erley O, Kuchmeister G, Piekarski C, Löllgen H.** Physical performance in middle age and old age: good news for our sedentary and aging society. *Dtsch Arztebl Int.* 2010;107(46):809–816. doi:10.3238/arztebl.2010.0809
  20. **Leyk D, Rüter T, Wunderlich M, Heiß A, Kuchmeister G, Piekarski C, Löllgen H.** Sportaktivität, Übergewichtsprävalenz und Risikofaktoren: Querschnittstudie mit mehr als 12 500 Teilnehmern im Alter von 16 bis 25 Jahren. *Dtsch Arztebl International.* 2008;105(46):793–800. doi:10.3238/arztebl.2008.0793
  21. **Löllgen H, ed.** Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis ; mit 178 Tabellen. 3rd ed. Berlin: Springer; 2010.
  22. **Olivier N, Büsch D, Marschall F.** Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre. Schorndorf: Hofmann; 2008.
  23. **Oschütz, H. & Belinova, K.** Training im Alter. In: Denk H, Pache D, Schaller H, eds. *Handbuch Alterssport. Grundlagen, Analysen, Perspektiven.* Schorndorf: Hofmann; 2003:147–196.
  24. **Oster P, Pfisterer M, Schuler M, Hauer K.** Körperliches Training im Alter. *Z Gerontol Geriatr.* 2005;38 Suppl 1:110–3. doi:10.1007/s00391-005-1103-2
  25. **Raschner C, Lembert S, Platzer H, Patterson C, Hilden T, Lutz M.** S3-Check - Evaluierung und Normwertenerhebung eines Tests zur Erfassung der Gleichgewichtsfähigkeit und Körperstabilität. *Sportverletz Sportschaden.* 2008;22(2):100–105. doi:10.1055/s-2008-1027239
  26. **Richter M, Becker C, Seifert J, Gebhard F, Pieske O, Holch M, Lob G.** Prävention von Verletzungen im Alter. *Der Unfallchirurg.* 2002;105(12):1076–1087. doi:10.1007/s00113-002-0540-2
  27. **Rüfer F, Schiller J, Klettner A, Lanzl I, Roider J, Weisser B.** Comparison of the influence of aerobic and resistance exercise of the upper and lower limb on intraocular pressure. *Acta Ophthalmologica.* 2014;92(3):249–52. doi:10.1111/aos.12051

28. **Schaller HJ.** Bewegungskoordination im Alter. In: Denk H, Pache D, Schaller H, eds. Handbuch Alterssport. Grundlagen, Analysen, Perspektiven. Schorndorf: Hofmann; 2003:199–229.
29. **Shumway-Cook A, Baldwin M, Polissar NL, Gruber W.** Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults. *Phys Ther.* 1997;77(8):812–819.
30. **Spirduso WW, Francis K, Eakin T, Stanford C.** Quantification of manual force control and tremor. *J Mot Behav.* 2005;37(3):197–210. doi:10.3200/JMBR.37.3.197-210
31. **Strasser B, Keinrad M, Haber P, Schobersberger W.** Efficacy of systematic endurance and resistance training on muscle strength and endurance performance in elderly adults – a randomized controlled trial. *Wien Klin Wochenschr.* 2009;121(23-24):757–764. doi:10.1007/s00508-009-1273-9
32. **Tarumi T, Gonzales MM, Fallow B, Nualnim N, Pyron M, Tanaka H, Haley AP.** Central artery stiffness, neuropsychological function, and cerebral perfusion in sedentary and endurance-trained middle-aged adults. *Journal of Hypertension.* 2013;31(12):2400–2409. doi:10.1097/HJH.0b013e328364decc
33. **Tittlbach S.** Entwicklung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Eine prospektive Längsschnittstudie mit Personen im mittleren und späteren Erwachsenenalter. Schorndorf: Hofmann; 2002.
34. **Tittlbach S, Bös K, Woll A, Jekauc D, Dugandzic D.** Nutzen von sportlicher Aktivität im Erwachsenenalter. *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz.* 2005;48(8):891–898. doi:10.1007/s00103-005-1106-6
35. **Vogel T, Brechat P, Leprêtre P, Kaltenbach G, Berthel M, Lonsdorfer J.** Health benefits of physical activity in older patients: a review. *Int. J. Clin. Pract.* 2009;63(2):303–320. doi:10.1111/j.1742-1241.2008.01957.x
36. **Volkamer M.** Von der Last mit der Lust im Schulsport. Probleme der Pädagogisierung des Sports. Schorndorf: Hofmann; 1987.
37. **Weisser B, Preuss M, Predel H.** Körperliche Aktivität und Sport zur Prävention und Therapie von inneren Erkrankungen im Seniorenalter. *Med. Klin.* 2009;104(4):296–302. doi:10.1007/s00063-009-1055-1
38. **Werle J.** Gesundheitsförderung. Körperliche Aktivität und Leistungsfähigkeit im Alter. 1st ed. Stuttgart: Kohlhammer; 2006.
39. **Winter, R. & Hartman, C.** Die motorische Entwicklung des Menschen von der Geburt bis ins hohe Alter (Überblick). In: Meinel K, Schnabel G, eds. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. 11th ed. Aachen: Meyer & Meyer; 2007:243–373.
40. **Woll A.** Diagnose körperlich-sportlicher Aktivität im Erwachsenenalter. *Z Sportpsychol.* 2004;11(2):54–70. doi:10.1026/1612-5010.11.2.54



### 4.3 The impact of age and physical activity on motor performances

**Autoren: Julia Last, Burkhard Weisser**

Institut für Sportwissenschaft, Abteilung Sportmedizin,

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Leitung: Prof. Dr. med. B. Weisser

Wortanzahl Gesamtarbeit (ohne Literatur und Tabellen):	2485
Wortanzahl summary:	260

Zitationsstil: International Journal of Sports Medicine

#### 4.3.1 Zusammenfassung deutsch

Die positiven Aspekte sportlicher Aktivität in Bezug auf die Verminderung von Risikofaktoren und chronischen Erkrankungen wie Osteoporose, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Übergewicht sowie Diabetes mellitus sind hinlänglich bekannt (Oster, Pfisterer, Schulter & Hauer, 2005; Vogel et al., 2009, Bonaiuti et al., 2002; Lakka & Bouchard, 2005; Rüfer et al., 2013). Dabei werden schon moderater körperlich-sportlicher Aktivität gesundheitsfördernde Wirkung zugesprochen (Woll & Bös, 2004). Obwohl sportliche Inaktivität als einer der wichtigsten gesundheitlichen Risikofaktoren gilt, treiben weniger als  $\frac{1}{4}$  der deutschen Erwachsenen mehr als 2 h Sport in der Woche (Weisser, Preuss & Predel, 2009; Thiel, Gomolinsky & Huy 2009).

Viele motorische Leistungseinschränkungen ab dem mittleren Lebensalter sind jedoch nicht ausschließlich auf den biologischen Alterungsprozess zurückzuführen. Vielmehr können ungünstige Alltagsgewohnheiten und vor allem Bewegungsmangel für den Leistungsrückgang verantwortlich sein (Leyk et al., 2006). Die motorische Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter wird durch eine Vielzahl sowohl endogener als auch exogener Faktoren beeinflusst. Besonders die altersspezifischen und die inaktivitätsbedingten Veränderungen sind dabei schwer zu unterscheiden und lassen sich vor allem im Altersverlauf nicht immer voneinander trennen. (Schmidtbleicher, 2009).

Ziel dieser Studie ist daher, den Einfluss von Alter und moderater sportlicher Aktivität in einer relativ großen Kohorte mit großer Altersspanne bei verschiedenen motorischen Fähigkeiten (Kraft, Ausdauer, Gleichgewicht) miteinander zu vergleichen.

Die Probanden wurden über Aushänge, die Homepage der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sowie Aufrufe über örtliche Radiosender auf die Untersuchung aufmerksam gemacht und erklärten freiwillig ihre Studienteilnahme.

Vor jeder Leistungsanalyse wurde mittels Fragebogen und körperlicher Untersuchung der Gesundheits- und Aktivitätszustand der Probanden ermittelt. Die

Ausschlusskriterien orientierten sich am PAR Q-Fragebogen (Physical Activity Readiness Questionnaire) der Leitlinien zu Vorsorgeuntersuchungen im Sport der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin (DGSP-Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention, 2007). Insgesamt nahmen 561 Probanden im Alter von 20-70 Jahren an der Studie teil. Nach Anwendung der oben erwähnten Ausschlusskriterien, wie z.B. der Einnahme von Beta-Blockern oder einem auffälligen Befund in der körperlichen Untersuchung, konnte die isometrische Maximalkraft sowie die Gleichgewichtsfähigkeit bei 508 gesunden Probanden gemessen werden. Von diesen 508 Probanden nahmen 290 an den Tests zur Ausdauerleistungsfähigkeit teil. Die Charakterisierung der Gesamtstichprobe ist in Tab.1 dargestellt.

Die Probanden wurden in nach ihrem Aktivitätslevel in zwei Gruppen, sportlich Aktive (mindestens 2h moderater Sport/Woche) und sportlich Inaktive (weniger als 2h moderater Sport/Woche) eingeteilt (Tittlbach, Bös, Woll, Jekauc & Dugandzic, 2005).

Als moderate sportliche Aktivität bezeichnet man einen durch sportliche Aktivität erhöhten Kalorienverbrauch von mehr als 780 Kcal oder 3-6MET (Walking bei 4-7km/h) pro Woche (Tittlbach, Bös, Woll, Jekauc & Dugandzic, 2005; Woll & Bös, 2004). Ausschlaggebend für die Einteilung der Probanden war der zeitliche und Faktor und nicht die Intensität. Diese wurde nur als Mindestkriterium vorausgesetzt. Körperliche Aktivitäten die einen bewegten Alltag ausmachen, wie z.B. Gartenarbeit wurden nicht berücksichtigt. Diese Aktivitäten ziehen zwar ebenfalls eine Erhöhung des Energiegrundumsatzes mit sich, werden aus sportwissenschaftlicher Perspektive jedoch nicht als Sport bezeichnet (Olivier, Büsch & Marschall, 2008; Volkamer, 1987).

Die vorliegenden Daten zeigten, dass zwei Stunden moderate sportliche Aktivität pro Woche einen größeren Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4 mmol/l-Laktatschwelle ausüben als das Alter. Sowohl bei der Betrachtung der isometrischen Maximalkraft der Armbeuger und der Beinstrecker sowie bei der Betrachtung des Gleichgewichts übte das Alter einen höheren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit aus als eine sportliche Aktivität von zwei Stunden pro Woche.

Unsere Daten deuten darauf hin, dass zwei Stunden moderate sportliche Aktivität ausreichen, um einen größeren Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Laktatschwelle auszuüben als das Alter. Für die isometrische Maximalkraft und auch die Gleichgewichtsfähigkeit scheinen zwei Stunden moderate sportliche Aktivität hingegen nicht auszureichen, um den größten Einflussfaktor auf die Leistungsfähigkeit darzustellen.

Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit im Gegensatz zu andern motorischen Fähigkeiten länger trainierbar ist und auch länger auf einem Leistungsniveau erhalten bleiben kann.

Aufgrund der Nichtbeachtung der sportlichen Biographie, der Alltagsaktivitäten und der fehlenden Differenzierung der sportlichen Aktivität der Probanden sollten die vorliegenden Ergebnisse dennoch vorsichtig beurteilt werden. In weiteren Studien gilt es, die Ergebnisse unter Beachtung einer Differenzierung der sportlichen Aktivität, der sportlichen Biographie als auch einer Berücksichtigung der Alltagsgewohnheiten zu verifizieren.



#### 4.3.2 Abstract

We examined the influence of age and two hours of moderate physical activity on aerobic capacity, maximum isometric strength and balance ability. 561 subjects aged 20-70 years participated in the study. Maximum isometric strength and balance ability was measured in 508 healthy subjects. 290 of these 508 subjects completed an exercise test on a bicycle ergometers including lactate measurements. In addition to age and moderate physical activity, body weight, size and gender were also included as predictor variables for aerobic capacity, maximum isometric strength and balance ability.

In the exclusive consideration of the predictors: age and two hours of moderate physical activity, moderate physical activity of two hours per week exerts only a greater influence on the aerobic capacity at the 4 mmol/l threshold than age. Both for the maximum isometric force of the arm flexors and leg extensors as well as for the balance ability, age had a greater contribution for the explanation of the respective models of the motor performances than the physical activity. For all models the residuals were normally distributed and the model could be accepted.

Finally, our data suggest that two hours of moderate physical activity suffice to have a considerably stronger influence on the aerobic capacity than the factor age. For both the isometric maximum strength and the balance ability, two hours of moderate physical activity seem to be insufficient, to be the strongest influence factor on performance. Further studies should clarify whether either the nature or the amount of exercise may change the results of the isometric maximum strength and the balance ability.

### 4.3.3 Introduction

The positive aspects of physical activity for the reduction of risk factors and chronic diseases such as osteoporosis, cardiovascular disease, obesity and diabetes mellitus are well known and documented [1,8,14,16,22]. Moderate physical activity is already awarded to health [27]. Although physical inactivity is one of the main health risk factors, less than a quarter of the German adults are completing more than two hours of physical activity a week [7,19,25]. The tendency of sport abstinence increases with age. The risk of becoming ill due to physical inactivity is significantly higher than to suffer damage by physical activity [14].

Due to the demographic change, physical activity and particularly the preservation and restoration of motor performances in adulthood are getting more important. For the individual physical activity and particularly the preservation and restoration of motor performances in adulthood are getting more important, in order to meet the great desire in old age of physical and mental fitness, and to participate in social life as long as possible [26]. For the general public physical activity and particularly the preservation and restoration of motor performances in adulthood are getting more important, against the background of extended working life and the increase in the prevalence of age-related diseases and related health care costs [24].

The trainability of single motor skills could be documented until old age [3,4]. Even older physical active people can achieve sporting excellence and partially achieve similar performance as younger sedentary people.

Although the positive effects of physical activity on the individual motor skills are demonstrated to old age [3], aging and an associated decline in motor performance cannot be stopped entirely by physical activity [6].

However, many limitations in motor performance from the middle age are not solely due to the biological aging process. Rather unfavorable everyday habits and a sedentary lifestyle may be responsible for the decrease of motor performance [10]. The motor performance is affected by a variety of endogenous and exogenous factors in adulthood.

In particular the age-specific and inactivity-related changes are difficult to distinguish and cannot be separated especially in the course of aging [18].

Therefore, the aim of this study was to investigate the influence of lifestyle factors on functional capacity compared with the factor age. In this case, the effects of age and moderate physical activity were compared in a relatively large cohort with a large age gap for various motor skills with each other. Which factor had a greater impact on strength, aerobic capacity and balance ability, age or moderate physical activity?

#### 4.3.4 *Methods*

Informed consent was obtained by all subjects. The present study was performed in accordance with the ethical standards of the IJSM [5].

Before performance testing, the activity and health status of each subject was determined by questionnaire and physical examination. The exclusion criteria were based on the PAR-Q questionnaire (Physical Activity Readiness Questionnaire) of guidelines for preventive examinations in the sport of the German Society for Sports Medicine and Prevention [20]. 561 subjects aged 20-70 years participated in the study. After application of the above-mentioned exclusion criteria, such as taking beta-blockers or suspicious findings in the physical examination, the maximum isometric force and the balance ability was measured in 508 healthy subjects. 290 of these 508 subjects completed the exercise test on the bicycle ergometers. The characterization of the total sample is shown in Table 1.

The subjects were classified into two groups according to their activity level: physically active (at least 2h of moderate Sports / week) and physically inactive (less than 2h of moderate sports / week) [21]. Moderate physical activity was defined as an increased calorie consumption through physical activity of more than 780 Kcal (3-6MET/half an hour) per week [21,28]. Crucial to the classification of the subjects was the time factor and not the intensity of physical activity of at least moderate intensity. The intensity was

provided only as a minor criterion. Although these activities also contribute to an increase in the basal metabolic rate, from a scientific perspective, these activities are not referred to as physical training [12,23].

### **Aerobic capacity**

The subjects completed an incremental exercise test on a bicycle ergometer (Ergoselect 100) according to the WHO scheme, stepwise 2 min per work load (25/50 W). Heart rate and blood lactate concentration were measured at the end of each work load. Afterwards, the performance (Watt) at the 4mmol/l lactate threshold was determined and the determined performance (Watt) was related to the body weight Watt/kg of the respective subject. The performance at the 4 mmol / l lactate threshold is often used as a parameter for the aerobic capacity .

### **Isometric strength**

The maximum isometric strength of the arm flexors (ABS) and leg extensors (BSS) was determined in Nm with the M3 Diagnos+ Systems (Firma Schnell, Gachenbach). All strength measurements were made on each side with three replications. Only the highest value of the stronger arm was included in the results.

### **Balance ability**

The balance ability was measured by using the S3 check (TST Trend Sport Trading GmbH, Basel), which has proved to be a standardized measuring instrument [15]. The subjects try to keep the balance on a stable circular board, which is movable in the frontal plane. The compensatory movements, to keep the balance, were transferred to the software by an inclination processor. A stability index assessed the frequency and intensity as well as the axis shift of compensatory movements. After a warm up time of 30 seconds each, two test runs were completed.

### **Statistics**

The data were evaluated with the statistical software SPSS 20.0. The predictors' age and physical activity as well as gender, body weight and size were tested by regression

analysis on the criterion of athletic performance in their combined effect under consideration of the statistical requirements for this method of analysis. However, gender, body weight and size demonstrably contribute to performance and were thus included as predictors of the model. The aerobic capacity at the 4 mmol / l threshold, the maximum isometric strength and the balance ability were used as a criterion.

#### 4.3.5 Results

The regression analysis for the aerobic capacity at the 4 mmol/l threshold resulted in an explained variance of 43.6% for the predictors age, physical activity, gender, body weight and size. The variance explained was significant ( $p < 0,001$ ). The predictors age, athletes and body weight were significant ( $p < 0,001$ ), the predictors size and gender were significant as well ( $p < 0,01$ ). According to the codification of the athletes (1= physically active and 2= physically inactive), the physical active subjects had a better aerobic capacity than the physically inactive subjects.

The largest contribution to the explanation of aerobic capacity was from the body weight, followed by the physical activity. Size, age and gender made smaller contributions. Physical activity exerted a greater influence on the aerobic capacity than the age of the subjects. The residuals of the regression analysis were normally distributed, the model could be accepted. The exact values are shown in Table 1.

For the model of the maximum isometric strength of the arm flexors, the regression analysis revealed an explained variance of 60.6%. The variance explained was significant ( $p < 0.001$ ). The regression coefficients are shown in Table 2. All predictors contributed significantly to the explanation of the maximum isometric strength of the arm flexors. Gender made the largest contribution to the explanation of the maximum isometric strength of the arm flexors, followed by age and physical activity. Size and body weight made the smallest contribution. In contrast to the aerobic capacity at the 4mmol/l threshold, the age exerts in this case a greater impact on the maximum isometric

strength of the arm flexors than the physical activity. Again, the residuals were normally distributed and the model could be accepted.

The maximum isometric strength of the leg extensors was significantly clarified with an explained variance of 65% ( $p < 0.001$ ). All predictors of this model contributed significantly as a criterion for explaining the maximum isometric force of the leg extensors ( $p < 0.001$ ). The age of the subjects had the greatest impact on the maximum strength of the leg extensors; and physical activity had the lowest influence. Gender, body weight and size generated the middle of the impact factors. The exact values are shown in Table 3. Finally the residuals were normally distributed and the model could be accepted.

In the model of balance ability, the regression analysis resulted in a significant explanation of the variance (33.0%). All predictors except gender were significant involved in the explanation of the criterion of balance ability ( $p < 0,001$  und  $p < 0,05$ ). In this model, age played the most important role in explaining the balance ability. This was followed by body weight, physical activity and size of the subjects. Due to the rating scale of the balance ability, this model also applies: the older the subjects were, the worse was their balance ability: A physical inactivity, a large body size or a high body weight also caused into poorer results of balance ability. The residuals were normally distributed and the model could be accepted. The exact values are shown in Table 4.

#### 4.3.6 Discussion

The aim of this study was to investigate the influence of lifestyle factors on functional capacity compared with age [9]. The influence of the parameters age and moderate physical activity in relation to aerobic capacity, the maximum isometric strength and the balance ability were compared. For the first time, it was tried to explain simultaneously various motor skills by models with such a large sample (561 subjects, resp. 296 subjects for the aerobic capacity) aged 20-70. In addition to the aerobic capacity at the 4mmol /

---

l threshold, the maximum isometric strength and the balance ability were analyzed as a criterion.

The present study cannot fully support the hypothesis that lifestyle factors have a considerably stronger influence on functional capacity than the factor age [9].

Our data demonstrate that if considering the predictors age and moderate physical activity, moderate physical activity of two hours per week exerts only a greater influence on the aerobic capacity at the 4 mmol/l threshold than age. Both for the maximum isometric force of the arm flexors and leg extensors as well as for the balance ability, age had a greater contribution to the explanation of the respective models of the motor performances than the sporting activity.

The impact of age and moderate physical activity on motor performance is well known and documented as well as the influence of body weight, size and gender on the motor performance. Therefore, in addition to the age and moderate physical activity, these factors were also included in the models. Our data showed a significant impact on the respective model for all these predictors; the only exception was gender at the balance ability. Of course, many other factors can be mentioned, which affect motor performance, such as psycho motivational aspects or genetic predispositions. The inclusion of additional factors, however, would have exceeded the extent of the study, so the study was limited to the factors mentioned above.

The present results might suggest that aerobic capacity can be longer preserved by two hours of moderate physical activity per week, than maximum isometric strength and balance ability. Thus, in old age better performances can be achieved in aerobic endurance sports than in the other motor skills. In contrast to the other investigated motor skills the largest trainings- and activity-related differences of performance could be found in the aerobic capacity [11,13]. Especially in the field of aerobic endurance, top performances can be achieved even in old age. Leyk et al. examined age-related changes in endurance performance of marathon and half-marathon finishers. 25% of the 65-69-year old participants achieved better results than 50% of the 20-54-year old

participants. The surveys also showed that about 25% of the 50 to 69 year olds have started their running training within the last five years [11].

At this point it should be indicated, that with increasing age predominantly endurance-oriented sports are practiced [17,25]. In this study, the physical activities were not further specified, because the aim of the present study was to investigate the influence of only two hours of moderate physical activity on motor performance.

The different age-related declines of maximum strength and aerobic capacity confirm our models as well. Leyk showed that significant deteriorations in marathon or half-marathon running times only occur in the age groups older than 54 [11]. Tittlbach also confirmed a stronger decline of aerobic performance from the fifth decade of age [21]. In contrast, Bula could already demonstrate an age-related decline in maximal strength between 40-50 years [2].

Johnsson was able to demonstrate a direct relation between balance ability and the maximum strength. The study of Johnsson (2007) underlines the assumption that age plays a greater role than two hours of moderate sporting activity not only for maximum strength but also for balance ability.

On closer examination of the isometric maximum force, it becomes clear that the moderate physical activity of two hours per week has only a minor consequence on the leg extensors. One reason for this could be the everyday use of the leg extensors of the participants. Another reason might be the endurance-related sports mentioned above which often are done in older age, like walking or jogging. Here the arm muscles are not primarily trained.

A limitation of the present study is the missing differentiation of the participants 'physical activity' which should be addressed in further studies. In addition, the sporting biography of the participants and the everyday activities should be analyzed in more detail in further studies. Maybe more statements about the influence of different predictors can be made on the motor performance.



Finally, our data suggest that two hours of moderate physical activity are enough to have a considerably stronger influence on the aerobic capacity than the factor age. For both the isometric maximum strength and the balance ability, two hours of moderate physical activity seem to be insufficient, to be the strongest influence factor on performance. Further studies should clarify whether either the nature or the amount of exercise may change the results of the isometric maximum strength and the balance ability.

#### 4.3.7 Tabellen

Tabelle 3 (Tab 1)<sup>4</sup>. Effects of age, physical activity, body size, gender and body weight on aerobic capacity at the 4mmol/threshold. Shown are beta (B) regression coefficient, standard Error (std. Error), standardized regression coefficients (Beta) and t-Values.

Predictor	<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	
Age	-0,01	0,002	-0,25	-5,45	**
Physical activity	-0,516	0,053	-0,433	-9,7	***
Size	0,016	0,005	0,251	3,444	***
Gender	-0,216	0,076	-0,182	-2,85	**
Body weight	-0,019	0,003	-0,471	-7,44	***

\* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001

<sup>4</sup> Die Tabellenbeschriftungen in Klammern entsprechen der Tabellenbeschriftung in der Publikation.

Tabelle 4 (Tab 2)<sup>5</sup>. Effects of age, physical activity, body size, gender and body weight on maximum isometric strength of the arm flexors. Shown are beta (B) regression coefficient, standard Error (std. Error), standardized regression coefficients (Beta) and t-Values.

Predictor	<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	
Age	-0,329	0,38	-0,254	-8,61	***
physical activity	-6,961	1,233	-0,161	-5,64	***
Size	0,342	0,099	0,156	3,45	**
Gender	-21,026	1,702	-0,49	-12,4	***
Body weight	0,226	0,59	0,148	3,81	***

\* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001

Tabelle 5 (Tab 3)<sup>6</sup>. Effects of age, physical activity, body size, gender and body weight on maximum isometric strength of the leg extensors. Shown are beta (B) regression coefficient, standard Error (std. Error), standardized regression coefficients (Beta) and t-Values.

Predictor	<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	
Age	-1,9	0,13	-0,408	-14,644	***
Physical activity	-21,115	4,196	-0,135	-5,032	***
Size	1,513	0,336	-0,192	4,505	***
Gender	-53,435	5,793	-0,346	-9,224	***
Body weight	1,194	0,201	0,217	5,934	***

\* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001

<sup>5-6</sup> Die Tabellenbeschriftungen in Klammern entsprechen der Tabellenbeschriftung in der Publikation

Tabelle 6 (Tab 4)<sup>7</sup>. Effects of age, physical activity, body size, gender and body weight on balance ability. Shown are beta (B) regression coefficient, standard Error (std. Error), standardized regression coefficients (Beta) and t-Values.

Predictor	<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	
Age	0,037	0,003	0,464	12,14	***
Sporting activity	0,535	0,099	0,201	5,429	***
Size	0,018	0,008	0,13	2,213	*
Gender	0,134	0,136	0,051	0,987	
Body weight	0,027	0,005	0,288	5,717	***

\* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001

<sup>7</sup> Die Tabellenbeschriftungen in Klammern entsprechen der Tabellenbeschriftung in der Publikation.

#### 4.3.8 References

- 1 *Bonaiuti D, Shea B, Iovine R, Negrini S, Robinson V, Kemper HC, Wells G, Tugwell P, Cranney A.* Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *Cochrane Database Syst Rev* 2002: CD000333
- 2 *Bula, Ulrich P.* M3 Diagnos + Normwertsudie. München: Ludwig-Maximilians-Universität München, 2007
- 3 *Ciolac EG, Roberts CK, da Silva, J M Rodrigues, Guimarães GV.* Age affects exercise-induced improvements in heart rate response to exercise. *Int J Sports Med* 2014; 35: 371–378
- 4 *Hagerman FC, Walsh SJ, Staron RS, Hikida RS, Gilders RM, Murray TF, Toma K, Ragg KE.* Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2000; 55: B336–46
- 5 *Harriss DJ, Atkinson G.* International Journal of Sports Medicine - ethical standards in sport and exercise science research. *Int J Sports Med* 2009; 30: 701–702
- 6 *Haskell WL, Lee I, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD, Bauman A.* Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 1423–1434
- 7 *Krug S, Jordan S, Mensink, G B M, Müters S, Finger J, Lampert T.* Körperliche Aktivität: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsbla* 2013; 56: 765–771
- 8 *Lakka TA, Bouchard C.* Physical activity, obesity and cardiovascular diseases. *Handb Exp Pharmacol* 2005: 137–163
- 9 *Leyk D, Erley O, Ridder D, Leurs M, Rütther T, Wunderlich M, Sievert A, Baum K, Essfeld D.* Age-related changes in marathon and half-marathon performances. *Int J Sports Med* 2007; 28: 513–517
- 10 *Leyk D, Rohde U, Gorges W, Ridder D, Wunderlich M, Dinklage C, Sievert A, Rütther T, Essfeld D.* Physical performance, body weight and BMI of young adults in Germany 2000 - 2004: results of the physical-fitness-test study. *Int J Sports Med* 2006; 27: 642–647
- 11 *Leyk D, Rütther T, Wunderlich M, Sievert A, Essfeld D, Witzki A, Erley O, Kuchmeister G, Piekarski C, Löllgen H.* Physical performance in middle age and old age: good news for our sedentary and aging society. *Deutsch Arztl Int* 2010; 107: 809–816
- 12 *Olivier N, Büsch D, Marschall F.* Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre. Schorndorf: Hofmann, 2008
- 13 *Oschütz H, Belinova K.* Training im Alter. In: Denk H, Pache D, Schaller H (eds). *Handbuch Alterssport: Grundlagen, Analysen, Perspektiven.* Schorndorf: Hofmann, 2003: 147–196

- 14 *Oster P, Pfisterer M, Schuler M, Hauer K.* Körperliches Training im Alter. *Z Gerontol Geriatr* 2005; 38: i10
- 15 *Raschner C, Lembert S, Platzer H, Patterson C, Hilden T, Lutz M.* S3-Check--Evaluierung und Normwertenerhebung eines Tests zur Erfassung der Gleichgewichtsfähigkeit und Körperstabilität. *Sportverletz Sportschaden* 2008; 22: 100–105
- 16 *Rüfer F, Schiller J, Klettner A, Lanzl I, Roeder J, Weisser B.* Comparison of the influence of aerobic and resistance exercise of the upper and lower limb on intraocular pressure. *Acta ophthalmologica* 2014; 92: 249–252
- 17 *Schaller HJ.* Bewegungskoordination im Alter. In: Denk H, Pache D, Schaller H, Bělinová K (eds). *Handbuch Alterssport: Grundlagen, Analysen, Perspektiven.* Schorndorf: Hofmann, 2003: 199–229
- 18 *Schmidtbleicher D.* Motorische Entwicklung: Gegenstandsbereich. In: Baur J, Bös K, Conzelmann A, Singer R (eds). *Handbuch motorische Entwicklung.* 2<sup>nd</sup> ed. Schorndorf: Hofmann, 2009: 149–167
- 19 *Thiel A, Gomolinsky U, Huy C.* Altersstereotype und Sportaktivität in der Generation 50+. *Z Gerontol Geriat* 2009; 42: 145–154
- 20 *Thomas S, Reading J, Shephard RJ.* Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Canadian journal of sport sciences = Journal canadien des sciences du sport* 1992; 17: 338–345
- 21 *Tittlbach S, Bös K, Woll A, Jekauc D, Dugandzic D.* Nutzen von sportlicher Aktivität im Erwachsenenalter. Eine Längsschnittstudie über 10 Jahre. *Bundesgesundheitsbla* 2005; 48: 891–898
- 22 *Vogel T, Brechat P, Leprêtre P, Kaltenbach G, Berthel M, Lonsdorfer J.* Health benefits of physical activity in older patients: a review. *International Journal of Clinical Practice* 2009; 63: 303–320
- 23 *Volkamer M.* Von der Last mit der Lust im Schulsport: Probleme der Pädagogisierung des Sports. Schorndorf: Hofmann, 1987
- 24 *Weisser B, Preuß M, Predel H.* Körperliche Aktivität und Sport zur Prävention und Therapie von inneren Erkrankungen im Seniorenalter. *Med Klin* 2009; 104: 296–302
- 25 *Weisser B, Preuss M, Predel H.* Körperliche Aktivität und Sport zur Prävention und Therapie von inneren Erkrankungen im Seniorenalter. *Medizinische Klinik* 2009; 104: 296–302
- 26 *Werle J, Woll A, Tittlbach S.* Gesundheitsförderung: Körperliche Aktivität und Leistungsfähigkeit im Alter. 1<sup>st</sup> ed. Stuttgart: Kohlhammer, 2006
- 27 *Woll A, Bös K.* Wirkungen von Gesundheitssport. Berlin: B & G 2004; 20: 97–106
- 28 *Woll A.* Diagnose körperlich-sportlicher Aktivität im Erwachsenenalter. *Z Sportpsychol* 2004; 11: 54–70



#### 4.4 Belastungssteuerung und körperliche Aktivität in der Lebensspanne

**Autoren:** Julia Last, Burkhard Weisser

Institut für Sportwissenschaft, Abteilung Sportmedizin, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Leitung: Prof. Dr. med. B. Weisser

Wortanzahl Gesamtarbeit (Ohne Literatur und Tabellen): 2332  
Wortanzahl Zusammenfassung: 221

Zitationsstil: APA (American Psychological Association) 6th

#### 4.4.1 Zusammenfassung und Schlüsselwörter

##### EINLEITUNG

Der Zusammenhang zwischen kardialen und metabolischen Belastungsparametern und dem subjektiven Belastungsempfinden wurde bereits in Studien belegt (Borg, 1998; Borg, v.d. Burg, Hassmén, Kaijser, & Tanaka, 1987; Scherr et al., 2013). Ziel dieser Studie ist es, vor dem Hintergrund Alter, Geschlecht und sportlicher Aktivität, das subjektive Belastungsempfinden mit metabolischen und objektiven kardialen Parametern der Leistungsdiagnostik zu vergleichen.

##### METHODE

Im Rahmen einer Querschnittsuntersuchung wurden nach Anwendung der Ausschlusskriterien 253 Probanden (20-70 Jahre) auf dem Fahrradergometer auf ihre Ausdauerleistungsfähigkeit hin untersucht. Mittels Interpolation wurden die Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130 (Physical working capacity) sowie bei einer Laktatkonzentration von 4mmol/l (Pla4.0) ermittelt und vor dem Hintergrund Alter, Geschlecht und sportlicher Aktivität verglichen.

##### ERGEBNIS

Es konnten sowohl für die Gesamtstichprobe als auch in den einzelnen Altersklassen im geschlechts- und aktivitätsbedingten Vergleich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Borg-RPE—Skala-Angaben an der Pla4.0 festgestellt werden. Gänzlich anders verhielt es sich bei dem Vergleich der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130. Dort konnten bis auf wenige Ausnahmen durchweg signifikante Unterschiede bezüglich der Borg-RPE-Skala-Angabe an der PWC130 nachgewiesen werden.

##### DISKUSSION

Erstmals wurde neben der Pla4.0 auch die PWC130 mit der subjektiven Belastungseinschätzung durch die Borg-RPE-Skala verglichen. Die vorliegenden Daten verdeutlichen, dass die Borg-RPE-Skala nicht nur für die Leistungsdiagnostik sondern



auch für die Belastungssteuerung eine kostengünstige und einfach durchzuführende Alternative zu herzfrequenzbasierter Leistungsdiagnostik ohne Ausbelastung darstellt.

Schlüsselwörter: Borg-RPE-Skala, subjektives Belastungsempfinden, Belastungssteuerung im Alterssport, PWC, Laktat

#### 4.4.2 Einleitung

Die positiven Aspekte sportlicher Aktivität in Bezug auf die Verminderung von Risikofaktoren und chronischen Erkrankungen wie Osteoporose, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Übergewicht sowie Diabetes mellitus sind hinlänglich bekannt (Haskell et al., 2007; Lakka & Bouchard, 2005; Oster, Pfisterer, Schuler, & Hauer, 2005; Rüfer et al., 2013; Vogel et al., 2009). Obwohl sportliche Inaktivität als einer der wichtigsten gesundheitlichen Risikofaktoren gilt, treiben weniger als ¼ der deutschen Erwachsenen mehr als 2h Sport in der Woche (Krug et al., 2013; Thiel, Gomolinsky, & Huy, 2009; Weisser, Preuß, & Predel, 2009). Die Tendenz der Sportabstinenz steigt mit zunehmendem Alter. Dabei ist das Risiko durch sportliche Inaktivität zu erkranken bei Weitem höher als durch sportliche Aktivität zu Schaden zu kommen (Oster et al., 2005). Die richtige Trainingsintensität ist dabei für den Trainingserfolg entscheidend (McArdle, Katch, & Katch, 2010). Medizinisch überwachte Leistungsanalysen bieten die zuverlässigste Möglichkeit, Aussagen über den Trainingszustand und entsprechende Trainingsintensitäten zu treffen. Im Ausdauerbereich stellt die maximale Sauerstoffaufnahme  $VO_2\text{max}$  mittels spiro-ergometrischer Untersuchungen den Goldstandard zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit dar (Stickland, Butcher, Marciniuk, & Bhutani, 2012). Neben spiro-ergometrischen Untersuchungen haben sich auch metabolische Belastungsparameter wie die Laktatanalyse in der Leistungsdiagnostik etabliert. Die Laktatkonzentrationen im Kapillarblut beschreiben verschiedene Stoffwechselbereiche des menschlichen Organismus und können so verschiedenen Trainingsintensitäten zugeordnet werden. Die ursprünglich für den Leistungssport entwickelte Laktatanalyse eignet sich auch bei Veränderungen der physiologischen Frequenzverhältnisse der Herzfrequenz durch die Einnahme von Medikamenten, wie z.B. Betablockern, zur Definition von Belastungsintensitäten (Steinacker, 2010). Anhand verschiedener Schwellenkonzepte, wird die Leistungsfähigkeit eines Sportlers bei fixen Laktatkonzentrationen wie z.B. 4mmol/l Laktat (Pla4.0) oder definierten Laktatanstiegen bestimmt. Aber auch anhand der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) oder des maximalen Laktat-Steady-State (maxLass) können Aussagen über den Trainingszustand getroffen und individuelle

Trainingsintensitäten bestimmt werden (Löllgen, 2010; McArdle et al., 2010; Steinacker, 2010). Auch wenn die Debatte um die Anwendung der verschiedenen Laktatschwellenmodelle seit längerem besteht, hat diese noch zu keiner einheitlichen Verwendung eines der Modelle führen können (Faude, Kindermann, & Meyer, 2009; Scharhag-Rosenberger, 2012). Vielmehr werden die verschiedenen Laktatschwellenmodelle trotz ihrer Limitationen zur Leistungsdiagnostik verwendet und gelehrt und haben weiterhin eine große Bedeutung als Kenngröße zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit (Scharhag-Rosenberger, 2012; Steinacker, 2010).

Im Gegensatz zu den metabolischen Belastungsparametern bieten kardiale Belastungsparameter eine relativ einfache Möglichkeit die Ausdauerleistungsfähigkeit einzuschätzen und Trainingsempfehlungen auszusprechen. Grundlage für diese Verfahren bildet das Messen der Herzfrequenz mittels EKG. Grundannahme dieser Leistungsanalysen bildet das Herzfrequenzverhalten unter Belastung. Man geht von einer proportional zur Leistung und O<sub>2</sub>-Aufnahme ansteigenden Herzfrequenz unter Belastung aus (Löllgen, Fahrenkrog, & Löllgen, 2010). Die „physical working capacity“ (PWC) stellt dabei ein weitverbreitetes Verfahren der Leistungsdiagnostik im Ausdauerbereich dar. Es wird sowohl Leistung als auch Herzfrequenz gemessen und mit Hilfe von Extra- oder Interpolation die Leistung [W] bei einer bestimmten Herzfrequenz ermittelt. Auch wenn sich dieses Verfahren im klinischen Alltag aufgrund der großen Streubreite im Herzfrequenzverhalten nicht durchsetzen konnte (Löllgen et al., 2010), erfährt diese Form der Leistungsanalyse im wissenschaftlichen Bereich aber auch in der Arbeitsmedizin weiterhin eine große Bedeutung (Bland, Pfeiffer, & Eisenmann, 2012; Finger et al., 2013; Hacke, C., Weisser, B., 2012; Ochmann, Preisser, & Nowak, 2011; Scheiber, Seifert, & Müller, 2011; Woll et al., 2013). Eine ebenfalls einfache und vor allem kostengünstige Methode der Leistungsdiagnostik bietet das subjektive Bestimmen des Anstrengungsempfindens. Das Anstrengungsempfinden stellt die subjektive Einschätzung auf die Reizintensität einer körperlichen Belastung dar und kann mittels der Borg-RPE-Skala (RPE-Skala, „Ratings of perceived exertion“) (**Tabelle 1**) erfasst werden (Borg, 1962; Borg, 1970; Borg, 1998, 2004). Auch wenn Standardlehrbücher diese Form der Belastungssteuerung aufführen, wird diese einfache

und aussagekräftige Skala in der täglichen Routine in Deutschland noch zu selten eingesetzt (Löllgen, 2004, 2004). Der Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Borg-RPE-Skala-Angaben wurde bereits in verschiedenen Studien belegt (Borg, 1998; Borg, v.d. Burg, Hassmén, Kaijser, & Tanaka, 1987; Scherr et al., 2013). Nur wenige Studien haben bisher den Zusammenhang zwischen metabolischen Parametern und subjektivem Belastungsempfinden im Alter untersucht (Scherr et al., 2013). Es fehlen objektive Daten, inwiefern sich subjektives Belastungsempfinden und kardiale und metabolische Parameter in der Leistungsdiagnostik unterscheiden und ob das subjektive Belastungsempfinden eine kostengünstige und einfach praktikable Alternative der Leistungsdiagnostik im Ausdauerbereich und somit auch zur Belastungssteuerung darstellen kann. Ziel dieser Studie ist daher, vor dem Hintergrund Alter, Geschlecht und sportlicher Aktivität, das subjektive Belastungsempfinden mit metabolischen und objektiven kardialen Parametern, wie Laktatmessung und herzfrequenzgesteuerter Belastung, der Leistungsdiagnostik zu vergleichen.

#### 4.4.3 Methode

Insgesamt nahmen nach Anwendung der Ausschlusskriterien 253 Probanden (129 Männer und 124 Frauen) von insgesamt 508 Probanden im Alter von 20-70 Jahren an den Untersuchungen zur aeroben Ausdauer teil. Die Ausschlusskriterien orientierten sich am PAR Q-Fragebogen (Physical Activity Readiness Questionnaire) der Leitlinien zu Vorsorgeuntersuchungen im Sport der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin (DGSP, 2007). Jeder Leistungsanalyse gingen eine körperliche Untersuchung sowie eine kurze Anamnese voran, um den Gesundheits- und Aktivitätszustand der Probanden zu ermitteln. Die Regeln der Helsinki-Konventionen wurden eingehalten. Die Probanden wurden über die Studie und die Verwendung der Daten aufgeklärt und willigten schriftlich in die Teilnahme sowie die anonymisierte Verwendung der Daten ein. Die Probanden wurden nach ihrem Aktivitätslevel in zwei Gruppen, sportlich Aktive ( $\geq 2$  h moderater Sport/Woche) und sportlich Inaktive ( $< 2$  h moderater Sport/Woche)

eingeteilt (Tittlbach, Bös, Woll, Jekauc, & Dugandzic, 2005). Körperliche Aktivitäten, die einen bewegten Alltag ausmachen, wie z.B. Gartenarbeit, wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt. Diese Aktivitäten ziehen zwar ebenfalls eine Erhöhung des Energiegrundumsatzes mit sich, sind jedoch schwierig zu quantifizieren und werden aus sportwissenschaftlicher Perspektive nicht als sportliche Aktivität bezeichnet (Olivier, Büsch, & Marschall, 2008).

Charakteristika und grundlegende anthropometrische Daten der Stichprobe sind in **Tabelle 1** zusammengestellt. Die Probanden wurden nach WHO-Schema stufenförmig 2 Minuten pro Wattstufe auf dem Fahrradergometer (Ergoselect 100) belastet. Je nach Leistungsstand wurde bei 50W oder 75W mit der Belastung begonnen und die Belastung um jeweils 25W gesteigert. Es wurde am Ende jeder Belastungsstufe die Herzfrequenz mittels EKG dokumentiert, Kapillarblut zur Bestimmung der Laktatwerte aus dem Ohrläppchen entnommen und eine Einstufung auf der Borg-Skala durch die Probanden selbst vorgenommen. Mittels Photometer der Firma Dr. Lange wurden die Laktatwerte bestimmt. Als metabolischer Parameter wurde die Leistung [W] der Probanden bei einer Laktatkonzentration von 4mmol/l (Pla4.0) bestimmt und auf das Körpergewicht bezogen. Gleichzeitig wurde die Borg-Skala-Angabe an der Pla4.0 mittels Interpolation bestimmt. Als kardialer Parameter wurde die Leistung [W] der Probanden bei einer PWC130 ermittelt und ebenfalls auf das Körpergewicht der Probanden bezogen. Aufgrund der hohen Altersspanne des Probandenkollektivs war die Bestimmung der PWC150 und PWC170 nicht bei allen Probanden möglich. Zur Ermittlung des subjektiven Belastungsempfindens wurden die Borg-Skala-Angaben der Pla4.0 sowie an der PWC130 mittels Interpolierung ermittelt. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der Statistik Software SPSS. Aufgrund geschlechtsspezifischer und gewichtsbedingter Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit wurden sowohl Geschlecht als auch Gewicht als Kovariate in den aktivitätsbedingten Berechnungen unter Beachtung der statistischen Voraussetzungen für dieses Analyseverfahren berücksichtigt. Ebenfalls wurden aufgrund aktivitäts- und gewichtsbedingter Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit, sowohl die sportliche Aktivität als auch das Gewicht als Kovariate in den geschlechtsabhängigen Berechnungen unter Beachtung der statistischen Voraussetzungen für dieses

Analyseverfahren berücksichtigt. Die Mittelwertunterschiede der Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0 und der PWC130 wurden in den einzelnen Altersklassen differenziert nach Aktivitätslevel und Geschlecht durchgeführt und mittels Kovarianzanalyse (ANCOVA) geprüft.

#### 4.4.4 Ergebnisse

Zunächst wurden die Borg-RPE-Skala-Angaben der Probanden an der Pla4.0 für die jeweiligen Altersklassen gegliedert nach Geschlecht und sportlichen Aktivitätsstatus miteinander verglichen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0 sind in **Tabelle 3** wiedergegeben. Es konnten sowohl für die Gesamtstichprobe als auch in den einzelnen Altersklassen im geschlechtsspezifischen als auch aktivitätsspezifischen Vergleich keine signifikanten Unterschiede der Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0 festgestellt werden. Auch im Altersverlauf zeigten sich unter denselben Vergleichskriterien keine signifikanten Unterschiede. Im Vergleich der Borg-RPE-Skala-Angabe zwischen 20-30-Jährigen und 60-70-Jährigen zeigten sich weder zwischen sportlich Aktiven und Inaktiven als auch zwischen Männern und Frauen signifikante Unterschiede. Auch in den Gesamtstichproben der jungen und alten Altersklasse konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Gänzlich anders verhielt es sich bei dem Vergleich der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130. Die Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130 sind in **Tabelle 4** dargestellt. Bis auf den Vergleich der 50-60-Jährigen aktiven und inaktiven Sportler sowie der 20-30-Jährigen Männer und Frauen konnten durchweg signifikante Unterschiede bezüglich der Borg-RPE-Skala Angabe an der PWC130 festgestellt werden. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in **Tabelle 6** dargestellt. In den Vergleichen der ältesten mit der jüngsten Altersklasse konnten ausschließlich bei den Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130 signifikante Unterschiede verzeichnet werden. Die univariaten Varianzanalysen sind in **Tabelle 5** dargestellt. Die Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0 unterschieden sich im Vergleich der 20-30-Jährigen mit den

60-70-Jährigen weder bei den aktiven Sportlern noch bei den inaktiven Sportlern, weder bei den Männern noch bei den Frauen und auch nicht im Vergleich der Gesamtgruppen.

#### 4.4.5 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung bestand darin, das subjektive Belastungsempfinden mittels Borg-RPE-Skala mit objektiven metabolischen und kardialen Methoden der Leistungsdiagnostik vor allem vor dem Hintergrund Alter, Geschlecht und sportlicher Aktivität zu vergleichen. In der Literatur gilt die Borg-RPE-Skala als valides Mittel zur Einschätzung des subjektiven Belastungsempfindens (Borg, 1962, 1998, 2004; Eston, 2012; Scherr et al., 2013). Die Daten der vorliegenden Studie bestätigen, dass sowohl sportliche Aktivität als auch Alter und Geschlecht keinen Einfluss auf die Borg-Skala-Angaben ausüben (Eston, 2012; Faulkner, Parfitt, & Eston, 2007; Scherr et al., 2013). Wir konnten keine altersabhängigen, geschlechtsspezifischen oder aktivitätsbedingte Unterschiede bezüglich der Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0 feststellen. Scherr et al. (2013) konnten ähnliche Ergebnisse nachweisen, jedoch entsprachen die Borg-RPE-Angaben an der Pla4.0 der vorliegenden Studie denen der individuellen anaeroben Schwelle (IAT) von Scherr. Die BORG-RPE-Skalen-Werte an der Pla4.0 lagen bei Scherr et al. mit durchschnittlich 14,1 höher als bei der vorliegenden Untersuchung (13,68). Unsere Daten zeigen, dass ab einem Borg-RPE-Skalen-Wert von größer/gleich 14 von einer anaeroben Ausdauerbelastung ausgegangen werden kann. Für die Trainingspraxis bedeuten diese Ergebnisse jedoch kaum einen Unterschied, da ausschließlich mit vollen Werten der Skala gearbeitet wird. Entgegen der Annahme, dass subjektive Belastungseinschätzungen für Neu- und Wiedereinsteiger im Alterssport aufgrund fehlender Bewegungserfahrungen und entsprechendem Körpergefühl nicht geeignet sind (Illaraza, Myers, Kottman, Rickli, & Dubach, 2004; Lagerström, 1987), konnten unsere Daten zeigen, dass sich die Borg-RPE-Skala-Angaben bei sportlich Aktiven und sportliche Inaktiven an der Pla4.0 nicht signifikant unterscheiden. Die Borg-Skala ist

somit durchaus für eine Einschätzung des Belastungsempfindens auch für nichtaktive Personen, bzw. Wiedereinsteiger geeignet. Im Gegensatz zu den Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0 zeigten die Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130 in der vorliegenden Studie bis auf wenige stichprobenabhängige Ausnahmen signifikante Unterschiede im aktivitätsbedingten, geschlechtsspezifischen und vor allem auch altersabhängigen Vergleich. Die Borg-RPE-Skala-Angaben der inaktiven Personen lagen signifikant über denen der aktiven Sportler gleicher Altersklassen und die Borg-RPE-Skala-Angaben der Frauen lagen signifikant über den Borg-RPE-Skala-Angaben der Männer gleicher Altersklasse. Mit zunehmendem Alter nahmen die Borg-RPE-Skala-Angaben bei einer Herzfrequenz von 130 bei Männern und Frauen deutlich zu. Da das Anstrengungsempfinden eine individuelle Messgröße darstellt, die mit dem Alter nicht abnimmt (Borg, 2004), scheinen altersbedingte Veränderungen des Herzfrequenzverhaltens für die Unterschiede des Belastungsempfindens bei gleicher Herzfrequenz (in diesem Fall 130/min) verantwortlich zu sein. So sinkt die maximale Herzfrequenz mit zunehmenden Alter deutlich ab (Hollmann & Strüder, 2009; Löllgen, 2010; Steinacker, 2010), während die Streubreite des Herzfrequenzverhaltens mit zunehmenden Alter steigt (Borg, 2004). Kakarot und Müller (2013) zeigten, dass sowohl die Herzfrequenz als auch die Borg-RPE-Skala zur Erfassung von physischer Belastung geeignet scheinen. Die Herzfrequenz erwies sich dabei jedoch als nicht so aussagekräftig wie die Borg-RPE-Skala (Kakarot & Müller, 2014). Entgegen der Ergebnisse von Kakarot und Müller (2013) verdeutlichen die Ergebnisse der vorliegenden Studie, dass eine Einschätzung der Belastung mittels Herzfrequenz vor allem im Alter eher ungeeignet scheint und eine Belastungseinschätzung durch die Borg-RPE-Skala vorzuziehen ist (Borg, 2004). Belastungsintensitäten, die allein auf kardialen Parametern beruhen und nicht durch individuelle Ausbelastung bestimmt wurden, sind als Trainingsherzfrequenzen aufgrund großer interindividueller Unterschiede abzulehnen. Aus Angst vor möglichen Risiken durch ungenügenden Ausbildung des Personals oder auch gesundheitliche Einschränkungen der Patienten wird eine Ausbelastung jedoch häufig vermieden (Weisser & Okonek, 2003). Den Einsatz einer PWC zu leistungsdiagnostischen Zwecken können wir aufgrund der vorliegenden Daten nicht



empfehlen. Vor allem im Bereich der Belastungssteuerung wird im Gesundheits- und Breitensportbereich Trainingsintensitäten anhand maximaler Herzfrequenzen empfohlen. Nach wie vor werden dabei zur Ermittlung von Trainingsherzfrequenzen Faustformeln wie „220 – Lebensalter in Jahren“ herangezogen (Löllgen et al., 2010). Die vorliegenden Daten verdeutlichen, dass die Borg-RPE-Skala nicht nur für die Leistungsdiagnostik sondern auch im Bereich der Belastungssteuerung eine valide, kostengünstige und einfach durchzuführende Alternative im Ausdauerbereich darstellt. Vor allem aufgrund der guten Übereinstimmung in Bezug auf die Pla4.0 ist eine Belastungssteuerung mittels Borg-RPE-Skala zu empfehlen. Nicht nur für Alterssportler, auch für Neu- und Wiedereinsteiger bietet die Borg-RPE-Skala eine gute Möglichkeit, eine individuelle Belastungssteuerung zu ermöglichen und auf interindividuelle Unterschiede der motorischen Leistungsfähigkeit nicht nur im Alter einzugehen. Selbst bei der Einnahme von Medikamenten, die einen Einfluss auf die Herzfrequenz ausüben, kann die Borg-RPE-Skala zur Belastungssteuerung eingesetzt werden (Löllgen, 2004). Als Limitation der vorliegenden Studie kann zunächst die Probandenanzahl kritisch betrachtet werden. Bei einer Altersspanne von 20-70 Jahren nahmen insgesamt 253 Probanden an der Ausdauerbelastung teil. Vor allem vor dem Hintergrund der sportlichen Inaktivität waren in den einzelnen Altersklassen teilweise größere Stichprobenunterschiede zu verzeichnen, die in weiteren Studien vermieden werden sollten. Im Vergleich zu der Untersuchung von Scherr et al. (2013) ist die Anzahl der Gesamtkohorte der vorliegenden Studie deutlich geringer. Das Durchschnittsalter der vorliegenden Studie lag jedoch mit 49,7 Jahren deutlich über dem von 27 Jahren (Scherr et al., 2013). Die große Altersspanne von 20-70 Jahren hat zur Auswahl des submaximalen Belastungstests geführt, da neben des teilweise höheren Lebensalters, auch eine sportliche Inaktivität bei ca. 44% der Probanden zu tragen kam. Die Auswahl der Herzfrequenz als kardialen und der Pla4.0 als metabolischen Belastungsparameter sollten in weiteren Studien um weitere Schwellenkonzepte und vor allem kardiopulmonale Belastungsparametern ergänzt werden.

Ohne Frage sollte an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Erhebung der Borg-RPE-Skala keine medizinisch überwachte Leistungsdiagnostik ersetzen kann. Es

handelt sich vielmehr um eine Schätzung, die möglichst durch metabolische oder kardiopulmonale Parameter ergänzt werden sollte. Die relativ hohen Standardabweichungen für die Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0 sowie der PWC130 waren bei der Stichprobengröße zu erwarten. Trotz der vorliegenden Limitationen liefern die Daten der vorliegenden Studie aktuelle Ergebnisse, die die Verwendung der Borg-RPE-Skala nicht nur im leistungsdiagnostischen Bereich unterstützen, sondern vor allem im Bereich der Belastungssteuerung befürworten.

Dieses Projekt wurde durch das BMWI unter der Nummer 16399N gefördert.

Es besteht kein Interessenkonflikt der Autoren.

#### 4.4.6 Tabellen

Die Tabellenbeschriftungen in den Klammern entsprechen den Tabellenbeschriftungen der Publikation.

*Tabelle 7* (Tabelle 1). Borg-Skala des subjektiven Belastungsempfindens (modifiziert nach Borg, 1998; Borg, 2004) Scales with correct up-dated instruction can be obtained from [borgperception@telia.com](mailto:borgperception@telia.com).

Tabelle 1: Borg-Skala des subjektiven Belastungsempfindens (modifiziert nach Borg, 1998; Borg, 2004) Scales with correct up-dated instruction can be obtained from [borgperception@telia.com](mailto:borgperception@telia.com).

6	Überhaupt nicht anstrengend
7	
8	Extrem leicht
9	
10	
11	Leicht
12	
13	Etwas anstrengend
14	
15	Anstrengend
16	
17	Sehr anstrengend
18	
19	Extrem anstrengend
20	Maximale Anstrengung

Tabelle 8 (Tabelle 2). Charakterisierung der Gesamtstichprobe.

Tabelle 2: Charakterisierung der Gesamtstichprobe								
	Geschlecht	Anzahl	Alter (Jahre)		Gewicht (kg)		Größe (cm)	
			MW	SD	MW	SD	MW	SD
sportlich aktiv	Männer	n=144	50,41	±16,4	81,04	±10,9	180,55	±6,7
	Frauen	n=149	52,88	±16,6	64,93	±10,5	167,21	±7,2
	gesamt	n=293	51,67	±16,5	72,85	±13,4	173,76	±9,7
sportliche inaktiv	Männer	n=111	46,6	±16,0	83,22	±13,1	181,03	±8,1
	Frauen	n=103	47,41	±16,7	66,53	±10,4	167,14	±6,6
	gesamt	n=214	46,99	±16,3	75,19	±14,5	174,34	±10,2
gesamt	Männer	n=256	48,75	±16,3	81,99	±11,9	180,76	±7,3
	Frauen	n=252	50,64	±16,8	65,58	±10,4	167,18	±7,0
	gesamt	n=508	49,69	±16,6	73,84	±13,9	174,01	±9,9

MW Mittelwert; SD Standardabweichung

Tabelle 9 (Tabelle3). Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0.

Tabelle 3: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Borg-RPE-Skala-Angaben an der Pla4.0								
Altersklasse	Sportl. Aktivität	N	MW	SD±	Geschlecht	N	MW	SD±
20-30	aktiv	28	13,77	2,0	Männer	31	14,05	2,3
	inaktiv	34	13,89	2,2	Frauen	31	13,63	1,9
	insgesamt	62	13,84	2,1				
30-40	aktiv	23	13,35	3,6	Männer	25	13,07	3,5
	inaktiv	23	13,93	2,2	Frauen	21	14,32	2,1
	insgesamt	46	13,64	3,0				
40-50	aktiv	29	14,00	1,8	Männer	22	13,98	1,9
	inaktiv	16	14,50	2,9	Frauen	23	14,37	2,5
	insgesamt	45	14,18	2,2				
50-60	aktiv	20	14,36	1,6	Männer	22	13,43	2,2
	inaktiv	19	12,72	2,0	Frauen	17	13,72	1,8
	insgesamt	39	13,56	2,0				
60-70	aktiv	30	13,51	3,0	Männer	23	13,97	1,5
	inaktiv	20	13,60	1,8	Frauen	27	13,18	3,2
	insgesamt	50	13,54	2,6				
insgesamt	aktiv	137	13,64	2,8	Männer	127	13,75	2,4
	inaktiv	112	13,73	2,2	Frauen	127	13,61	2,7
	insgesamt	249	13,68	2,5				

MW Mittelwert; SD Standardabweichung

Tabelle 10 (Tabelle 4). Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130.

<b>Tabelle 4: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Borg-RPE—Skala-Angaben an der PWC130</b>								
<b>Altersklasse</b>	<b>Sportl. Aktivität</b>	<b>N</b>	<b>MW</b>	<b>SD±</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>N</b>	<b>MW</b>	<b>SD±</b>
<b>20-30</b>	<b>aktiv</b>	28	10,96	1,6	<b>Männer</b>	31	11,55	2,3
	<b>inaktiv</b>	34	14,27	2,6	<b>Frauen</b>	31	14,00	2,6
	<b>insgesamt</b>	62	12,78	2,7				
<b>30-40</b>	<b>aktiv</b>	23	11,00	3,0	<b>Männer</b>	24	11,00	3,0
	<b>inaktiv</b>	23	13,47	2,5	<b>Frauen</b>	22	13,58	2,4
	<b>insgesamt</b>	46	12,23	3,0				
<b>40-50</b>	<b>aktiv</b>	29	12,14	2,0	<b>Männer</b>	22	11,65	1,6
	<b>inaktiv</b>	16	14,05	1,7	<b>Frauen</b>	23	13,95	1,8
	<b>insgesamt</b>	45	12,82	2,1				
<b>50-60</b>	<b>aktiv</b>	17	12,45	2,1	<b>Männer</b>	19	11,98	1,7
	<b>inaktiv</b>	19	13,32	2,2	<b>Frauen</b>	17	13,94	2,2
	<b>insgesamt</b>	36	12,91	2,2				
<b>60-70</b>	<b>aktiv</b>	28	13,39	3,3	<b>Männer</b>	19	12,51	1,3
	<b>inaktiv</b>	17	16,16	4,0	<b>Frauen</b>	26	15,85	4,4
	<b>insgesamt</b>	45	14,44	3,8				
<b>insgesamt</b>	<b>aktiv</b>	131	11,83	3,0	<b>Männer</b>	118	11,75	2,2
	<b>inaktiv</b>	109	14,20	2,8	<b>Frauen</b>	122	14,03	3,4
	<b>insgesamt</b>	240	12,91	3,1				

**MW** Mittelwert; **SD** Standardabweichung

*Tabelle 11* (Tabelle5). Darstellung der univariaten Varianzanalyse der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130 zwischen den 20-30-Jährigen und den 60-70-Jährigen.

<b>Tabelle 5:</b> Darstellung der univariaten Varianzanalyse der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130 zwischen den 20-30-Jährigen und den 60-70-Jährigen			
<i>Abhängige Variable Borg-RPE-Skala-Angabe PWC 130</i>			
<b>Haupteffekte</b>	<b>F<sub>df</sub></b>	<b>p</b>	<b>η<sup>2c</sup></b>
<b>Gruppe</b>			
aktiv	F <sub>1,52</sub> =10,92	0,02	,0174
inaktiv	F <sub>1,47</sub> =7,89	0,07	0,0144
Männer	F <sub>1,46</sub> =5,43	0,024	0,106
Frauen	F <sub>1,53</sub> =14,45	<0,001	0,21
gesamt	F <sub>1,102</sub> =17,14	<0,001	0,144

*Tabelle 12* (Tabelle 6). Darstellung der univariaten Varianzanalyse der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130 nach Altersklassen.

<b>Tabelle 6:</b> Darstellung der univariaten Varianzanalyse der Borg-RPE-Skala-Angaben an der PWC130 nach Altersklassen				
<i>Abhängige Variable Borg-RPE-Skala-Angabe PWC 130</i>				
<b>Haupteffekte</b>	<b>Vergleich</b>	<b>F<sub>df</sub></b>	<b>p</b>	<b>η<sup>2c</sup></b>
<b>Altersgruppe</b>	1 Aktivität 2 Geschl.			
20-30	1	F <sub>1,58</sub> =32,629	<0,001	0,360
	2		n.s.	
30-40	1	F <sub>1,42</sub> =15,926	<0,001	0,275
	2	F <sub>1,42</sub> =5,235	0,027	0,111
40-50	1	F <sub>1,41</sub> =10,407	0,02	0,202
	2	F <sub>1,41</sub> =6,925	0,016	0,133
50-60	1		n.s.	
	2	F <sub>1,32</sub> =4,456	0,043	0,122
60-70	1	F <sub>1,41</sub> =8,037	0,007	0,167
	2	F <sub>1,42</sub> =5,847	0,02	0,122
n.s.: nicht signifikant				

#### 4.4.7 Literatur

- Bland, J., Pfeiffer, K., & Eisenmann, J. C. (2012). The PWC170: comparison of different stage lengths in 11-16 year olds. *European journal of applied physiology*, 112(5), 1955–1961. doi:10.1007/s00421-011-2157-z.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 2(2), 92–98.
- Borg, G. (1962). *Studia Psychologica et Paedagogica, Series altera: XI. Physical Performance and perceived exertion*. Lund, Sweden: Gleerup.
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt International*, 101(15), 1016-1021.
- Borg, G., v.d. Burg, M., Hassmén, P., Kaijser, L., & Tanaka, S. (1987). Relationships between perceived exertion, HR and HLa in cycling, running and walking. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 9(3), 69–77.
- DGSP-Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention. *PAR-Q-Fragebogen*. URL: [http://www.dgsp.de/\\_downloads/allgemein/leitlinie\\_vorsorgeuntersuchung\\_4.10.2007-Anlage-1.pdf](http://www.dgsp.de/_downloads/allgemein/leitlinie_vorsorgeuntersuchung_4.10.2007-Anlage-1.pdf)
- Eston, R. (2012). Use of ratings of perceived exertion in sports. *International journal of sports physiology and performance*, 7(2), 175–182.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(6), 469–490.
- Faulkner, J., Parfitt, G., & Eston, R. (2007). Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 397–407. doi:10.1007/s00421-007-0508-6
- Finger, J. D., Gößwald, A., Härtel, S., Müters, S., Krug, S., Hölling, H., Kuhnert, R., Bös, K. (2013). Messung der kardiorespiratorischen Fitness in der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 56(5-6), 885-893. doi:10.1007/s00103-013-1694-5
- Hacke, C., Weisser, B. (2012). Ruhe- und Belastungsblutdruck: Zusammenhang kardiovaskulärer Risikofaktoren in der Kieler EX.PRESS. Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63(12), 351–356.
- Hollmann, W., & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin ; mit 91 Tabellen* (5., völlig neu bearb. und erw. Aufl). Stuttgart, New York, NY: Schattauer.
- Ilarraza, H., Myers, J., Kottman, W., Rickli, H., & Dubach, P. (2004). An evaluation of training responses using self-regulation in a residential rehabilitation program. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation*, 24(1), 27–33.
- Kakarot, N., & Müller, F. (2014). Assessment of physical strain in younger and older subjects using heart rate and scalings of perceived exertion. *Ergonomics*, 57(7) 1052-67. doi:10.1080/00140139.2014.910613
- Krug, S., Jordan, S., Mensink, G., Müters, S., Finger, J., & Lampert, T. (2013). Körperliche Aktivität. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 56(5-6), 765–771. doi:10.1007/s00103-012-1661-6

- Lagerström, D. (1987). *Grundlagen der Sporttherapie bei koronarer Herzkrankheit. Kleine Schriftenreihe des deutschen Verbandes für Gesundheitssport und Sporttherapie*. Köln: Echo.
- Lakka, T. A., & Bouchard, C. (2005). Physical activity, obesity and cardiovascular diseases. *Handbook of experimental pharmacology*, 170, 137–163.
- Löllgen, H. (2004). Borg-Skala. Standards der Sportmedizin. Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55, 299-300.
- Löllgen, H., Fahrenkrog, U., & Löllgen, D. (2010). Allgemeine Aspekte ergometrischer Messgrößen. In H. Löllgen (Ed.), *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis ; mit 178 Tabellen* (3. Aufl., S. 61-84). Berlin: Springer.
- Löllgen, H. (Ed.). (2010). *Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis ; mit 178 Tabellen* (3. vollst. überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (7. Aufl.). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ochmann, U., Preisser, A., & Nowak, D. (2011). Pneumologische Belastungsuntersuchungen in der Arbeitsmedizin. *Der Pneumologe*, 8(2), 92-97. doi:10.1007/s10405-010-0453-7
- Olivier, N., Büsch, D., & Marschall, F. (2008). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre. Grundlagen der Sportwissenschaft*. Schorndorf: Hofmann.
- Oster, P., Pfisterer, M., Schuler, M., & Hauer, K. (2005). Körperliches Training im Alter. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 38(S1), i10. doi:10.1007/s00391-005-1103-2
- Rüfer, F., Schiller, J., Klettner, A., Lanzl, I., Roider, J., & Weisser, B. (2013). Comparison of the influence of aerobic and resistance exercise of the upper and lower limb on intraocular pressure. *Acta Ophthalmologica*, 92(3), 249-52. doi:10.1111/aos.12051
- Scharhag-Rosenberger, F. (2012). Anwendung von Laktatschwellenmodellen und Spiroergometrie in der Deutschen Sportmedizin 2012. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63(7-8), 220.
- Scheiber, P., Seifert, J. G., & Müller, E. (2011). Instructor-paced vs. self-paced skiing modes in older recreational alpine skiers. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 25(4), 988–996. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d4eb2d
- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 147–155. doi:10.1007/s00421-012-2421-x
- Steinacker, J. M. (2010). Energieliefernde Systeme und Laktat in der Ergometrie. In H. Löllgen (Ed.), *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis ; mit 178 Tabellen* (3. Aufl., S213-27). Berlin: Springer.
- Stickland, M. K., Butcher, S. J., Marciniuk, D. D., & Bhutani, M. (2012). Assessing Exercise Limitation Using Cardiopulmonary Exercise Testing. *Pulmonary Medicine*, 2012(5), 1–13. doi:10.1155/2012/824091
- Thiel, A., Gomolinsky, U., & Huy, C. (2009). Altersstereotype und Sportaktivität in der Generation 50+. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 42(2), 145–154. doi:10.1007/s00391-008-0556-5
- Tittlbach, S., Bös, K., Woll, A., Jekauc, D., & Dugandzic, D. (2005). Nutzen von sportlicher Aktivität im Erwachsenenalter. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 48(8), 891-898. doi:10.1007/s00103-005-1106-6
- Vogel, T., Brechat, P.-H., Leprêtre, P.-M., Kaltenbach, G., Berthel, M., & Lonsdorfer, J. (2009). Health benefits of physical activity in older patients: a review. *International Journal of Clinical Practice*, 63(2), 303–320. doi:10.1111/j.1742-1241.2008.01957



- 
- Weisser, B., & Okonek, C. (2003). Biologisch-medizinische Grundlagen des Alterssports. In H. Denk, D. Pache, & H.-J. Schaller (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Vol. 139. Handbuch Alterssport. Grundlagen, Analysen, Perspektiven* (S.97–143). Schorndorf: Hofmann.
- Weisser, B., Preuß, M., & Predel, H.-G. (2009). Körperliche Aktivität und Sport zur Prävention und Therapie von inneren Erkrankungen im Seniorenalter. *Medizinische Klinik*, *104*(4), 296–302. doi:10.1007/s00063-009-1055-1
- Woll, A., Worth, A., Mündermann, A., Hölling, H., Jekauc, D., & Bös, K. (2013). Age- and sex-dependent disparity in physical fitness between obese and normal weight children and adolescents. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, *53*(1), 48–55.



## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorrangige Ziel der vorliegenden Dissertation bestand darin, den Einfluss von sportlicher Aktivität bzw. Inaktivität auf die körperliche bzw. motorische Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter zu untersuchen. Erstmals konnte der Einfluss von moderater sportlicher Aktivität parallel auf drei motorische Fähigkeiten (aerobe Ausdauer, isometrische Maximalkraft und Gleichgewichtsfähigkeit) nachgewiesen werden. Es zeigten sich nicht nur signifikante Leistungsunterschiede zwischen sportlich Aktiven und Inaktiven gleicher Altersklasse, es zeigte sich außerdem, dass bereits 2 Stunden moderate sportliche Aktivität in der Woche, das entspricht einem erhöhten Kalorienverbrauch von ca. 780kcal pro Woche, den altersbedingten Rückgang der sportmotorischen Leistungsfähigkeit zwar nicht aufhalten aber deutlich verzögern können. Vor allem im Bereich der aeroben Ausdauer konnten sportlich aktive über 60-Jährige die gleiche aerobe Ausdauerleistung erbringen wie inaktive 20-30-Jährige. Für die isometrische Maximalkraft und die Gleichgewichtsfähigkeit konnten diese Ergebnisse hingegen nicht vollständig bestätigt werden. Hier konnten die sportlich Aktiven nicht die gleichen Werte aufweisen wie die 20-30-Jährigen Inaktiven, es konnten jedoch zumindest die gleichen Leistungswerte wie bei der nächstjüngeren inaktiven Altersklasse erreicht werden. Weitere Untersuchungen bekräftigten diese Ergebnisse. Es zeigte sich, dass bei der Betrachtung des Alters und der sportlichen Aktivität als Einflussfaktoren auf die jeweilige motorische Leistungsfähigkeit, eine moderate sportliche Aktivität von 2 Stunden in der Woche einzig bei der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit an der 4mmol/l-Schwelle einen höheren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit ausübt als das Alter. Sowohl bei der isometrischen Maximalkraft als auch der Gleichgewichtsfähigkeit hatte das Alter einen höheren Einfluss als die moderate sportliche Aktivität auf die Leistungsfähigkeit.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studien unterstützen die Annahme, dass die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit im Gegensatz zu anderen motorischen Fähigkeiten länger trainierbar ist und auch länger auf einem Leistungsniveau erhalten bleiben kann. Unsere Ergebnisse werden insofern unterstrichen, als dass im Ausdauerbereich im Gegensatz

zu anderen untersuchten motorischen Fähigkeiten die größten trainings- und aktivitätsbedingten Leistungsunterschiede zu finden sind (Leyk et al., 2010; Oschütz & Belinova, 2003). So können vor allem im Ausdauersport auch im höheren und hohen Alter noch Höchstleistungen vollbracht werden (Leyk et al., 2007).

Aufgrund der Nichtbeachtung der sportlichen Biographie, der Alltagsaktivitäten und der fehlenden Differenzierung der sportlichen Aktivität der Probanden sollten die vorliegenden Ergebnisse dennoch kritisch betrachtet werden. Nicht nur, dass im Alter vorwiegend ausdauerorientierte Sportarten, wie z.B. Walking oder Jogging betrieben werden, die nur wenig Auswirkung auf die Muskelkraft vor allem der oberen Extremitäten ausüben, auch Alltagsgewohnheiten oder der berufliche Hintergrund könnten die Kraftwerte oder die Gleichgewichtsleistungen der inaktiven Probanden mitbestimmt haben (Winter. & Hartman, 2007; Oster, Pfisterer, Schuler & Hauer, 2005; Schaller, 2003).

Die Ergebnisse verdeutlichen trotz der genannten Limitationen, dass sportliche Aktivität die Leistungsfähigkeit erhalten bzw. die Leistungsminderung im Alter verzögern kann. Zahlreiche Studien belegen, dass auch im hohen Alter eine hohe Trainierbarkeit aller motorischen Fähigkeiten auch für Neu- und Wiedereinsteiger gegeben ist und vor dem Hintergrund des gesundheitlichen Nutzens für Ältere unabdingbar sein sollte.

Auch wenn der gesundheitliche Nutzen der sportlichen Aktivität weit über dem Risiko liegt, sich durch Sport zu verletzen oder zu erkranken, sollte auf eine ärztliche Belastungsuntersuchung vor dem Sport nicht verzichtet werden. Gleichzeitig sind optimale Trainingsintensitäten für den Trainingserfolg entscheidend.

Unsere Ergebnisse konnten zeigen, dass die Borg-RPE-Skala eine kostengünstige, valide und einfach durchführbare Methode zur subjektiven Belastungseinschätzung und -steuerung auch für Neu- und Wiedereinsteiger darstellt und einer Belastungsanalyse anhand der PWC und einer Belastungssteuerung anhand kardialer Parameter deutlich überlegen ist.

In weiteren Untersuchungen sollten jedoch neben der Differenzierung der sportlichen Aktivitäten auch die sportliche Biographie, der berufliche Hintergrund und die Alltagsbelastungen der Probanden berücksichtigt werden.



## 6 Literaturverzeichnis

- Baur, J., Bös, K., Conzelmann, A. & Singer, R. (Hrsg.). (2009). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Bd. 106. Handbuch motorische Entwicklung* (2., komplett überarb. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Blair, S. N., Kohl, H. W., Barlow, C. E., Paffenbarger, R. S., Gibbons, L. W. & Macera, C. A. (1995). Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *Journal of the American medical Association*, 273(14), 1093–1098.
- Bland, J., Pfeiffer, K. & Eisenmann, J. C. (2012). The PWC170: comparison of different stage lengths in 11-16 year olds. *European journal of applied physiology*, 112(5), 1955–1961. doi:10.1007/s00421-011-2157.
- Blank, M. (2007). *Dimensionen und Determinanten der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten: Eine theoretisch-methodische Konzeptualisierung am Beispiel der maximalen Sauerstoffaufnahme. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft: Vol. 167*. Hamburg: Czwalina.
- Böer, J. (2006). *Charakterisierung des Balanceverhaltens von Gesunden, Hüft- und Kniepatienten auf dem Posturomed*. Dissertation. Universität Tübingen.
- Bonaiuti, D., Shea, B., Iovine, R., Negrini, S., Robinson, V., Kemper et al. (2002). Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *The Cochrane database of systematic reviews*, (3), CD000333. doi:10.1002/14651858.CD000333.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92–98.
- Borg, G. (Ed.). (1962). *Studia Psychologica et Paedagogica, Series altera: XI. Physical Performance and perceived exertion*. Lund, Sweden: Gleerup.
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt International*, 101(15), 1016-1021.
- Borg, G., v.d. Burg, M., Hassmén, P., Kaijser, L., & Tanaka, S. (1987). Relationships between perceived exertion, HR and HLa in cycling, running and walking. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 9(3), 69–77.
- Borges, O. (1989). Isometric and isokinetic knee extension and flexion torque in men and women aged 20-70. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 21(1), 45–53.
- Bös, K. & Schneider, J. (2006). Körper und Sport - biomedizinische und psychosoziale Grundlagen. In I. Hartmann-Tews & B. Rulofs (Hrsg.), *Beiträge*

- zur Lehre und Forschung im Sport: Bd. 158. *Handbuch Sport und Geschlecht* (S. 55–67). Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K. (2001). *Handbuch motorische Tests: Sportmotorische Tests, motorische Funktionstests, Fragebogen zur körperlich-sportlichen Aktivität und sportpsychologische Diagnoseverfahren* (2., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Bös, K. (2003). Motorische Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen. In W. Schmidt, I Hartmann-Tews & W.D. Brettschneider (Hrsg.), *Erster Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht* (S. 85-107). Schorndorf: Hofmann.
- Brandtstädter, J. & Lindenberger, U. (Hrsg.). (2007). *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne: Ein Lehrbuch*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Bula, U.P. (2007). *M3 Diagnos + Normwertstudie*. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Carl, K. (2003). Eigenschaften, motorische. In R. Prohl & P. Röthig (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: 49/50. Sportwissenschaftliches Lexikon* (7. Aufl., S. 133). Schorndorf: Hofmann.
- Ciolac, E. G., Roberts, C. K., da Silva, J M Rodrigues & Guimarães, G. V. (2014). Age affects exercise-induced improvements in heart rate response to exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 35(5), 371–378. doi:10.1055/s-0033-1351332
- Clemens, W. (2001). Stichwort: Alter. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 4(4), 489–511. doi:10.1007/s11618-001-0054-7
- Conzelmann, A. & Blank, M. (2009). Entwicklung der Ausdauer. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann, & R. Singer (Eds.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Bd. 106. Handbuch motorische Entwicklung* (2. Aufl., S. 167–186). Schorndorf: Hofmann.
- Denk, H., Pache, D. & Schaller, H.-J. (Hrsg.). (2003). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Vol. 139. Handbuch Alterssport: Grundlagen, Analysen, Perspektiven*. Schorndorf: Hofmann.
- DGSP. (2007). *PAR-Q-Fragebogen: S 1- Leitlinie Vorsorgeuntersuchung im Sport*. Zugriff am 15. Januar 2015 unter [http://www.dgsp.de/\\_downloads/allgemein/S1\\_Leitlinie.pdf](http://www.dgsp.de/_downloads/allgemein/S1_Leitlinie.pdf)
- Dickhuth, H.-H. (2011). *Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin* (2. bearb. u. erg. Aufl.). *Sport und Sportunterricht: Bd. 16*. Schorndorf: Hofmann.
- Egger, K. (Ed.). (1978). *Turnen und Sport in der Schule*. Bern: Eidgenössische Drucksachen und Materialzentrale.
- Engelhardt, M., Franz, B., Neumann, G. & Pfützner, A. (Hrsg.). (2009). *Triathlon und Sportwissenschaft: Bd. 20. 23. Internationales Triathlon-Symposium Erding 2008*. Hamburg: Czwalina.



- Eston, R. (2012). Use of ratings of perceived exertion in sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 175–182.
- Fairhall, N., Sherrington, C., Lord, S. R., Kurrle, S. E., Langron, C., Lockwood, K. et al. (2014). Effect of a multifactorial, interdisciplinary intervention on risk factors for falls and fall rate in frail older people: a randomised controlled trial. *Age and Ageing*, 43(5), 616–622. doi:10.1093/ageing/aft204
- Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(6), 469–490.
- Faulkner, J., Parfitt, G. & Eston, R. (2007). Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 397–407. doi:10.1007/s00421-007-0508-6
- Fetz, F. (1972). *Bewegungslehre der Leibesübungen*. Frankfurt/Main]: Limpert.
- Finger, J. D., Gößwald, A., Härtel, S., Müters, S., Krug, S., Hölling, H. et al. (2013). Messung der kardiorespiratorischen Fitness in der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 56(5-6), 885-893. doi:10.1007/s00103-013-1694-5
- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (2002). *Einführung in die Trainingslehre: Grundlagen für Studium, Ausbildung u. Beruf* (2., erw. und überarb. Aufl.). *Sport und Sportunterricht: Vol. 11*. Schorndorf: Hofmann.
- Fuchs, J., Busch, M., Lange, C. & Scheidt-Nave, C. (2012). Prevalence and patterns of morbidity among adults in Germany. Results of the German telephone health interview survey German Health Update (GEDA) 2009. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 55(4), 576–586. doi:10.1007/s00103-012-1464-9
- Goebel, S. (2002). *Entwicklung, Überprüfung und Normierung eines Kraftmessverfahrens - Ein Beitrag zur Diagnose des Status und der Entwicklung der isometrischen Maximalkraft bei 50- bis 75-jährigen Frauen und Männern*. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Graf, C. (Hrsg.). (2012). *Lehrbuch Sportmedizin: Basiswissen, präventive, therapeutische und besondere Aspekte* (2., überarb. u. erw. Aufl.). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Graf, C. & Rost, R. (2012). Sportmotorische Hauptbeanspruchungsformen. In C. Graf (Hrsg.), *Lehrbuch Sportmedizin. Basiswissen, präventive, therapeutische und besondere Aspekte* (S. 11–18). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Grosser, M., Starischka, S. & Zimmermann, E. (2008). *Das neue Konditionstraining: Sportwissenschaftliche Grundlagen, Leistungssteuerung und Trainingsmethoden*,

- Übungen und Trainingsprogramme* (10., überarb. Aufl., Neuausg). BLV-Sportwissen. München: BLV.
- Gundlach, H. (1968). Systembeziehungen körperlicher Fähigkeiten und Fertigkeiten. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 17, 198–205.
- Hacke, C. Weisser B. (2014). Ruhe- und Belastungsblutdruck: Zusammenhang vaskulärer Risikofaktoren in der Kieler Kinder EX.PRESS. Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63(12), 16–21.
- Hagerman, F. C., Walsh, S. J., Staron, R. S., Hikida, R. S., Gilders, R. M., Murray, T. F. et al. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 55(7), B336–46.
- Han, T. S., Tajar, A. & Lean, M E J. (2011). Obesity and weight management in the elderly. *British Medical Bulletin*, 97, 169–196. doi:10.1093/bmb/ldr002
- Harriss, D. J. & Atkinson, G. (2009). International Journal of Sports Medicine - ethical standards in sport and exercise science research. *International journal of sports medicine*, 30(10), 701–702. doi:10.1055/s-0029-1237378
- Hartmann-Tews, I. & Rulofs, B. (Hrsg.). (2006). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Bd. 158. Handbuch Sport und Geschlecht*. Schorndorf: Hofmann.
- Haskell, W. L., Lee, I.-M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A. et al. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1423–1434. doi:10.1249/mss.0b013e3180616b27
- Hirtz, P. (2007). Koordinative Fähigkeiten und Beweglichkeit. In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11. Aufl., S. 212–246). Aachen: Meyer & Meyer.
- Hirtz, P., Hotz, A. & Ludwig, G. (2005). *Gleichgewicht* (2., unveränd. Aufl.). *Praxisideen Bewegungskompetenzen: Vol. 2*. Schorndorf: Hofmann.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2007). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (4., überarb. und erw. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin ; mit 91 Tabellen* (5., völlig neu bearb. und erw. Aufl.). Stuttgart, New York, NY: Schattauer.
- Hottenrott, K. & Neumann, G. (2010). *Trainingswissenschaft: Ein Lehrbuch in 14 Lektionen. Sportwissenschaft studieren: Vol. 7*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Ilarraza, H., Myers, J., Kottman, W., Rickli, H. & Dubach, P. (2004). An evaluation of training responses using self-regulation in a residential rehabilitation program. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 24(1), 27–33.

- Iverson, B. D., Gossman, M. R., Shaddeau, S. A. & Turner, M. E. (1990). Balance performance, force production, and activity levels in noninstitutionalized men 60 to 90 years of age. *Physical Therapy*, 70(6), 348–355.
- Jeschke, D. & Zeilberger, K. (2004). Altern und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt*, 101(12), A789-A798.
- Kakarot, N. & Müller, F. (2014). Assessment of physical strain in younger and older subjects using heart rate and scalings of perceived exertion. *Ergonomics*, 1–16. doi:10.1080/00140139.2014.910613
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Klitgaard, H., Manton, M., Schiaffino, S., Ausoni, S., Gorza, L., Laurent-Winter, C. et al. (1990). Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiologica Scandinavica*, 140(1), 41–54. doi:10.1111/j.1748-1716.1990.tb08974.x
- Krug, S., Jordan, S., Mensink, G B M, Müters, S., Finger, J. & Lampert, T. (2013). Körperliche Aktivität: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 56(5-6), 765–771. doi:10.1007/s00103-012-1661-6
- Kruse, A. (2007). Präventions- und Trainingsansätze im höheren Alter. In J. Brandtstädter & U. Lindenberger (Eds.), *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne. Ein Lehrbuch* (S. 624–655). Stuttgart: Kohlhammer.
- Lagerström, D. (1987). *Grundlagen der Sporttherapie bei koronarer Herzkrankheit. Kleine Schriftenreihe des deutschen Verbandes für Gesundheitssport und Sporttherapie*. Köln: Echo.
- Lakka, T. A. & Bouchard, C. (2005). Physical activity, obesity and cardiovascular diseases. *Handbook of experimental pharmacology*, (170), 137–163.
- Larsson, L., Grimby, G. & Karlsson, J. (1979). Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 46(3), 451–456.
- Lechleitner, M. (2013). Adipositas im Alter. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 46(5), 398-402. doi:10.1007/s00391-013-0511-y
- Leyk, D., Erley, O., Ridder, D., Leurs, M., Rütger, T., Wunderlich, M. et al. (2007). Age-related changes in marathon and half-marathon performances. *International Journal of Sports Medicine*, 28(6), 513–517.
- Leyk, D., Rohde, U., Gorges, W., Ridder, D., Wunderlich, M., Dinklage, C. et al. (2006). Physical performance, body weight and BMI of young adults in Germany 2000 - 2004: results of the physical-fitness-test study. *International Journal of Sports Medicine*, 27(8), 642–647. doi:10.1055/s-2005-872907

- Leyk, D., Rüter, T., Wunderlich, M., Heiß, A., Kuchmeister, G., Piekarski, C. et al. (2008). Sportaktivität, Übergewichtsprävalenz und Risikofaktoren: Querschnittstudie mit mehr als 12 500 Teilnehmern im Alter von 16 bis 25 Jahren. *Deutsches Ärzteblatt International*, 105(46), 793–800. doi:10.3238/arztebl.2008.0793
- Leyk, D., Rüter, T., Wunderlich, M., Sievert, A., Essfeld, D., Witzki, A. et al. (2010). Physical performance in middle age and old age: good news for our sedentary and aging society. *Deutsches Ärzteblatt International*, 107(46), 809–816. doi:10.3238/arztebl.2010.0809
- Löllgen, H. (2004). Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55(11), 299–300.
- Löllgen, H. (Ed.). (2010). *Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis ; mit 178 Tabellen* (3. vollst. überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- Löllgen, H., Fahrenkrog, U. & Löllgen, D. (2010). Allgemeine Aspekte ergometrischer Messgrößen. In H. Löllgen (Hrsg.), *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis ; mit 178 Tabellen* 3. Aufl. S. 61–84). Berlin: Springer.
- Marées, H. d. (2003). *Sportphysiologie* (korr. Nachdr. d. 9., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Köln: Sportverl. Strauß.
- Martin, D., Lehnertz, K. & Carl, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre* (3., unveränd. Aufl.). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Vol. 100*. Schorndorf: Hofmann.
- Martin, M. & Kliegel, M. (2005). *Psychologische Grundlagen der Gerontologie. Grundriss Gerontologie: Bd. 3*. Stuttgart: Kohlhammer.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (7th ed.). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (Hrsg.). (2007). *Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11., überarb. und erw. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Nehrer, S. (2013). Die Frau im Sport. *Manuelle Medizin*, 51(1), 21–26. doi:10.1007/s00337-012-0999-z
- Neumaier, A., Mechling, H. & Strauss, R. (2009). *Koordinative Anforderungsprofile ausgewählter Sportarten: Analyse, Variationsprinzipien, Trainingsbeispiele zu Leichtathletik, Fussball, Judo, alpiner Skilauf, Rudern* (1., unveränd. Nachdr.). *Training der Bewegungskoordination: Vol. 2*. Köln: Sport und Buch Strauss.
- Neumann, G. & Hottenrott, K. (2009). Geschlechtssdifferenzen in der sportlichen Leistungsfähigkeit. In M. Engelhardt, B. Franz, G. Neumann, & A. Pfützner

- (Hrsg.), *Triathlon und Sportwissenschaft: Bd. 20. 23. Internationales Triathlon-Symposium Erding 2008* (S. 56–67). Hamburg: Czwalina.
- Ochmann, U., Preisser, A. & Nowak, D. (2011). Pneumologische Belastungsuntersuchungen in der Arbeitsmedizin. *Der Pneumologe*, 8(2), 92–97. doi:10.1007/s10405-010-0453-7
- Olivier, N., Büsch, D. & Marschall, F. (2008). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre. Grundlagen der Sportwissenschaft: Vol. 3*. Schorndorf: Hofmann.
- Oschütz, H., & Belinova, K. (2003). Training im Alter. In H. Denk, D. Pache & H.-J. Schaller (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Vol. 139. Handbuch Alterssport. Grundlagen, Analysen, Perspektiven* (S. 147–196). Schorndorf: Hofmann.
- Oster, P., Pfisterer, M., Schuler, M. & Hauer, K. (2005). Körperliches Training im Alter. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 38(S1), i10. doi:10.1007/s00391-005-1103-2
- Predel, H.-G. & Tokarski, W. (2005). Einfluss körperlicher Aktivität auf die menschliche Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 48(8), 833–840. doi:10.1007/s00103-005-1104-8
- Prinzinger, R. (1996). *Das Geheimnis des Alterns: Die programmierte Lebenszeit bei Mensch, Tier und Pflanze*. Frankfurt/Main, New York: Campus Verlag.
- Prohl, R. & Röthig, P. (Hrsg.). (2003). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: 49/50. Sportwissenschaftliches Lexikon* (7., völlig neu bearb. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Prohl, R. & Scheid, V. (Hrsg.). (2009). *Kursbuch Sport: / begr. von Peter Röthig; Stefan GröBing ; 2. Trainingslehre* (11., durchges. und korrigierte Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Raschner, C., Lember, S., Platzer, H.-P., Patterson, C., Hilden, T. & Lutz, M. (2008). S3-Check--Evaluierung und Normwerteehebung eines Tests zur Erfassung der Gleichgewichtsfähigkeit und Körperstabilität. *Sportverletzung - Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 22(2), 100–105. doi:10.1055/s-2008-1027239
- Richter, M., Becker, C., Seifert, J., Gebhard, F., Pieske, O., Holch, M. & Lob, G. (2002). Prävention von Verletzungen im Alter. *Der Unfallchirurg*, 105(12), 1076–1087. doi:10.1007/s00113-002-0540-2
- Robert Koch-Institut (Hrsg.). (2011). *Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Daten und Fakten: Ergebnisse der Studie "Gesundheit in Deutschland aktuell 2009"*. Berlin: Robert-Koch-Institut.
- Roth, K. & Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft. rororo rororo-Sport: Vol. 18679*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verlag.

- Rüfer, F., Schiller, J., Klettner, A., Lanzl, I., Roeder, J. & Weisser, B. (2014). Comparison of the influence of aerobic and resistance exercise of the upper and lower limb on intraocular pressure. *Acta Ophthalmologica*, 92(3), 249–252. doi:10.1111/aos.12051
- Rütten, A. (2005). *Körperliche Aktivität. Gesundheitsberichterstattung des Bundes: H. 26*. Berlin: Robert-Koch-Institut.
- Schaller, H. J. (2003). Bewegungskoordination im Alter. In H. Denk, D. Pache & H.-J. Schaller (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Vol. 139. Handbuch Alterssport. Grundlagen, Analysen, Perspektiven* (S. 199–229). Schorndorf: Hofmann.
- Scharhag-Rosenberger, F. (2012). Anwendung von Laktatschwellenmodellen und Spiroergometrie in der Deutschen Sportmedizin 2012. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63(7-8), 220.
- Scheiber, P., Seifert, J. G. & Müller, E. (2011). Instructor-paced vs. self-paced skiing modes in older recreational alpine skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 988–996. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d4eb2d
- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S. & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 147–155. doi:10.1007/s00421-012-2421-x
- Schlicht, W. & Brand, R. (2007). *Körperliche Aktivität, Sport und Gesundheit: Eine interdisziplinäre Einführung. Grundlagentexte Gesundheitswissenschaften*. Weinheim: Juventa.
- Schmidt, R. F., Lang, F. & Heckmann, M. (Hrsg.). (2010). *Springer-Lehrbuch. Physiologie des Menschen: Mit Pathophysiologie ; mit 85 Tabellen ; mit herausnehmbarem Repetitorium* (31., überarb. und aktualisierte Aufl.). Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Schmidt, W. (Hrsg.). (2003). *Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht: Vol. 1.2003. Erster Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht*. Schorndorf: Hofmann.
- Schmidtbleicher, D. (2009). Motorische Entwicklung: Gegenstandsbereich. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann & R. Singer (Eds.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Bd. 106. Handbuch motorische Entwicklung* (2. Aufl., S. 149–167). Schorndorf: Hofmann.
- Schnabel, G., Harre, H.-D. & Krug, J. (Hrsg.). (2008). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Shephard, R. J. (2000). Determinants of endurance Performance. In R. J. Shephard & P.-O. Åstrand (Eds.), *Volume VII of the Encyclopaedia of sports medicine. Endurance in sport.*, S. 21–36). Osney Mead, Oxford, OX, Malden, Mass: Blackwell Science.

- Shephard, R. J. & Åstrand, P.-O. (Eds.). (2000). *Volume VII of the Encyclopaedia of sports medicine. Endurance in sport*. Osney Mead, Oxford, OX, Malden, Mass: Blackwell Science.
- Shumway-Cook, A., Baldwin, M., Polissar, N. L. & Gruber, W. (1997). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults. *Physical Therapy*, 77(8), 812–819.
- Silbernagl, S. & Despopoulos, A. (2012). *Taschenatlas Physiologie* (8., überarb. u. erw. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Sorkin, J. D., Muller, D. C. & Andres, R. (1999). Longitudinal Change in Height of Men and Women: Implications for Interpretation of the Body Mass Index: The Baltimore Longitudinal Study of Aging. *American Journal of Epidemiology*, 150(9), 969–977.
- Spiriduso, W. W., Francis, K., Eakin, T. & Stanford, C. (2005). Quantification of manual force control and tremor. *Journal of motor behavior*, 37(3), 197–210. doi:10.3200/JMBR.37.3.197-210
- Spiriduso, W. W., Francis, K. L., & MacRae, P. G. (2005). *Physical dimensions of aging*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Starker, A., Lampert, T., Worth, A., Oberger, J., Kahl, H. & Bös, K. (2007). Motorische Leistungsfähigkeit. Ergebnisse des Kinder- und Jugendgesundheits surveys (KiGGS). *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 50(5-6), 775–783. doi:10.1007/s00103-007-0240-8
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2012). *Gesundheit: Ausgaben*. Wiesbaden. Zugriff am 15. Januar 2015 unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Gesundheitsausgaben/AusgabenGesundheitPDF\\_2120711.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Gesundheitsausgaben/AusgabenGesundheitPDF_2120711.pdf?__blob=publicationFile)
- Statistisches Bundesamt, W. (Hrsg.). (2009). *Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - Begleitheft zur Pressekonferenz am 18. November 2009*.
- Steinacker, J. M. (2010). Energieliefernde Systeme und Laktat in der Ergometrie. In H. Löllgen (Hrsg.), *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis ; mit 178 Tabellen* (3. Aufl., S. 213–227). Berlin: Springer.
- Stickland, M. K., Butcher, S. J., Marciniuk, D. D. & Bhutani, M. (2012). Assessing Exercise Limitation Using Cardiopulmonary Exercise Testing. *Pulmonary Medicine*, 2012(5), 1–13. doi:10.1155/2012/824091
- Strasser, B., Keinrad, M., Haber, P. & Schobersberger, W. (2009). Efficacy of systematic endurance and resistance training on muscle strength and endurance performance in elderly adults--a randomized controlled trial. *Wiener klinische Wochenschrift*, 121(23-24), 757–764. doi:10.1007/s00508-009-1273-9

- Tarumi, T., Gonzales, M. M., Fallow, B., Nualnim, N., Pyron, M., Tanaka, H. et al. (2013). Central artery stiffness, neuropsychological function, and cerebral perfusion in sedentary and endurance-trained middle-aged adults. *Journal of Hypertension*, 31(12), 2400–2409. doi:10.1097/HJH.0b013e328364decc
- Tatem, A. J., Guerra, C. A., Atkinson, P. M. & Hay, S. I. (2004). Athletics: momentous sprint at the 2156 Olympics? *Nature*, 431(7008), 525. doi:10.1038/431525a
- Thiel, A., Gomolinsky, U. & Huy, C. (2009). Altersstereotype und Sportaktivität in der Generation 50+. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 42(2), 145–154. doi:10.1007/s00391-008-0556-5
- Thomas, S., Reading, J. & Shephard, R. J. (1992). Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17(4), 338–345.
- Tittlbach, S. (2002). *Entwicklung der körperlichen Leistungsfähigkeit: Eine prospektive Längsschnittstudie mit Personen im mittleren und späteren Erwachsenenalter. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Bd. 135.* Schorndorf: Hofmann.
- Tittlbach, S., Bös, K., Woll, A., Jekauc, D. & Dugandzic, D. (2005). Nutzen von sportlicher Aktivität im Erwachsenenalter. Eine Längsschnittstudie über 10 Jahre. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 48(8), 891–898. doi:10.1007/s00103-005-1106-6
- Tomasits, J. & Haber, P. (2011). *Leistungsphysiologie: Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur* (4., neu bearbeitete Auflage). SpringerLink : Bücher. Vienna: Springer-Verlag Vienna.
- Vandervoort, A. A. (2002). Aging of the human neuromuscular system. *Muscle & Nerve*, 25(1), 17–25.
- Vogel, T., Brechat, P.-H., Leprêtre, P.-M., Kaltenbach, G., Berthel, M. & Lonsdorfer, J. (2009). Health benefits of physical activity in older patients: a review. *International Journal of Clinical Practice*, 63(2), 303–320. doi:10.1111/j.1742-1241.2008.01957
- Volkamer, M. (1987). *Von der Last mit der Lust im Schulsport: Probleme der Pädagogisierung des Sports. Schriftenreihe zur Praxis der Leibeserziehung und des Sports: Bd. 189.* Schorndorf: Hofmann.
- Weineck, J. (2008). *Sportanatomie* (18., überarb. und erw. Aufl.). Balingen: Spitta-Verlag.
- Weineck, J. (2009). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (16., durchges. Aufl.). Balingen: Spitta.



- Weiss, U. (1978). Biologische Grundlagen und körperliche Leistungsfähigkeit. In K. Egger (Hrsg.), *Turnen und Sport in der Schule* (S. 33–61). Bern: Eidgenössische Drucksachen und Materialzentrale.
- Weisser, B., & Okonek, C. (2003). Biologisch-medizinische Grundlagen des Alterssports. In H. Denk, D. Pache & H.-J. Schaller (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Vol. 139. Handbuch Alterssport. Grundlagen, Analysen, Perspektiven* (S. 97–143). Schorndorf: Hofmann.
- Weisser, B., Preuss, M. & Predel, H.-G. (2009). Körperliche Aktivität und Sport zur Prävention und Therapie von inneren Erkrankungen im Seniorenalter. *Medizinische Klinik*, 104(4), 296–302. doi:10.1007/s00063-009-1055-1
- Werle, J., Woll, A. & Tittlbach, S. (2006). *Gesundheitsförderung: Körperliche Aktivität und Leistungsfähigkeit im Alter. Kohlhammer-Urban-Taschenbücher: Bd. 762*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Willimczik, K., Voelcker-Rehage, C. & Wiertz, O. (2006). Sportmotorische Entwicklung über die Lebensspanne. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 13(1), 10–22. doi:10.1026/1612-5010.13.1.10
- Winter, R. & Hartmann, C. (2007). Die motorische Entwicklung des Menschen von der Geburt bis ins hohe Alter (Überblick). In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11. Aufl., S. 243–373). Aachen: Meyer & Meyer.
- Woll, A. (2004). Diagnose körperlich-sportlicher Aktivität im Erwachsenenalter. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 11(2), 54–70. doi:10.1026/1612-5010.11.2.54
- Woll, A. & Bös, K. (2004). Wirkungen von Gesundheitssport. *B&G Bewegungstherapie und Gesundheitssport*, 20(3), 97–106. doi:10.1055/s-2004-822768
- Woll, A., Worth, A., Mündermann, A., Hölling, H., Jekauc, D. & Bös, K. (2013). Age- and sex-dependent disparity in physical fitness between obese and normal weight children and adolescents. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(1), 48–55.
- Wollny, R. (2007). *Bewegungswissenschaft: Ein Lehrbuch in 12 Lektionen. Sportwissenschaft studieren: Bd. 5*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Zamboni, M., Mazzali, G., Zoico, E., Harris, T. B., Meigs, J. B., Di Francesco, V. et al. (2005). Health consequences of obesity in the elderly: a review of four unresolved questions. *International Journal of Obesity*, 29(9), 1011–1029. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/sj.ijo.0803005>



## Lebenslauf

<i>Name</i>	Julia Last, geb. Wessel
<i>Geburtsdatum</i>	20.05.1979
<i>Geburtsort</i>	Kiel
<i>Nationalität</i>	deutsch
<i>1985-1989</i>	Grundschule Altenholz
<i>1989-1998</i>	Gymnasium Altenholz
<i>Juni 1998</i>	Allgemeine Hochschulreife am Gymnasium Altenholz
<i>1998-2000</i>	Studium an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Fächer: Deutsch, Geschichte und Wirtschaft-Politik (Lehramt Gymnasium)
<i>2000-2006</i>	Studium der Fächer Sportwissenschaft (Hauptfach), Ältere Deutsche Literaturwissenschaft/Deutsche Sprach- wissenschaft und Neuere Deutsche Literaturwissenschaft und Medienwissenschaft (Nebenfächer) an der Christian- Albrechts-Universität zu Kiel
<i>2006</i>	Studienabschluss durch das Erlangen des Grades einer Magistra Artium der Philosophischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
<i>2010</i>	Beginn des Promotionsvorhabens am Institut für Sportwissenschaft der Philosophischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
<i>Mai 2010-September 2014</i>	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Sportwissenschaft, Abteilung Sportmedizin, Leitung Prof. Dr. med. B. Weisser
<i>Mai 2015</i>	Abschluss der Promotion