

**Aus der Orthopädischen Klinik, König-Ludwig-Haus
Lehrstuhl für Orthopädie der Universität Würzburg
Orthopädisches Zentrum für Muskuloskeletale Forschung**

Leitung: Prof. Dr. med. Maximilian Rudert und Prof. Dr. med. Franz Jakob

**Neuromuskuläres Assessment durch Bodenreaktionskraftanalysen im Rahmen der
Sarkopeniediagnostik bei älteren Männern**

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Dominik Lieberoth-Leden

aus Traunstein

Würzburg, November 2017



Referent:	Prof. Dr. med. Franz Jakob
Korreferent:	Priv.-Doz. Dr. med. habil. Michael Jakubietz
Dekan:	Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 18.06.2018

Der Promovend ist Arzt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Evolution des Sarkopeniekonzeptes.....	4
1.3	Epidemiologie	5
1.4	Ätiologie und Pathogenese.....	8
1.4.1	Inaktivität, Lifestyle und Immobilisierung	8
1.4.2	Neuromuskuläre Veränderungen	8
1.4.3	Muskelkonstitution und Sarcopenic obesity	9
1.4.4	Insulinresistenz, oxidativer Stress und mitochondriale Dysfunktion	10
1.4.5	Endokrinologie	10
1.4.6	Ernährung und Malabsorption	11
1.4.7	Kachexie und Inflammation	11
1.5	Diagnostik und klinische Aspekte	12
1.5.1	Diagnostik Muskelmasse	13
1.5.2	Diagnostik Muskelkraft	15
1.5.3	Diagnostik Muskelleistung (Physical Performance/Power)	17
1.6	Leonardo GRFP Jumping Mechanograph	18
1.6.1	Single Two Leg Jump (s2lj)	20
1.6.2	Weitere Testarten der GRFP	26
1.6.3	Reliabilität und Validität der Sprünge auf der GRFP	26
1.6.4	Bedeutung und Aussagekraft der GRFP in der Sarkopeniediagnostik	27
1.7	Fragestellung	32

2	Material, Methoden und Probanden.....	33
2.1	Hintergrund	33
2.2	Studiendesign.....	33
2.3	Rekrutierung	33
2.4	Ethikantrag/Nummer.....	34
2.5	Ein- und Ausschlusskriterien	34
2.6	Studienablauf	35
2.7	Technische Daten Leonardo GRFP.....	36
2.8	Untersuchungsablauf GRFP.....	37
2.9	Datenexport.....	38
2.10	Datenselektion.....	39
2.11	Weitere Messungen, Einheiten und Einteilungen	42
2.12	Statistische Methodik.....	43
3	Ergebnisse	44
3.1	Sprungverteilung.....	44
3.2	Altersverteilung.....	45
3.2.1	Normalverteilung der Altersverteilung.....	47
3.3	Übersicht der deskriptiven Statistik zu den Kernvariablen des JM	49
3.4	Anthropometrie	51
3.4.1	Größe und Gewicht.....	51
3.4.2	Körperkonstitution (BMI, SM und SMI).....	52
3.5	Alter unter dem Aspekt der Sprunganalyse	60
3.5.1	Alter und Sprunghöhe.....	61
3.5.2	Alter und Sprungleistung.....	63

3.5.3	Alter und Sprungkraft	65
3.5.4	Alter und Maximalgeschwindigkeit (V_{\max})	67
3.5.5	Alter und Ausholtiefe (h_{\min}).....	69
3.5.6	Alter und der Esslinger Fitness Index (EFI)	70
3.6	Sport im Alter unter dem Aspekt der Sprunganalyse	72
3.6.1	Sport regelmäßig.....	72
3.6.2	Die Sprunganalyse in Abhängigkeit von Sport	75
3.6.3	Sprunganalyse in Abhängigkeit von Sport, Alter und BMI	80
3.6.4	Altersverlauf der Sprungleistung in Abhängigkeit von Sport	81
3.7	Sarkopenie nach der EWGSOP unter dem Aspekt der Sprunganalyse	83
3.7.1	Sarkopenie nach der EWGSOP	83
3.7.2	Sarkopenie im Alter	85
3.7.3	Sprunganalyse in Abhängigkeit von der Sarkopenie.....	87
3.8	Sport und Sarkopenie (EWGSOP).....	94
3.8.1	Sprungleistung in Abhängigkeit von Sport und Sarkopeniestatus	96
4	Diskussion	98
4.1	Altersverteilung.....	98
4.2	Probanden sowie Ein und-Ausschlusskriterien.....	101
4.3	Anthropometrie	104
4.3.1	Übergewicht unter dem Aspekt der JM.....	104
4.3.2	Muskulatur und Muskelmasseanteil unter dem Aspekt der JM.....	107
4.4	Diskussion Kernvariablen JM.....	113
4.4.1	Alter und Leistungsparameter JM allgemein.....	113
4.4.2	Alter und Muskelleistung	116
4.4.3	Alter und Sprungkraft	125

4.4.4	Alter und Maximalgeschwindigkeit	128
4.4.5	Alter und das Zusammenspiel von Sprungkraft und -geschwindigkeit... ..	128
4.4.6	Sprunghöhe und Ausholtiefe	133
4.5	Sport.....	136
4.6	Sarkopenie.....	143
4.7	Sarkopenie und Sport.....	149
4.8	Bewertung der JM in der Sarkopeniediagnostik.....	150
4.8.1	Allgemeine Bewertung	150
4.8.2	Welche Parameter konkret und warum?	153
4.8.3	Ausblick.....	155
5	Zusammenfassung.....	156
6	Literaturverzeichnis.....	159
7	Abbildungsverzeichnis.....	169

Abkürzungsverzeichnis

ALM	Appendikuläre Magermasse
ASM	Appendikuläre Skelettmuskelmasse
BIA	Bio-Impedanz-Analyse
CMJ	Counter Movement Jump
CoM	Center of mass/Körperschwerpunkt
CRT	Chair rising Test (Aufstehetest)
EFI	Esslinger Fitness Index
E_{kin}	kinetische Energie
E_{pot}	potentielle Energie
EWGSOP	European Working Group on Sarcopenia in older People
FNIH	Foundation for the National Institutes of Health
FORMOsA	FOR schungsverbund Muskelschwund und Osteoporose im Alter
F tot max	Maximalkraft (kN)
F tot max rel	Körpergewichtsrelativerte Maximalkraft (N/kg)
GRFP	Ground Reaction Force Platform
h_{max}	Maximale Sprunghöhe
$h_{max} (E_{pot})$	Maximale Sprunghöhe in Form potentieller Energie
h_{min}	Ausholtiefe/Counter movement/Gegenbewegung
IWG	International Working Group on Sarcopenia JM Jumping Mechanography
Leonardo	Produkteigennamen der verwendeten GRFP der Firma Novotec Medical GmbH
MW	Mittelwert
m1lj	“Multiple One Leg Jump” / Einbeinsprung

PID	Patientenidentifikationsnummer
PP	Peak Power (Maximalleistung während der Absprungphase in Kilowatt (kW)) /Power tot max
PP _r	Peak Power relativ (körpergewichtsbezogene Maximalleistung während der Absprungphase in Watt pro Kilogramme (W/kg) oder auch Power tot max rel
pqCT	Periphere quantitative Computertomographie
SM	Skelettmuskelmasse (kg)
SMI	Skelettmuskelmasseindex (kg/m ²)
s2lj	“Singel Two Leg Jump” / Beidbeinsprung
V _{max}	Maximalgeschwindigkeit während der Absprungphase (m/s)

1 Einleitung

1.1 Einleitung

„Sarkopenie“ – Der von Irwin Rosenberg 1988 geprägte Begriff leitet sich ab aus dem Griechischen. „*Sarx*“ steht für „Fleisch“, welches in diesem Fall repräsentativ für die Muskulatur steht. „*Penia*“ wiederum bedeutet wenig. Zusammen beschreiben sie Sarkopenie als einen Verlust an Muskulatur. [1, 3] Passend zum Ursprung des Begriffs Sarkopenie war die allgemein herrschende Meinung auch zunächst überzeugt und geprägt von der Annahme, es handele sich tatsächlich um einen im Vordergrund stehenden alleinigen Masseverlust an Muskulatur, auf welchen an nachfolgender Stelle nochmal genauer eingegangen wird. So wurde auch in größer angelegten Studien, beispielsweise bei Baumgartner et al. [4], die Quantifizierung der Muskelmasse als entscheidende Messgröße für die Sarkopenie verwendet.

Die Sarkopenie definiert sich nach aktuellem Stand der Wissenschaft durch eine entweder reduzierte Muskelmasse und Muskelkraft oder eine verschlechterte Muskelleistung. Eine entweder nur isoliert reduzierte Muskelkraft oder Muskelleistung erfüllen das Definitionskriterium der Sarkopenie nur, wenn sie auch mit einer Abnahme der Muskelmasse einhergehen. So lautet die 2010 verabschiedete Arbeitsdefinition der „European Working Group on Sarcopenia in Older People“ (EWGSOP), welche 2009 von der „European Union Geriatric Medicine Society“ (EUGMS) eingesetzt wurde. [5] Über die in Europa gebräuchlichste Definition hinaus existieren mittlerweile international allerdings auch noch weitere postulierte Konsensusdefinitionen für die Sarkopenie. So wäre beispielsweise die der „International Working Group on Sarcopenia“ (IWG) zu nennen, bei der ebenso die Muskelmasse sowie die Muskelleistung als Kriterien gelten. [6] Das amerikanische Projekt der „Foundation for the National Institutes of Health“ (FNIH) hingegen berücksichtigt zwar ebenso die Muskelmasse, statt der Muskelleistung wird hier allerdings wiederum die Muskelkraft berücksichtigt. [7] In den verschiedenen verabschiedeten Arbeitshypothesen zeigt sich bereits ein grundlegendes Problem im Forschungsfeld der Sarkopenie. Bisher gibt es keine einheitlich und standardisiert verwendeten Kriterien, welche weltweit Anwendung finden und folglich auch keine einheitliche Definition der Diagnose der Sarkopenie. Sie wird nach wie vor kontrovers diskutiert und unterliegt einem sich entwickelnden Grundkonzept. Mitunter fehlt es für die verwendeten Kriterien an ausreichenden bzw. noch im Entwicklungsstadium befindlichen Messsystemen, Tests und zugehörigen Normwerten. Auf diese fundamentale Problematik wird ausführlicher im einleitenden Abschnitt zur Diagnostik

eingegangen. Zunächst folgt ein Überblick über die individuelle und gesellschaftspolitische Bedeutung der Thematik sowie den aktuellen Stand des Wissens.

Ein Rückgang der Muskelmasse und -leistungsfähigkeit ist nach aktuellem Wissenstand fester Bestandteil des Alterns und betrifft damit in unterschiedlich starker Ausprägung große Teile der Bevölkerung. Es handelt sich um einen multifaktoriellen Prozess, welcher mit einem deutlich erhöhten Risiko für funktionelle Behinderung, Einschränkung, Sturzgefahr und Mortalität einhergeht. Nicht zu vernachlässigen sind alle sich wiederum daraus ergebenden Konsequenzen. [8-13] Sarkopenie wurde lange Zeit als physiologische Komponente des Alterns angesehen. Auch Irwin Rosenberg stellte schon die naheliegende Frage, inwieweit beobachtete Veränderungen des muskuloskelettalen Systems zum physiologischen Teil des Alterns gehören oder als pathologisch zu werten sind. [3] Ohne Interventionen scheint die Sarkopenie allerdings mit einer signifikant höheren Wahrscheinlichkeit funktioneller und körperlicher Einschränkungen einherzugehen. [8, 14] Die Folge ist in erster Linie eine in jüngeren Jahren eintretende Einschränkung der Mobilität, Selbstversorgung und Unabhängigkeit sowie somit der Autonomie bzw. Selbstversorgungsfähigkeit. Daraus folgen eine gehäuft auftretende Immobilisierung, eine Zunahme der sozialen Isolation sowie eine Reduktion der Lebenserwartung, was die individuelle Lebensqualität der Betroffenen weiter mindert. [15, 16] Gerade die zuletzt genannte Komponente stellt für die Betroffenen häufig eine kritischere Größe dar, als die eigentliche Lebenserwartung selbst. [16-18]

Ganz abgesehen von der im Vordergrund stehenden individuellen Problematik für die Betroffenen hat die Sarkopenie auch eine bedeutende gesellschaftliche Tragweite. Die volkswirtschaftliche Relevanz dieses eventuell beeinflussbaren Einschränkungsprozesses des älteren Bevölkerungsanteils ist erheblich, wie ein Blick auf den auch hierzulande bestehenden demographischen Wandel in den nächsten Jahren deutlich macht. Langfristig trägt die Sarkopenie gerade in der Bundesrepublik zur Entwicklung einer sozioökonomischen Herausforderung bei, welche sich durch den unter anderem überproportionalen Anteil älterer pflege- und hilfsbedürftiger Bürger verstärkt. Dies zeigt sich auch bei einem Blick auf die aktuelle Lage und langfristige Prognose des statistischen Bundesamtes von 2011. Hier wird ein Rückgang der Personen im erwerbsfähigen Alter, üblicherweise im Alter von 20-65 Jahren, um 15% beziehungsweise 7,5 Millionen Menschen prognostiziert. Gleichzeitig geht man von einem Anstieg der nicht mehr Erwerbstätigen von 16,7 Millionen im Jahre 2008 (33% der Bevölkerung) auf 22,3 Millionen bis 2030 aus. [19]

Immer weniger Arbeitnehmer und Leistungsträger müssen somit langfristig nicht nur Rentenansprüche der älteren Generation erfüllen, gleichzeitig muss auch der Bedarfsdeckung von Personal und Ausgaben des Gesundheitssystems nachgekommen werden. In Anbetracht des hinzukommenden medizinischen Fortschritts steigt nicht nur die individuelle Überlebenswahrscheinlichkeit und -zeit, sondern auch die Zahl der Behandlungs-, Präventions- und Interventionsmöglichkeiten rapide an. Dies führt wiederum zu einer nicht zu vernachlässigenden Zunahme der Gesundheitsausgaben bei gleichzeitig rückgängigen Einnahmen. [20, 21] Gerade durch die häufig ausgeprägte Multimorbidität in der an sich schon überproportional zunehmenden älteren Bevölkerungsschicht Deutschlands verschärft sich die Thematik zusätzlich. [9] Dies nur als kleiner Exkurs in die auch gesellschaftspolitische Vielschichtigkeit des Themas Sarkopenie, insbesondere für Deutschland.

Die Sarkopenie stellt nicht nur hierzulande eine Herausforderung dar. Es handelt sich um eine globale Thematik, insbesondere in Industrienationen. Weltweit ist von einem Populationsanstieg der über 60-jährigen von 841 Millionen Menschen im Jahr 2013 auf mehr als 2 Milliarden bis zum Jahr 2050 auszugehen. [20]

Die direkt durch die Sarkopenie bedingten und geschätzten Gesundheitsausgaben allein in den USA beliefen sich im Jahr 2000 bereits auf 18,5 Milliarden US Dollar. Somit machten sie dort 1,5% der jährlichen Gesundheitsausgaben aus. Bisher herrscht Uneinigkeit über die Definitionskriterien der Sarkopenie und damit auch über deren Prävalenz. Damit können weitere Berechnungen nur Näherungswerte darstellen. Eine beispielhafte Senkung der Prävalenz der Sarkopenie von 10% würde laut Janssen et al. zu einer jährlichen Ersparnis der US-Gesundheitsausgaben von 1,1 Milliarden US Dollar führen. Umgekehrt ist durch die wachsende Anzahl der älteren Personen in den USA ohne Implementierung von Interventionen von einer drastischen Kostensteigerung auszugehen. [22]

Diese Zusammenfassung dient vor allem dem Überblick über den aktuellen Wissensstand, die Relevanz und auch das Potenzial für zukünftige Projekte und Interventionen auf dem Gebiet der Sarkopenie. Nach dem Überblick über die Definition der Sarkopenie und ihre individuelle gesellschaftliche weitreichende Bedeutung soll im Folgenden zunächst auf die sich im Laufe der Zeit und Forschung verändernde Bedeutung und Gewichtung von Muskelmasse, -kraft und -leistung eingegangen werden.

1.2 Evolution des Sarkopeniekonzeptes

Wie bereits in den einleitenden Ausführungen dargelegt, bestand zunächst die Annahme, dass der sinngemäßen Übersetzung des Begriffes Sarkopenie folgend primär ein Muskelmasseverlust vorliegt. So entwickelten die Studien von Baumgartner et al. [4] und Janssen et al. [23] Cut-off-Werte diesbezüglich. Probanden mit erniedrigter Muskelmasse wiesen vermehrt physische Einschränkungen und Behinderungen auf, unabhängig vom Geschlecht, Alter, Gesundheitsverhalten, Rauchen sowie weiteren Faktoren. Goodpaster et al. konnten über den Muskelmasseverlust hinaus einen überproportionalen Rückgang der Muskelkraft nachweisen. Die Muskelkraft nahm gegenüber der Muskelmasse um den Faktor drei ab. Weitere Untersuchungen konnten nachfolgend einen Muskelkraftverlust bei gleichbleibender Muskelquerschnittsfläche nachweisen. [24, 25] Demnach sind nicht alleine die Muskelmasse, sondern ganz wesentlich die Muskelkraft und Muskelqualität entscheidend für die Funktionalität. [26] So zeigte sich unter anderem, dass die Muskelkraft alleine ein besserer Prädiktor für Behinderung und Sterblichkeit darstellte, als dies für die Muskelmasse der Fall war. [26, 27] Nachfolgend erkannte man allerdings auch die Bedeutung der Muskelleistung. So konnten für die Muskelleistung noch größere Einbußen nachgewiesen werden, als dies für die isometrische Muskelkraft der Fall war. [28-30] Darüber hinaus ergaben sich mehrende Hinweise darauf, dass die Muskelleistung noch deutlicher mit den funktionellen Leistungstests korreliert, als die Kraft alleine. [28, 29] Somit stellte sich die Leistungskomponente in den bisherigen Studien als zusätzlicher, sogar noch besser determinierender Faktor für gehäuft auftretende Stürze, Immobilisierung und Limitierung von Aktivitäten des täglichen Lebens dar. [12, 13, 31, 32]

Der Begriff „Dynapenie“ wurde geformt, um damit den Rückgang von Muskelkraft und Muskelleistung besser zu umschreiben. Diese beiden Faktoren scheinen ausschlaggebend für die beobachteten Funktionseinbußen zu sein. Nicht nur der Qualität und adäquaten Funktionsausführung der Muskulatur selbst kommt eine wichtige Rolle zu, sondern auch dem entsprechenden neuromuskulären Zusammenspiel auf peripherer sowie zentraler Ebene. [7, 33, 34]

Eine Übersicht über die bisher bekannten und zugrundeliegenden Faktoren der Reduktion von Muskelmasse, Qualität und Funktion wird im Abschnitt der Ätiologie und Pathogenese gegeben. Nachfolgend soll vorab zunächst auf die bisher vorliegenden epidemiologischen Daten eingegangen werden.

1.3 Epidemiologie

Aufgrund der uneinheitlich herrschenden Definitionskriterien sind genaue Zahlen zur Epidemiologie mit gewissem Vorbehalt zu nennen. Abellan van Kan verweist in seinem Review bisheriger Studienergebnisse auf eine Sarkopenieprävalenz von 8-40% bei den über 60-jährigen. Die Zahlen waren dabei stark abhängig von den angewendeten Definitionskriterien der Sarkopenie sowie den eingesetzten Diagnostiktools. [35] Nachfolgend soll zunächst auf frühe Studien bzgl. der daraus zu folgernden Epidemiologie und die zugrundeliegende Diagnostik eingegangen werden. In den Arbeiten wurden Cut-off Werte und Kriterien definiert, welche noch heute Anwendung finden. Im Anschluss folgt ein Überblick über epidemiologische Daten, welche sich aus aktuelleren Diagnostikalgorithmien ergaben.

Auch wenn die alleinige Abnahme der Muskelmasse nach heutigem Wissensstand nicht zwangsläufig ausreichend ist, um die Diagnose einer Sarkopenie zu stellen, so zeigte sich doch, dass bereits durch diesen singulären Faktor schon das Risiko für funktionelle Beeinträchtigung und Behinderung im Alter signifikant steigt. Nach Bestimmung der Muskelmasse per Bio-Impedanz-Analyse bei 4504 US-amerikanischen Bürgern, welche zum Zeitpunkt der Untersuchung älter als 60 Jahre waren, wurde ein sogenannter „skeletal muscle mass index“, kurz SMI, errechnet. Gebildet wurde dieser dort durch das Verhältnis von skelettaler Muskelmasse (SMM) zum Körpergewicht und multipliziert mit 100. [8] Die SMM wiederum wird errechnet über einen Algorithmus, in den neben der mit der BIA gemessenen Resistance auch die Körpergröße, das Geschlecht und das Alter mit einfließen. [36]

Die jeweiligen SMIs der Probanden wurden verglichen mit dem Mittelwert eines jungen gesunden Referenzkollektivs im Alter von 18 bis 39 Jahren, bestehend aus jeweils über 3000 Frauen und Männern. Entsprechend der Standardabweichung vom Referenzkollektiv wurden die über 60-jährigen Probanden graduiert. Lagen die Werte zwischen einer bis zwei Standardabweichungen vom Mittelwert der jungen gesunden entfernt, zählte man sie zur Gruppe der Sarkopenie Grad I. Lagen die Werte weiter als zwei Standardabweichungen auseinander, erfolgte die Einordnung in eine als zweitgradig bezeichnete Sarkopenie. Daraufhin wurden die jeweils modellmäßig mit Sarkopenie diagnostizierten Probanden zu den jeweiligen gleichgeschlechtlichen, nicht von Sarkopenie betroffenen Probanden verglichen. Laut der Studie lag das Risiko, eine funktionelle Einschränkung oder Behinderung zu erleiden, bei Männern, welche hier als zweitgradig sarkopen eingestuft wurden, doppelt so hoch wie bei den nicht betroffenen gleichgeschlechtlichen Probanden. Bei Frauen zeigte sich das Risiko sogar dreifach erhöht. Selbst nach Justierung für Alter, Körpermasse,

Gesundheitsverhalten, ethnischer Herkunft sowie sogar Komorbiditäten blieben die überproportionalen funktionellen Einschränkungen und Behinderungen weitestgehend signifikant. [8]

Janssen et al. nahmen eine ähnliche Einteilung vor, wobei hier ebenfalls eine BIA Messung zum Einsatz kam. Allerdings ergab sich der SMI hier aus der Adjustierung der Muskelmasse zur Körpergröße in kg/m^2 . Dabei wurde ebenso zwischen einer schwerwiegenden und moderaten Sarkopenie differenziert. Für die schwerwiegende Sarkopenie ergab sich eine um den Faktor sieben erhöhte Wahrscheinlichkeit, physische Behinderungen zu erleiden. Bei der dort als moderat bezeichneten Sarkopenie war das Risiko nach wie vor dreieinhalb Mal so groß. Die Grenzwerte für die Männer lagen auch hier deutlich über denen der Frauen. Darüber hinaus stellten sich die SMI Werte bei den Männern als deutlich stärkerer Prädiktor dar, physische Behinderungen zu erleiden, als dies für die Frauen der Fall war [23]. Dabei finden die dort erhobenen Grenzwerte in Bezug auf SMM-Messungen durch die BIA noch heute Anwendung und Empfehlung in der Konsensusdefinition der EWGSOP. [5]

In einer Studie, bei der die Muskelmasse mittels DXA bestimmt wurde, fanden Baumgartner et al. [4] in 883 in New Mexico lebenden Bewohnern eine Prävalenz der Sarkopenie, im Sinne einer „appendicular skeletal muscle mass“ (ASMM) mehr als zwei Standardabweichungen unterhalb einer jungen Referenzkohorte, von 13-24% bei unter 70-jährigen und von >50% bei den über 80-jährigen. Bei den dort als sarkopen zu bezeichnenden Männern zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang mit dem Alter, Übergewicht, geringem Jahreseinkommen (<15.000 USD), Rauchen und Lungenerkrankungen. Außer für Alter und Übergewicht konnte für diese Faktoren bei den sarkopenen Frauen kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Bei den über 80-jährigen ist von einer relativen Prävalenz von bis zu 50% die Rede.

Weitere epidemiologische Untersuchungen zeigten, dass Männer deutlich stärker vom jährlichen prozentualen Verlust von Muskelkraft betroffen sind als Frauen. Die jährliche Abnahme der Muskelkraft liegt laut Goodpaster, B. H., et al. [25] bei 3,4 % pro Jahr und bei Frauen bei 2,6%. Allerdings muss dabei die bei Männern initial durchschnittlich höhere Gesamtkraft und Muskelmasse berücksichtigt werden. [25]

Aufgrund der bisher uneinheitlichen Definitionen der Sarkopenie und den im Laufe der Zeit gewonnenen Erkenntnissen über die Muskelkraft und Muskelleistung wurde von der EWGSOP eine Konsensusdefinition erarbeitet. Dabei wurden bis dato etablierte Diagnostiktools und zugehörige Grenzwerte empfohlen. Darüber hinaus wurde ein

Diagnostikalgorithmus postuliert, in dem sowohl die Muskelmasse, -kraft und -leistung ihre Berücksichtigung finden. Auf den zugrundeliegenden Algorithmus wird im Abschnitt der Diagnostik und klinischen Aspekte nochmals genauer eingegangen. Mit dem Konsens sollten vergleichbarere und präzisere Ergebnisse insbesondere in Bezug auf die Epidemiologie ermöglicht werden. [5]

Cruz-Jentoft et al. betrachteten rückblickend kritisch Studienergebnisse in Form eines Reviews, welche auf dem Konsens der EWGSOP basierten. Hier zeigte sich die Prävalenz stark abhängig von der Wohnsituation der untersuchten Kohorten. So beträgt die Prävalenz der Sarkopenie 1-29% für Probanden in einer häuslichen Wohnsituation. [35, 37-45] Für Bewohner von Langzeitpflegeeinrichtungen ist von 14-33% auszugehen. [45, 46] Die Prävalenz in akut stationären Einrichtungen lag demnach bei 10%. [45, 47, 48] Mit fortschreitendem Alter kam es zu einer allgemeinen Prävalenzzunahme. Bis 75 Jahre zeigte sich bei den Frauen eine erhöhte Prävalenz der Sarkopenie, wohingegen bei den über 85-jährigen die Männer häufiger von der Sarkopenie betroffen waren. Zusammenfassend konnte in den meisten Studien aber kein signifikanter geschlechterspezifischer Unterschied festgestellt werden. [37-39, 43, 45, 47]

Longitudinale Studien konnten zwar die weitestgehend in den 90ern und zur Jahrtausendwende erhobenen hohen Prävalenzraten und mit der Sarkopenie assoziierten Raten an Behinderung nicht in diesem Ausmaß bestätigen, jedoch wurden dabei auch andere Kriterien und Grenzwerte bestimmt und zu Grunde gelegt. [49] Auch in einer aktuellen longitudinalen epidemiologischen Studie aus Italien (InCHIANTI) konnte anhand des EWGSOP Algorithmus eine Prävalenz der Sarkopenie von 10,2% beobachtet werden. Darüber hinaus zeigten die Betroffenen im longitudinalen Studiendesign nach Adjustierung für potenzielle Störfaktoren ein signifikant erhöhtes Risiko für Behinderung, Hospitalisierung und Sterblichkeit. Darüber hinaus war die Prävalenz der als prä-sarkopen zu bezeichnenden Teilnehmer mit 20,4% doppelt so hoch. Auf die genaue Definitionsgrundlage der Prä-sarkopenie nach dem EWGSOP Algorithmus wird im Abschnitt der Diagnostik und klinischen Aspekte noch eingegangen. [14]

1.4 Ätiologie und Pathogenese

Im Sinne der gängigen Definitionen und zugrundeliegenden Kriterien, unabhängig davon, ob ein quantitativer Verlust von Muskelmasse oder eine Minderung der Muskelqualität in Form von Kraft und Leistung vorliegt, ist das Alter als zentrale Ursache der Sarkopenie zu sehen, wenngleich dieser letztlich eine multifaktorielle Pathogenese zugrunde liegt, die insbesondere durch Begleitpathologien im Sinne der Multimorbidität wesentlich beeinflusst wird. [50-52]

1.4.1 Inaktivität, Lifestyle und Immobilisierung

Einer der wesentlichen Aspekte und kausalen Faktoren in der Pathogenese ist auf das abnehmende Aktivitätsniveau bzw. die im Alter zunehmende Inaktivität zurückzuführen. [53, 54] Die dadurch zunehmende Dekonditionierung und Nichtnutzung führt zwangsläufig zu einer Muskelatrophie, somit zu einer quantitativen Abnahme der Muskelmasse. [55, 56] Darüber hinaus ist von einer Abnahme der Ausdauer, Flexibilität, Balancekontrolle sowie dem Bewegungsumfang auszugehen. [54, 57] Das Sturz- und damit auch Verletzungs- sowie Frakturrisiko steigt. [16]

Eine etwaige Immobilisierung ist die häufige Folge. Stetige und regelmäßige Belastungsreize für die Muskulatur des Bewegungsapparates und besonders der unteren Extremität sind nicht mehr vorhanden oder auch nur noch eingeschränkt möglich. Der Abbau der bereits schwindenden Muskulatur wird weiter beschleunigt. [58, 59] Selbst bei wieder erfolgter Rehabilitation und Mobilisierung erhöht sich das erneute Sturzrisiko im Zusammenhang mit „Fear of Falling“. Die Angst vor einem weiteren Sturz mindert regelmäßige Aktivität. Ein Circulus vitiosus entsteht. Umgekehrt wirkt gerade regelmäßige Aktivität sturz- und verletzungsprotektiv. [8, 9, 16, 57]

1.4.2 Neuromuskuläre Veränderungen

Auch neuromuskuläre Veränderungen spielen eine Rolle beim Masse- und Funktionsverlust. Im fortschreitenden Alter kommt es zu einem überwiegenden Untergang von schnellen motorischen Einheiten, welche sich durch Typ II Fasern auszeichnen. Es kommt zu einer Denervierung dieser Fasern. Noch intakte Motoneurone versuchen, die denervierten Fasern zu reinervieren und sie damit vor der Apoptose zu bewahren. Die Konsequenz scheint eine Umstrukturierung der ehemals Typ II Faser in langsamere Typ I Fasern zu sein. [60-62]

Unter Anbetracht bisheriger Studien ist von einem Verlust motorischer Einheiten auszugehen. [63] Des Weiteren kommt es auch zu einem primären Verlust von Alpha-Motoneuronen. [64] Mit einer insgesamt verringerten Zahl motorischer Einheiten und deren Reorganisation macht sich dieser Effekt am ehesten bei schnellen Ausgleichsbewegungen des Körpers bemerkbar. Dabei spielt auch das Missverhältnis zugunsten der langsam kontrahierenden Typ I Fasern gegenüber den schnell kontrahierenden Typ II Fasern ebenso eine Rolle. Gerade die Typ II Fasern sind essentiell für eine schnelle und kurzfristige Muskelfunktion. Dazu kommen weitere Faktoren, die das neuromuskuläre Zusammenspiel verlangsamen und die adäquate Funktionsausführung verschlechtern. [29, 62, 63, 65] Es ist von einem erhöhten Sturzrisiko auszugehen sowie dem wiederum erhöhten Risiko für Frakturen, Hospitalisierung, nachfolgende Immobilisierung oder gar Mortalität.

Darüber hinaus kommt es im Rahmen der neurodegenerativen Veränderungen auch insgesamt zu einem quantitativen Verlust der Muskulatur. Dieser wird allerdings unter anderem durch die soeben ausgeführten und viele weitere Pathomechanismen im Zuge des Qualitätsverlusts der Muskulatur überragt, welcher sich in einem überproportionalen Funktionsdefizit widerspiegelt. [24, 25]

1.4.3 Muskelkonstitution und Sarcopenic obesity

Die Muskelqualität wird insbesondere durch die Konstitution der Muskulatur beeinflusst. Bei adipösen Probanden zeigte sich beispielsweise, verglichen zu nicht adipösen, bei größerer Querschnittsfläche der Muskulatur in der Bildgebung eine verminderte Muskeldichte, die am ehesten auf Lipidablagerungen innerhalb der Muskulatur zurückzuführen ist. Bei diesem Phänomen wurde entsprechend bei gleichbleibender Querschnittsfläche ein größerer Muskelkraftverlust beobachtet. [24, 25] Fettinfiltration in der Muskelmasse führt nachweislich zur Qualitäts- und damit Leistungsminderung der Muskulatur. [66]

Diese Beobachtungen sowie weitere werden durch die Sarcopenic Obesity zusammengefasst. Dabei handelt es sich um einen Verlust der Skelettmuskelmasse bei gleichzeitiger Zunahme der Körperfettmasse. Damit bleibt auch der BMI in vielen Fällen unverändert, trotz sich verändernder Körperkonstitution. [67] Dabei spielt in erster Linie das viszerale Fett eine bedeutsame Rolle durch die Induktion proinflammatorischer Prozesse. Darüber hinaus unterstreichen die komplexen Interaktionen und gemeinsamen pathophysiologischen Mechanismen, wie Erhöhung proinflammatorischer Zytokine, oxidativer Stress, Insulinresistenz und hormonelle Veränderungen, die Beziehung zwischen der Sarkopenie und

der Adipositas. [68, 69] Sowohl die Sarkopenie als auch die Adipositas stellen allein für sich bereits unabhängige Risikofaktoren für metabolische Erkrankungen, Morbidität und Mortalität dar. [70] Darüber hinaus konnten bisherige Studien aber kein deutlich erhöhtes Risiko bei gleichzeitigem Auftreten beider Risikofaktoren nachweisen. Allerdings ist dies auch dem Fakt geschuldet, dass die Sarkopenie bisher noch in kein einheitlich und klar definiertes diagnostisches Konzept gefasst ist. [69]

1.4.4 Insulinresistenz, oxidativer Stress und mitochondriale Dysfunktion

Die Muskulatur spielt eine entscheidende Rolle im Glukosestoffwechsel. Die Sarkopenie resultiert aus einer Reduktion der Muskelmasse. Damit ist bei Sarkopenie die Kapazität für die insulininduzierte Aufnahme der Blutglukose vermindert. Das Risiko einer Insulinresistenz ist erhöht. [71] Die Insulinresistenz spielt eine Rolle bei der mit dem Alter beobachteten mitochondrialen Dysfunktion. Die mitochondriale Dysfunktion wird unter dem Aspekt einer verminderten mitochondrialen Kapazität, oxidativen Stress zu bewältigen, diskutiert. [11, 72-74] Dabei moduliert oxidativer Stress u.a. die Expression von Transkriptionsfaktoren, wie dem nuklearen Faktor- κ B (NF κ B), welcher wiederum proteolytische und katabole Signalwege durch die Produktion weiterer proinflammatorischer Zytokine moduliert. [51, 69, 75]

1.4.5 Endokrinologie

Der Altersprozess und die Sarkopenie sind mit einer Vielzahl von Änderungen des Hormonhaushaltes verbunden, welche mutmaßlich Einfluss auf die anabolen und katabolen Prozesse im Skelettmuskel und Gesamtstoffwechsel nehmen. Dabei stehen u.a. die GH / IGF-1/Achse und die Glukokortikoide im Fokus sowie das Testosteron und Östrogen. Das anabol auf die Proteinbilanz wirkende IGF-1 zeigt sich dabei vermindert. Durch den fehlenden Stimulus von Wachstumshormon, auch „Growth Hormone“ (GH) genannt, sinkt die Syntheseleistung der Leber für IGF-1. Auch die muskelleigene Synthese von IGF-1 ist reduziert. [11] Darüber hinaus konnte bei älteren Menschen in der Muskulatur eine Resistenz gegenüber den anabolen Effekten des IGF-1 nachgewiesen werden. [76] Durch die Umstellung des Androgen- und Testosteronhaushaltes kommt es vermutlich zu einer weiteren Verminderung anaboler Effekte. Der Proteinkatabolismus überwiegt. Resultat ist eine Minderung von Muskelmasse und -kraft. [51, 69, 77, 78]

1.4.6 Ernährung und Malabsorption

Eine allgemeine intestinale Nährstoffmalabsorption oder mangelnde Nahrungsaufnahme durch Anorexie führt zu einer generellen Nährstoffunterversorgung. Anorexie ist im Alter häufig aufgrund appetitvermindernder Medikation verursacht. Die überwiegend in der Muskulatur eingelagerten Proteine dienen als alternative Energiequelle. Muskulatur wird verstoffwechselt und die Muskelmasse nimmt ebenso ab. [5, 79]

1.4.7 Kachexie und Inflammation

Sarkopenie zeigt eine Überlappung zur Kachexie, muss aber von ihr abgegrenzt werden. Bei der Kachexie steht die Dynamik des Körpergewicht-, Fett- und Muskelmasseverlustes im Vordergrund. Dabei liegt meist eine schwere Grunderkrankung vor. [79, 80] Veränderungen des Körpergewichtes gelten bei der Sarkopenie nicht zwangsläufig als Definitionskriterium. [81, 82] Allerdings beinhalten sowohl die Sarkopenie als auch die Kachexie eine Inflammationskomponente. [5, 79]

Die IL-6 Spiegel steigen im Laufe des Lebens an und die Ausschüttung erfolgt in Abhängigkeit zur Belastungsintensität. Die ermittelten IL-6 Spiegel scheinen zudem mit einem erhöhten CRP einherzugehen. Es ist noch nicht geklärt, warum diese erhöhten Werte gerade bei älteren Menschen, die in der Regel weniger intensiver Belastung ausgesetzt sind, zu beobachten sind. Ein Zusammenhang mit einer leichteren Verletzbarkeit und einer schnelleren Überbelastungsreaktion der Muskelfasern und assoziierten Strukturen wird diskutiert. [83, 84] Laut einer Studie von Ferrucci, L. et al. [85] haben ältere Frauen mit erhöhten IL-6 Konzentrationen ein erhöhtes Risiko körperliche Einschränkungen zu erleiden. Diese können sich in Form von einer Verminderung der Ganggeschwindigkeit manifestieren. Die reduzierte Ganggeschwindigkeit war in der besagten Arbeit aber nur partiell auf eine Minderung der Muskelkraft zurückzuführen. [85]

Neben der Kachexie und Sarkopenie existiert darüber hinaus der Begriff der Frailty. Nach der Definition von Fried et al. [86] zufolge kann sie neben einem ungewollten Gewichtsverlust (innerhalb von 5 Jahren) und selbsteingeschätzter Erschöpfung u.a. auch mit einer reduzierten körperlichen Leistungsfähigkeit, verminderter Gehgeschwindigkeit und Handkraft einhergehen, wobei es sich bei den drei letztgenannten um ebenso mit der Sarkopenie assoziierte pathogenetische und ätiologische Faktoren handelt. [5, 86, 87] Im Gegensatz zur Frailty, die u.a. weit über die körperlichen Einflüsse hinausgeht, beinhaltet das Konzept der Sarkopenie allerdings bislang keine signifikant häufigen kognitiven Einschränkungen. [5, 88]

1.5 Diagnostik und klinische Aspekte

Auf die bisher vorherrschende klinische Einteilung, die bereits in der Einleitung thematisiert wurde, soll an dieser Stelle nochmals genauer eingegangen werden. Wie bereits dargelegt, ist inzwischen etabliert, dass eine alleinige Reduktion der Muskelmasse nicht das Ausmaß und den Umfang des Muskelfunktionsverlustes im Rahmen der Sarkopenie erklärt. Bei gleichbleibendem Muskelquerschnitt und konstanter Muskelmasse zeigt sich ein überproportionaler Rückgang von Muskelkraft und Leistung. [24, 25] Auch die EWGSOP hat dies zum Anlass genommen, in ihrer Konsensus Definition die Einteilung und Definition der Sarkopenie folgendermaßen vorzunehmen:

Es gibt drei Kriterien:

1. Muskelmasse
2. Muskelkraft
3. Muskelleistung

Eine isoliert reduzierte Muskelmasse ohne Einbußen der Muskelkraft und Leistung definiert sich demnach als Form der Prä Sarkopenie. Nur bei einer Reduktion der Muskelmasse in Kombination mit einem Kraftverlust oder einer Muskelleistungsverschlechterung sind die Kriterien einer Sarkopenie erfüllt. Eine schwere Sarkopenie zeichnet sich durch eine gleichzeitige Verminderung aller drei Parameter aus.

Wie bereits einleitend erwähnt, gibt es weitere Einteilungen bzw. Konsensusdefinitionen mit abweichenden Algorithmen. Sämtliche Definitionen berücksichtigen die Muskelmasse als wesentliches Diagnosekriterium. Zusätzlich wird als weiteres Kriterium entweder die Muskelkraft oder die Muskelleistung herangezogen. [5-7]

Unter Berücksichtigung der Ätiopathogenese wird gelegentlich zwischen einer primären und einer sekundären Sarkopenie unterschieden. Von einer primären Sarkopenie spricht man, wenn sich außer dem voranschreitenden Alter keine weitere Kausalität eruieren lässt. Eine sekundäre Sarkopenie kann sich demnach auch in jüngeren Jahren manifestieren. Diese kann durch eine Vielzahl von Faktoren verursacht sein. Dazu zählen insbesondere eine krankheits- oder verletzungsbedingte Immobilisierung, oder ein alters-, berufs- oder verhaltensbezogener inaktiver Lebensstil. Ein weiterer Punkt wird durch parallel verlaufende chronische, entzündliche, maligne und endokrine Erkrankungen umschrieben. Unter diesen Aspekt fällt auch das Versagen von Organen oder ganzen Organsystemen, wie Nieren, Lunge, Leber, Herz oder das zentrale Nervensystem. Auch unzureichende Nahrungszufuhr oder

resorptionsabhängige Nährstoffunterversorgung mit kompensatorischem Proteinkatabolismus zur Energiegewinnung ist eine altersunabhängige Kausalität. [5] Letztlich liegen aber in der Regel mehrere Faktoren vor, die die Entstehung einer Sarkopenie in unterschiedlich starkem Ausmaß mit bedingen, sodass im Einzelfall eine Unterscheidung zwischen primärer und sekundärer Sarkopenie eher ein theoretisches Konstrukt als eine für die Diagnose und Therapie im Alltag hilfreiche Information wäre.

Eine Erkrankung, wie auch die Sarkopenie, setzt in erster Linie eine Diagnose und entsprechende Diagnosekriterien voraus. Diese wiederum bedürfen unter anderem validierter Tests bzw. Messsysteme und Normwerte. Erst so lassen sich nachfolgend auch Interventions- und Therapieansätze evaluieren, um entsprechende Verbesserungen zu vergleichen. Darüber hinaus sind Messinstrumente, insbesondere der Muskelkraft und Muskelleistung, essentiell, um wertvolle Informationen und Daten zum besseren Verständnis der Pathogenese und der Zusammenhänge in der Alters- und Sarkopenieforschung zu generieren. Ohne eine objektive Messbarkeit sind ein weiterführendes Verständnis pathophysiologischer Zusammenhänge sowie die Identifikation von Therapieansätzen und Interventionen kaum möglich.

Aufgrund der drei in unterschiedlichen Kombinationen allgemein verwendeten Definitionskriterien, die im Zusammenhang mit Sarkopenie stehen, gibt es viele verschiedene Apparaturen, Hilfsmittel und Tests. Dabei muss sowohl der Nutzen als auch die Anwendbarkeit für die Forschung und Klinik berücksichtigt werden.

1.5.1 Diagnostik Muskelmasse

Zur Messung der Muskelmasse kommen sowohl bildgebende Verfahren zum Einsatz, wie MRT, CT und DEXA, als auch die Bio-Impedanz-Analyse (BIA).

Was die Forschung betrifft, sind die MRT und CT Diagnostik sowie die periphere quantitative Computertomographie (pqCT) aufgrund ihrer hohen Auflösung und der Möglichkeit, Skelettmuskulatur gut von umliegendem Weichgewebe zu differenzieren, häufig favorisierte Methoden. Darüber hinaus sind die Systeme in der Lage, durch die Querschnittsbildgebung auch die Muskeldichte sowie den Fettgehalt im Muskel selbst weiter zu berücksichtigen. Damit lassen sie nicht nur Rückschlüsse auf die Muskelmasse, sondern darüber hinaus auch auf dessen Konstitution ziehen. Unter Berücksichtigung der erforderlichen Logistik, der Durchführbarkeit und der Untersuchungskosten sowie insbesondere der hohen Strahlenbelastung beim herkömmlichen CT stellen diese aber für ein Screening oder eine

klinische Routineuntersuchung keine bedeutende Option dar. Die MRT Untersuchung ist sehr zeitaufwendig, teuer und nicht nur aufgrund des logistischen Aufwands komplex.

Die Analyse der Körperkonstitution mittels Dual X-Ray Absorptiometrie (DXA) ist eine gute, etablierte Methode zur Bestimmung der Muskelmasse. Ein entsprechender Ganzkörperscan stellt sowohl für Patient als auch Untersucher eine weitaus geringere Strahlenbelastung dar als eine CT Untersuchung.

Die schnelle, kostengünstige, unkomplizierte und auch bei bettlägerigen Patienten durchführbare BIA kam in den vergangenen Studien ebenfalls häufig zum Einsatz. Obgleich die Messergebnisse von einigen Quellen u.a. von Mijnaerds et al. [89] als nicht verlässlich beschrieben wurden, wird sie von der EWGSOP durch ihren langjährigen Einsatz unter Standardbedingungen, den dabei entwickelte Referenzwerten sowie die mit MRT Untersuchungen hoch korrelierenden Messungen als gute, mobile, kostengünstige und schnell durchführbare Methode empfohlen. [1, 5, 36, 89, 90]

Sowohl die DEXA Messung als auch die BIA stellen in den meisten aktuellen Beobachtungs- und Interventionsstudien sowie klinischen Anwendungen die Untersuchungsmethode der Wahl zur Bestimmung der Muskelmasse dar. Allerdings weisen beide Limitierungen dahingehend auf, dass die Körpermagermasse letztendlich indirekt über Algorithmen aus physikalischen Gewebeeigenschaften errechnet wird. Somit können weder die DXA noch die BIA zwischen intra- und extrazellulärer Flüssigkeit diskriminieren ebenso wie auch eine Analyse hinsichtlich inter- und intramyozellulärem Fettgewebe nicht möglich ist. Somit sind beide Methoden abhängig vom Hydrierungszustand und erfassen nicht die strukturellen Defizite des Muskels – zwei Aspekte, die gerade bei älteren Probanden einer nicht unerheblichen inter- und intraindividuellen Varianz unterliegen. [1, 89, 91]

Weiterhin gibt es auch Versuche, Körpergewebszusammensetzung über totale oder partielle Kaliumgehaltmessung in der körperfettfreien Masse zu bestimmen. Der Hintergedanke dabei ist, dass die Skelettmuskelmasse über 50% des Gesamtkörper-Kaliums beinhaltet. Über eine entsprechende Kaliummessung lassen sich somit Rückschlüsse auf den Muskelmasseanteil ziehen. Auf diese Methode soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da es hierfür bisher keinen routinemäßigen Einsatz gibt. [92]

Anthropometrische Messungen zur Beurteilung der Muskelmasse wie z.B. anhand des Arm- oder des Wadenumfangs gelten ebenfalls als fehleranfällig und werden von der EWGSOP nicht für den klinischen Einsatz empfohlen. [5, 89]

1.5.2 Diagnostik Muskelkraft

1.5.2.1 Handgrip Strength

Zur Bestimmung der Muskelkraft wurden in den meisten Studien einige wenige Verfahren genutzt. Die EWGSOP musste feststellen, dass für die Bestimmung der Muskelkraft deutlich weniger gut validierte Messtechniken vorhanden sind. Die Handkraftmessung konnte sich hier bisher am besten etablieren. Bei der Messung handelt es sich um eine motorisch wenig komplexe, schnell durchführbare und einfache Methode. Darüber hinaus existiert eine große Datenbasis und es wurden Cut-off-Werte entwickelt, welche auch in der EWGSOP Konsensusdefinition Berücksichtigung fanden. Die Handkraftmessung konnte sich gegenüber Muskelmasseparametern als besser geeigneter klinischer Marker für Mobilitätseinschränkungen behaupten. [5, 86, 93] Es gibt Daten, die auf eine gute Korrelation der isometrischen Handkraft mit der Kraft der unteren Extremität, dem Drehmoment der Knieextensoren sowie dem Wadenmuskelquerschnitt hindeuten, dennoch stellt sie in Bezug auf die Beurteilung der unteren Extremität letztlich nur eine indirekte Messung dar. [5]

Gerade die Quantifizierung der Muskelkraft der unteren Extremität ist von besonderem Interesse, weil sie mutmaßlich ausschlaggebend für eine Vielzahl wesentlicher alltagsrelevanter Funktionen ist. Die Handkraftmessung selbst korreliert zwar mit der Kraft der unteren Extremität, jedoch lässt sich nur ein Teil der Variabilität damit erklären. Es steht zur Diskussion ob die Handkraftmessung damit zumindest als alleiniger Prädiktor der Gesamtkraft ausreichend ist. [1, 89, 94] Zudem ist der Verlust der Muskelmasse und Kraft an der oberen Extremität im Alter weniger stark ausgeprägt als an der unteren Extremität. [94-98] Darüber hinaus schlussfolgerten Stark et al. [99] in ihrem Review bisheriger Studien, dass die isometrische Handkraftmessung isokinetische Messungen nicht gänzlich ersetzen kann. Die Reliabilität der Handkraftmessung wird zudem limitiert durch uneinheitliche Protokolle für die Durchführung der Messung. Daneben liefert die Untersuchung nur einen Analyseparameter im Vergleich zu den Readouts beispielsweise mit isokinetischen Messungen der Knieextension. In Studien bestehen des Weiteren teils signifikante Differenzen zwischen den Handkraftmessungen und isokinetischen Knieextensionsmessungen. Andererseits stellt die Handkraftmessung eine kostengünstige und praktische Messoption dar. [99]

1.5.2.2 Knieflexions- und Extensionsdynamometrie

Bei Messungen der unteren Extremität handelt es sich um einen vielversprechenden Prädiktor der Gesamtfunktion bzw. des Funktionsstatus des Probanden. So nimmt die isometrische Kraft der unteren Extremität im Alter deutlicher ab als die der oberen. [94-98] Darüber hinaus sind die Muskelgruppen von Rumpf und Beinen insbesondere für die Balance- und Standfähigkeit verantwortlich. Bean et al. [100] konnten einen deutlichen Zusammenhang zwischen eingeschränkter Kraft und Leistung der unteren Extremität einerseits sowie einer reduzierten Gesamtperformance und somit auch gehäufte körperlicher Aktivitätseinschränkung andererseits nachweisen. Generell muss allerdings zwischen Messungen der Muskelkraft, meist in Form isometrischer oder isokinetischer Muskelkontraktionen, und Muskelleistungsmessungen differenziert werden. Die isometrische Kraft der unteren Extremität wird in der Regel durch Knieextensionsmessungen am sitzenden Probanden in 90°-Flexionsstellung des Kniegelenkes gemessen. [101] Isokinetische Kontraktionen sind repräsentativer für Alltagsanforderungen. Aktuelle isokinetische Dynamometer sind in der Lage, beide Komponenten zu messen. Dabei wird das konzentrische Drehmoment der Knieextensoren bei unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten bestimmt. [102, 103] Allerdings wird hierzu von der EWGSOP noch zu umfassenderen Untersuchungen über eine weitere Spannweite bei älteren Probanden mit unterschiedlichem ethnischen Hintergrund geraten. [5] Nach Ansicht der EWGSOP, in Zusammenschau bisheriger Studien, sind sowohl die Kraft als auch die Leistungskomponente wichtige Parameter. Allerdings kommt es bei gesunden älteren Menschen nach aktuellem Wissenstand gegenüber dem Kraftverlust zu einem noch schneller eintretenden und gravierenderen Muskelleistungsverlust. Darüber hinaus stellt die Messung der Muskelleistung, welche sich durch Kraft pro Zeiteinheit definiert, einen besseren Prädiktor für funktionelle Behinderungen und die Gesamtfunktion dar. [5, 100, 104-106] Diesbezügliche bisherige Diagnostiktools werden soweit abgrenzbar im Abschnitt der Muskelleistung ausgeführt.

1.5.2.3 Peak expiratory flow (PEF)

Als weitere Größe zur Bestimmung der Kraft wird die Messung des expiratorischen Spitzenflusses angesehen. Dieser Wert ist maßgeblich abhängig von der Kraft der Atem- und Atemhilfsmuskulatur. Die Messung des Luftstromes stellt damit eine indirekte Messung der Rumpfmuskelkraft dar. Die Messung ist vergleichsweise günstig und einfach durchführbar, allerdings ist die wissenschaftliche Datenbasis bezüglich der Aussagekraft des Wertes für die Gesamtkraft bzw. die Kraft der unteren Extremität eingeschränkt. [5, 107, 108]

1.5.3 Diagnostik Muskelleistung (Physical Performance/Power)

1.5.3.1 Gait speed

Eine bedeutende Rolle in der klinischen Diagnostik spielt die gewöhnliche Gehgeschwindigkeit. Es ist wichtig zu betonen, dass gezielt nicht die maximal zu erzielende Geschwindigkeit, sondern die für den individuellen Probanden als normal empfundene Gehgeschwindigkeit wesentlich ist. Letztlich erfasst diese Untersuchung multiple Systeme des Bewegungsapparates, die bei niedriger Intensität beansprucht werden. Dabei stellt sie ein Maß für die globale Gesamtfunktion des Probanden dar. Sie wird aktuell in allen gängigen Sarkopeniedefinitionen verwendet. [1, 5, 6, 79]

Zunächst stellten Buchner et al. [109] fest, dass ein nicht linearer Zusammenhang zwischen der Beinkraft und der Ganggeschwindigkeit besteht. Guralnik et al. [12] konnten darauf aufbauend nachweisen, dass die Ganggeschwindigkeit sich als guter Prädiktor für das Eintreten von funktionellen Einschränkungen dient. In einigen umfassenden empirischen Studien konnte eine gute prädiktive Wertigkeit der frei gewählten Ganggeschwindigkeit für Gesundheitsstatus, Morbidität und Mortalität gezeigt werden. [1, 12, 32, 110]

Studenski, S. et al. [31] kamen darüber hinaus in ihrer aggregierten Analyse von neun Kohortenstudien mit individuellen Daten von über 34.000 Probanden zu dem Ergebnis, dass sich die Überlebenswahrscheinlichkeit nur anhand von Alter, Geschlecht und Gehgeschwindigkeit genauso gut bestimmen lässt, wie mit den Parametern Alter, Geschlecht, Zuhilfenahme von Gehilfen und selbsteingeschätzter körperlicher Einschränkung. Ebenso verhält sich dies mit der Konstellation aus Alter, Geschlecht, chronischen Erkrankungen, Rauchen, Blutdruck, BMI und der Anzahl stationärer Aufenthalte. [12, 31, 32, 109]

1.5.3.2 SPPB

Bei der „Short Physical Performance Battery“ (SPPB) handelt es sich um eine Kombination aus 3 Einzeltests: Gehgeschwindigkeit, Balance-Test und Chair Rise Test. [31] Der letztgenannte Test besteht darin, ohne Zuhilfenahme der Hände fünfmal hintereinander von einem Stuhl aufzustehen und sich wieder hinzusetzen. Die dafür benötigte Zeit ist dabei maßgeblich für die Bewertung des Tests und resultiert in einer entsprechenden Punktezahl. [13] Beim CRT handelt es sich um einen ebenso komplexen, aber eine höhere Intensität und somit Muskelleistung erfordernden Test, als dies bei der Ganggeschwindigkeit der Fall ist. [1] Der Test in Bezug auf die Ganggeschwindigkeit wurde bereits im

vorausgehenden Abschnitt erläutert. Für die SPPB wird sie hier auf einer Strecke von vier Metern bemessen. Bei den Balance- bzw. Standübungen handelt es sich um 3 verschiedene Standpositionen, welche für mindestens 10 Sekunden gehalten werden müssen, ohne dass der Proband das Gleichgewicht dabei verliert. Bei der ersten Position wird der Proband dabei gebeten, parallel mit geschlossenen Beinen zu stehen. Nachfolgend werden die Füße in der Semitandemposition leicht versetzt in der Gangrichtung positioniert. Schlussendlich erfolgt die Tandemposition, bei der die Füße in einer Linie hintereinander ausgerichtet werden und welche die anspruchsvollste Übung darstellt.

Jeder Einzeltest der SPPB wird auf einer Skala von null bis vier Punkten gewertet, woraus sich ein Gesamtscore von maximal 12 zu erzielenden Punkten für die SPPB ergibt. Weiterhin lässt sich die SPPB mit vielen weiteren Tests kombinieren und stellt nach den bisherigen Erkenntnissen eine verlässliche und valide Untersuchungskombination zur Bemessung der Muskelleistung bei der Sarkopeniediagnostik dar. [31, 89]

1.6 Leonardo GRFP Jumping Mechanograph

Eine bisher in den gängigen Konsensusdefinitionen noch nicht berücksichtigte Messung für die Muskelleistung ist die Sprunganalyse mit Hilfe einer Bodenreaktionskraft-Messplatte.

Sie bietet die Möglichkeit verschiedener Testarten. Der bisher am häufigsten eingesetzte und gebräuchlichste ist der Beidbeinsprung, in der Literatur auch als single two leg jump (s2lj) oder counter movement jump (CMJ) bezeichnet. Der Proband steht dabei in etwa schulterbreit auf einer knapp ein m² großen Platte. Ziel des Sprunges ist es, mit beliebiger und von dem Untersuchten frei wählbaren Ausholtiefe so hoch wie möglich zu springen. Dabei wird mithilfe einer Bodenreaktionskraftanalyse der exakte Kraft-Zeit Verlauf des springenden Probanden auf einer Messplatte aufgezeichnet. Wie von Cavagna [111] beschrieben, lassen sich per mathematischer Ableitung alle weiteren Kernparameter der Sprunganalyse eruieren. Dabei bietet Sie eine Vielzahl an Analysemöglichkeiten und Variablen.

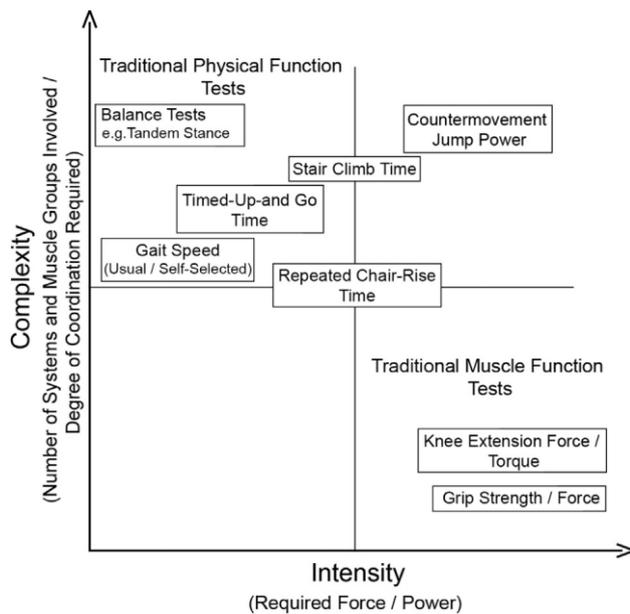


Abbildung 1 Bisher verwendete Testverfahren zur Quantifizierung neuromuskulärer und muskulärer Leistungsfähigkeit im Rahmen der Sarkopeniediagnostik finden sich in obiger Abbildung [1] entsprechend ihrer Intensität gegen die X-Achse und ihrer Komplexität gegen die Y-Achse aufgetragen wieder. Dabei zeichnet sich der CMJ gegenüber allen anderen abgebildeten Testverfahren, in der Abb. oben rechts zu sehen, sowohl durch eine hohe Intensität als auch Komplexität aus. Die Druckgenehmigung und Bildrechte für die verwendete Abbildung wurden eingeholt.

Als Alleinstellungsmerkmal zu den bisherigen Messsystemen wird hierbei eine relativ komplexe funktionelle Aufgabe mit einer für die Durchführung erforderlichen hohen Intensität kombiniert. Bisherige klassische Untersuchungen wie die Ganggeschwindigkeit, Balancetests und Chair Rise Tests involvieren zwar ebenso viele verschiedene Muskelgruppen, erfordern deren inter- und intramuskuläre Koordination und sind damit als komplex zu bezeichnen. Die abverlangte Intensität jedoch ist deutlich niedriger. [1]

Die JM ist damit als vielversprechende Quantifizierungsmöglichkeit der neuromuskulären Leistungsfähigkeit zu

sehen. Der Begriff „neuromuskulär“ in diesem Zusammenhang umschreibt am besten die von der JM evaluierte Zielgröße. Er steht für die Bedeutung und Berücksichtigung des Zusammenspiels von Innervation, Koordination und Kontraktion und der zugrundeliegenden bisher bekannten ätiopathogenetischen Faktoren.

Ein weiterer entscheidender Unterschied gegenüber den meisten anderen Messungen der Muskelleistung liegt in der Berücksichtigung des für jeden Probanden individuellen Körpergewichtes, welcher gravitationsbedingt als intrinsischer Widerstand auch in alltäglichen Situationen des Lebens bewältigt werden muss. [112] Dies stellt laut Runge et al. darüber hinaus einen maßgeblichen Vorteil gegenüber der isokinetischen Dynamometrie oder „Power Rig Testing“ dar, bei denen Muskelkraft und -leistung gegen einen externen Widerstand gemessen werden. [112-115] Des Weiteren verspricht er, einen geringeren Ceiling-Effekt aufzuweisen, als bspw. die bisher in der Sarkopeniediagnostik etablierten Messgrößen der SPPB oder Ganggeschwindigkeit. Für die SPPB kann aus den verschiedenen Einzeltests, von denen einer auch die Ganggeschwindigkeit darstellt, nur eine maximale Zahl von 12 Punkten erzielt werden. Die Ganggeschwindigkeitsmessung wird an einer vom Proband frei wählbaren Gehgeschwindigkeit bemessen, ohne dabei zu rennen. Damit

erscheint die Messung durch die Anweisung die Ganggeschwindigkeit frei zu wählen, entgegen der Anweisung beim JM einen Sprung maximaler Höhe durchzuführen zunächst nicht nur subjektiver, ebenso wird durch die geringere Intensität auch nicht zwangsläufig die maximal mögliche Leistung des Probanden eruiert. Bei der Bemessung der Ganggeschwindigkeit ist diesbezüglich somit von einem gewissen Ceiling-Effekt zu sprechen. Der nach aktuellem Stand des Wissens am besten geeignete Wert, die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit des Probanden in der Sprunganalyse zu beurteilen, liegt in der nach dem Körpergewicht adjustierten Maximalleistung während der Absprunghase des Beidbeinsprunges. [112, 116, 117] Dabei konnten Runge et al. [112] an gesunden Probanden über eine große Altersspanne hinweg eine deutlich altersassoziierte Abnahme der Sprungleistung nachweisen.

Die Analyse der Sprungleistung zeigte darüber hinaus eine hohe Reliabilität und Reproduzierbarkeit ohne relevanten Lerneffekt, d.h. die Werte werden auch bei wiederholter Messung nicht allein durch die Erfahrung des Probanden mit dem Gerät verändert. [116, 118, 119] In bisherigen Studien kam es zu keinen Zwischenfällen. Die Sprunganalyse scheint eine sichere Untersuchungsmethodik auch für ältere Kohorten darzustellen. [112, 116, 117, 119, 120]

Die Sprunganalyse stellt damit prinzipiell ein vielversprechendes weiteres Diagnostiktool dar. Allerdings sind noch einige Aspekte nicht ausreichend geklärt, weshalb in dieser Arbeit Wissenslücken weiter geschlossen werden sollen. Auf die konkreten Punkte wird im späteren Verlauf detailliert eingegangen.

1.6.1 Single Two Leg Jump (s2lj)

Ausgesprochen gut evaluiert und für eine Untersuchung wie die vorliegende Querschnittsstudie besonders geeignet ist der single two leg jump, welcher entsprechend an dieser Stelle detaillierter beschrieben wird. Abgekürzt s2lj, ist er am ehesten im Sinne eines Leistungstestes zu verstehen. Dabei wird ein natürlicher Sprung mit Ausholbewegung durchgeführt, mit dem Ziel maximaler Höhe. Es können zudem zusätzlich bestimmte Bedingungen bei der Ausführung festgelegt werden, wie beispielsweise eine Ruhigstellung der Arme. Auf die Positionierung dieser und weitere Details des Protokolls in Bezug auf die Durchführung wird im Methodikabschnitt, 2.8 Untersuchungsablauf GRFP, ausführlicher eingegangen. Der Sprungtyp kommt dabei einer physiologischen Bewegung und alltäglichen Anforderung am nächsten und erreicht damit unter anderem eine hohe

Reproduzierbarkeit. [119, 121] Es handelt sich um einen Test, in welchem die allgemeine Leistungsfähigkeit im Vordergrund steht. Auf die damit erhobenen Parameter, deren Zustandekommen und Bedeutung wird im Verlauf unter Berücksichtigung der Spezifikationen des Benutzerhandbuchs [2] separat eingegangen.

1.6.1.1 Beispielmessung s2lj

Anhand des beispielhaften Schemas eines von der GRFP aufgezeichneten Beidbeinsprunges sollen mit Hilfe der grafischen Darstellung der aufgezeichneten Kernvariablen im zeitlichen Verlauf die wesentlichen Messpunkte erläutert werden. Auf der X-Achse befindet sich der Zeitstrahl mit eingezeichneten vertikalen Linien zum Zeitpunkt besagter Messpunkte, auf der Y-Achse sind grundlegende Kernvariablen in verschieden farblicher Darstellung abzulesen.

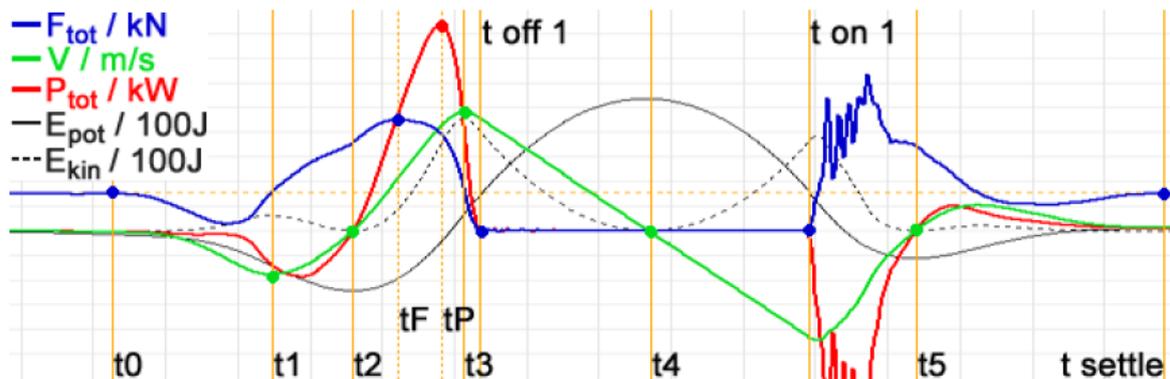


Abbildung 2: Beispielhafter, exakter zeitlicher Verlauf der intern in der Leonardo GRFP verarbeiteten, ausgewerteten und analysierten Messparameter des Beidbeinsprunges. [2] t_0 = Beginn des Sprungablaufs, t_1 =Umschlagpunkt von Ausholphase zur Absprungphase, t_2 = Zeitpunkt maximaler Ausholtiefe, t_F = Zeitpunkt der absoluten Maximalkraft ($F_{tot\ max}$), t_P = Zeitpunkt der absoluten Maximalleistung ($P_{tot\ max}$), t_3 = Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit (V_{max}), $t_{off\ 1}$ = Zeitpunkt des Abhebens, t_4 = Zeitpunkt maximaler Höhe (h_{max}), $t_{on\ 1}$ = Zeitpunkt der Landung, t_5 = Umschlagpunkt von Dezelerationsphase der Landung zur Stabilisierungsphase, t_{settle} = Zeitpunkt des Wiedererreichens der Ruhephase. Die Druckgenehmigung und Bildrechte für die verwendete Abbildung wurden eingeholt.

Zum Zeitpunkt t_0 steht der Proband mit gestreckten Beinen ruhig auf der Platte, damit sind bis auf die Kraft, bedingt durch die Gewichtskraft der Person, alle Variablen bei 0. Die Ausholbewegung wird eingeleitet, was sich in Form der abfallenden blauen Kraftkurve sowie dem Verlauf der potentiellen Energie (E_{pot}) in den negativen Bereich widerspiegelt. Zum Zeitpunkt t_1 ist das Geschwindigkeitsmaximum nach unten erreicht und die Dezelerationsphase wird eingeleitet, zu sehen an der blauen Kraftkurve, welche zu diesem Zeitpunkt die gelb gestrichelte Linie kreuzt, die die initiale Gewichtskraft markiert. Die Kurve der Geschwindigkeit erreicht die Nulllinie wieder zum Zeitpunkt t_2 , welche damit auch dem Punkt der maximalen Ausholtiefe (h_{min}), gemessen in maximaler negativer potentieller Energie, in Form der schwarzen durchgehenden Kurve dargestellt, entspricht. Die Absprungphase wird eingeleitet, die vertikale Geschwindigkeit (grüne Kurve) steigt über null.

Zum Zeitpunkt t_F wird entsprechend das während der Beschleunigungsphase auftretende Kraftmaximum erreicht ($F_{\text{tot max}}$), zum Zeitpunkt t_p das Leistungsmaximum ($P_{\text{tot max}}$) und zu guter Letzt das Geschwindigkeitsmaximum bei t_3 . Zu diesem Zeitpunkt wird damit auch die maximale vom Körper erzeugte kinetische Energie fortan in potentielle Energie umgewandelt. T_{off1} markiert den Zeitpunkt des Abhebens. Auf die Platte wirken somit ab hier keine Kräfte mehr. Zum Zeitpunkt t_4 ist schließlich die maximale Sprunghöhe erreicht. Die kinetische Energie ist damit vollständig in potentielle Energie umgewandelt. Die Berechnungsgrundlage hierfür ist in den nachfolgenden Abschnitten ausgeführt. T_{on1} markiert den ersten Bodenkontakt nach der Flugphase und leitet damit die Landephase ein.

Bei der beschriebenen, grafischen Darstellung handelt es sich um eine beispielhafte Messung, welche für jeden auf dem Messsystem springenden Probanden individuell im Gerät angezeigt wird.

1.6.1.2 Variablen der JM beim s2lj

F tot max/Maximalkraft

Bei der $F_{\text{tot max}}$ oder auch Maximalkraft handelt es sich um die Spitzenkraft, welche während der Absprunghase von dem bodenreaktionskraftmessenden Untersuchungssystem direkt aufgezeichnet wurde.

Wie der Begriff „Bodenreaktionskraftmessung“ bereits impliziert, stellen die Kraft in Kombination mit dem aufgezeichneten Zeitverlauf die jeweils direkt gemessenen Variablen dar. Ausgehend von diesen beiden Parametern werden alle weiteren Ableitungen und Berechnungen angestellt. Die auf die GRFP einwirkende Kraft ist stark abhängig von der Gewichtskraft (F_g) des springenden Probanden. Die Gewichtskraft wiederum ist das Produkt aus der Erdanziehung ($9,81 \text{ m/s}^2$) und der Masse. Die Masse entspricht in diesem Fall dem Körpergewicht des springenden Probanden. Somit stellt das Probandengewicht in der Sprunganalyse eine bedeutende Größe dar.

F tot max rel

Bei der $F_{\text{tot max rel}}$ handelt es sich um die auf das Körpergewicht normalisierte, maximal gemessene Sprungkraft. Die Adjustierung auf die individuelle Körpermasse dient der besseren interindividuellen Vergleichbarkeit zwischen den Probanden. Sie wird in Newton pro Kilogramm angegeben.

Sprunghöhe (h_{\max})

Die erreichte Sprunghöhe wird nicht direkt vom JM gemessen, sondern indirekt über die potentielle Energie bestimmt. Diese wiederum berechnet sich aus den im Zeitverlauf aufgezeichneten Messwerten.

Die potentielle Energie eines Objektes errechnet sich den physikalischen Gesetzen folgend aus dem Produkt der Erdanziehungskraft (g), der Masse sowie der Höhe. $E_{\text{pot}} = g(\text{N/kg}) * m(\text{kg}) * h(\text{m})$. Löst man die Formel nach dem gesuchten Wert der Höhe in Metern (h) auf, erhält man $h = E_{\text{pot}} / (g(\text{N/kg}) * m(\text{kg}))$. Nun fehlt einem allerdings noch der Wert für die potentielle Energie. Zum Zeitpunkt der maximal erreichten Sprunghöhe beträgt die Geschwindigkeit des Körpermassenschwerpunktes 0 m/s . Zu diesem Zeitpunkt ist die komplette kinetische Energie, welche während der Absprungphase vom Körper generiert wurde, abgebaut bzw. vollständig in potentielle Energie umgewandelt. Entsprechend ist hier E_{kin} gleich E_{pot} . Daraus folgt, dass die E_{kin} bestimmt werden muss.

Wirklich gemessen im JM werden die Variablen der Kraft bzw. das Gewicht und dessen zeitlicher Verlauf. Aus dem physikalischen Gesetz $E_{\text{kin}} = 1/2 * m * g * v^2$ lässt sich aus dem bekannten Körpergewicht der Probanden und der maximalen Absprunggeschwindigkeit (V_{\max}) die kinetische und somit maximale potentielle Energie sowie Sprunghöhe berechnen. Wie der Berechnung schon zu entnehmen ist, handelt es sich bei der Definition der Sprunghöhe nicht um die Höhe, welche vom gesamten Körper übersprungen wurde bzw. welche durch den maximalen Abstand des tiefsten Körperteils zum Boden definiert wird. Vielmehr ist der Abstand des Masseschwerpunktes des Körpers zur Ausgangshöhe relevant. Dies ist der physikalisch gemessene und hier klinisch relevante Parameter, welcher mit der soeben erläuterten Methodik des JM ermittelt wird. Es handelt sich dabei um die für den Alltag deutlich relevantere Größe, da in den täglichen Anforderungen an den Bewegungsapparat im Wesentlichen die Schwerkraft überwunden und nicht eine bestimmte Höhe übersprungen werden muss.

Wesentlich für die Quantifizierung der neuromuskulären Leistungsfähigkeit eines Individuums ist jedoch die aus Zusammenwirken von Kraft und Geschwindigkeit resultierende Maximalleistung. Auf diese soll in nachfolgenden Abschnitten eingegangen werden.

P tot max/ Peak Power/Maximalleistung

Bei der P tot max - auch als Peak power bezeichnet (PP) - handelt es sich um die während der Absprungphase entstehende und aufgezeichnete maximale Leistungsspitze. Angegeben und

gemessen wird sie in Watt bzw. in Joule pro Sekunde. Errechnet wird sie im Leonardo entsprechend der physikalischen Grundformel, der Leistung als Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit. [111, 122]

P tot max rel/ Peak power relativ/ gewichtsadjustierte Maximalleistung

Bei der P tot max rel, kurz PP_r , handelt es sich um den eben beschriebenen Wert, normiert auf das Körpergewicht des jeweiligen Probanden. Angegeben ist sie in W/kg. Die gewichtsrelative Spitzenleistung entspricht nach aktuellem Stand des Wissens dem wichtigsten Parameter, an welchem sich die neuromuskuläre Gesamtleistungsfähigkeit von Untersuchten gerade in Bezug auf eine Altersentwicklung ableiten und quantifizieren lässt. [112, 116, 117] Zudem ist sie mutmaßlich abhängig von der inter- sowie intramuskulären Koordinationsfähigkeit während eines koordinativ hochkomplex ablaufenden Beidbeinsprunges mit dem formulierten und kommunizierten Ziel maximaler Höhe.

Esslinger Fitness Index - EFI

Beim EFI handelt es sich um einen Indexwert zur Bewertung des Ergebnisses anhand eines alters- und geschlechtsspezifischen Referenzkollektivs. Konkret basiert die Beurteilung auf der Variable der gewichtsrelativen Leistungsspitze (PP_r). Bei dem Referenzkollektiv handelt es sich im Wesentlichen um die Ergebnisse einer Erhebung aus dem Jahr 2004, in welche 169 Frauen und 89 Männer eingeschlossen wurden. Im Einzelnen galten die Teilnehmer dieser Erhebung als gesund und lokomotorisch eher überdurchschnittlich leistungsfähig. Definiert wurde dies damit, dass die Teilnehmer u.a. keine wesentlich direkt den Bewegungsapparat beeinflussenden Medikamente einnehmen durften und Einschlusskriterien erfüllen mussten, wie 800m freies Gehen ohne Hilfe, Treppensteigen und die sichere Durchführung von Ein- bzw. Beidbeinsprüngen. Die untersuchte Altersspanne umfasste 70 Jahre, mit den Jüngsten im Alter von 18 und den Ältesten im Alter von 88 Jahren. [112] Laut Handbuch zur Leonardo GRFP der Firma Novotec sind im Gerät Referenzdaten bis in das Alter von 99 Jahren hinterlegt.

Mit der hier dargestellten Variablen des EFI handelt es sich um eine prozentuale Angabe darüber, wie viel Prozent des Normwertes erreicht wurden. Ein Wert von 100% entspricht der 50. Perzentile und somit dem Mittelwert des Leistungsspektrums, das durch das Referenzkollektiv definiert wird, d.h. die Werte des EFIs für die untersuchten Probanden können darüber- und darunterliegen.

V_{max}

Bei der V_{\max} handelt es sich um die während der Absprungphase erreichte Maximalgeschwindigkeit, die der Massenschwerpunkt des Körpers des jeweiligen Probanden erreicht. Wie bereits eingehend bei der h_{\max} erwähnt, handelt es sich damit um eine der Kernvariablen, an welcher sich die kinetische Energie errechnen und damit nachfolgend die potentielle Energie und h_{\max} ableiten lässt. Die Maximalgeschwindigkeit der Absprungphase wird durch die in der Regel bei diesem Sprungtyp vorausgehende Ausholphase beeinflusst. Während dieser Phase kommt es durch Vorspannung der Muskulatur zu einer Energiespeicherung ähnlich einer Feder, welche dann in der Absprungphase zusammen mit der zusätzlichen koordinativen aktiven Kontraktion des Bewegungsapparates zur Beschleunigung des Körpermassenschwerpunktes führt. Am Ende dieser Beschleunigungsphase resultiert eine entsprechende Geschwindigkeit des „Center of Mass“ (CoM) bzw. Körperschwerpunktes in die Vertikale, die zum Zeitpunkt des Absprunghöhe mit V_{\max} ihr Maximum erreicht. Damit wird auch entsprechend der bereits ausgeführten Formel für die kinetische Energie $E_{\text{kin}} = 1/2 \cdot m \cdot v^2$ das kinetische Energiemaximum erreicht. Von da an wird diese fortwährend in potentielle Energie umgewandelt, bis sie null erreicht. Zu diesem Zeitpunkt hat der Proband seine maximale Höhe als Resultat seiner erzielten Absprunggeschwindigkeit erreicht. Unter Berücksichtigung der Errechnungsgrundlage ist diese maßgeblich abhängig vom Körpergewicht. Je höher die Geschwindigkeit eines Abspringenden gleicher Masse, desto höher ist die kinetische Energie, allerdings fließt die Masse ebenso gleichwertig mit in die Berechnung der potentiellen Energie ein. Stellt man die Formeln einander gleich und kürzt man auf beiden Seiten der Gleichung, erhält man für $h_{\max} = v^2 / 2g$. Da g als Maß für die Erdbeschleunigung eine Konstante darstellt, kommt man zu dem Schluss, dass die Geschwindigkeit die maßgebende Variable der folglich erzielten Sprunghöhe darstellt. Zudem fließt diese zum Quadrat ein, was bedeutet, dass kleinste Veränderungen der Geschwindigkeit zu überproportionalen Veränderungen der h_{\max} führen. Die Geschwindigkeitswerte sind in Metern pro Sekunde aufgezeichnet.

Ausholtiefe/Countermovement/h_{min}

Als h_{\min} wird die Ausholtiefe (syn. Countermovement) bezeichnet. Dabei handelt es sich um die dem Sprung vorausgehende Tiefe der Bewegung des CoM. Wie schon bei der h_{\max} näher ausgeführt, handelt es sich auch hier um keine von außen konkret objektivierbare Größe, sondern um die aus den jeweiligen Beschleunigungswerten errechnete Tiefe des Massenschwerpunktes. Da die Höhe bzw. Tiefe gegenläufig der Sprunghöhe erfolgt, ist diese

mit negativem Vorzeichen angegeben. Bei der auch für Berechnungen benutzen Einheit allerdings handelt es sich ebenfalls um Meter.

1.6.2 Weitere Testarten der GRFP

Über den s2lj hinaus existieren weitere Sprungvarianten bzw. Testarten der GRFP. Dabei sind der sogenannte multiple one leg jump (m1lj), Chair Rising Test sowie Drop Jump zu nennen. Diese haben allerdings abweichende Zielsetzungen. Dementsprechend ist zu erwähnen, dass die Art, Höhe und Vergleichbarkeit der zu analysierenden Variablen zwischen den verschiedenen Sprüngen sehr unterschiedlich ausfallen kann und eine Vergleichbarkeit nicht zwangsläufig gegeben ist.

Beim m1lj springt der Proband wiederholte auf einem Bein. Dabei soll vom Probanden ohne Ausholbewegung so schnell und hart wie möglich mehrfach hintereinander gesprungen werden. Es handelt sich um einen sehr spezifischen Test, welcher insbesondere eine Messung der Maximalkräfte erlaubt. Beim Chair Rising Test auf der GRFP handelt es sich um eine Erweiterung des in der Geriatrie etablierten und verwendeten Chair Rising Test. Dabei wird der Aufstehetest mithilfe einer montierbaren Bank auf der GRFP durchgeführt. Da kein Sprung erforderlich ist, handelt sich um einen Test für besonders deconditionierte und mobilitätslimitierte Probanden. Darüber hinaus existiert der sogenannte Drop Jump Test. Dabei springt der Proband aus vordefinierter Höhe auf die Messplatte und soll mit möglichst kurzer Bodenkontaktzeit wieder abspringen. Ziel ist die Beurteilung der Schnelligkeitsvoraussetzungen sowie der inter- und intramuskulären Koordination. Bisher wurde dieser aber hauptsächlich im Sport eingesetzt. [123]

1.6.3 Reliabilität und Validität der Sprünge auf der GRFP

Bereits einige Studien konnten eine hohe Reproduzierbarkeit des s2lj in der JM insbesondere auch bei älteren Probanden nachweisen. [119, 121] Darüber hinaus konnten Rittweger et. al. [121] aufzeigen, dass für den Beidbeinsprung und die JM ein zu vernachlässigender Lerneffekt eintritt. Dies betrifft junge, physisch kompetente Erwachsene ebenso wie ältere Menschen. Des Weiteren konnten in der Studie für die JM und maximale Ganggeschwindigkeit sogar bessere Ergebnisse in Bezug auf die Reliabilität erzielt werden als dies für die gemessene Ganggeschwindigkeit auf 10m, den CRT oder den Timed „Up and Go“-Test der Fall war. Bei der Ermittlung der Ganggeschwindigkeit handelte es sich dabei im erstgenannten Fall um die maximale Ganggeschwindigkeit und in letzterem Fall um die frei

vom Proband wählbare Geschwindigkeit, welche auf einer Strecke von 10 Metern zwischen einer davor und dahinter liegenden Be- und Entschleunigungsstrecke ermittelt wurde. Dabei wies die JM für die gemessene Sprungleistung unter den besagten Tests nicht nur den besten kurzfristigen Wiederholungsfehler innerhalb eines Probanden (3,6%) sowie die größte Variabilität der interindividuellen Messungen auf, sondern auch den höchsten Korrelationskoeffizienten für die zeitlich länger auseinanderliegenden Messungen ($r=0,99$). Darüber hinaus konnten Buehring et al. [119] auch in einem größeren zeitlichen Abstand von drei Monaten eine hohe Reliabilität der mittels JM bemessenen körperrgewichtsjadjustierten Sprungleistung sowie der maximal erzielte Sprunghöhe gegenüber bisher gebräuchlichen Muskelfunktionstests feststellen. Die Handkraft erreichte einen Intraklassenkorrelationskoeffizienten von 0,95, dicht gefolgt von der per JM gemessenen PP_r (0,93) und Sprunghöhe (0,88). Für den CRT (0,81), die SPPB (0,77) und die Ganggeschwindigkeit (0,76) fielen diese geringer aus. Darüber hinaus konnten sie auch nochmals auf die gewährleistete Sicherheit für die Probanden bei der Durchführung einer JM verweisen, insbesondere für Ältere. Matheson et al. [118] konnten mit ihrer Studie zeigen, dass der Interrater Variationskoeffizient bei weniger als 0,6% für den s2lj lag.

1.6.4 Bedeutung und Aussagekraft der GRFP in der Sarkopeniediagnostik

Zur Methodik an sich gibt es bereits zahlreiche Arbeiten, die sich mit der Bedeutung und Quantifizierung der Sprung- bzw. neuromuskulären Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter beschäftigt haben. [112, 120, 124-129] Dabei unterschieden sich einige sowohl in der Anzahl untersuchter Probanden sowie der Zusammensetzung des Probandenkollektives. Frauen und Männer gingen teils unausgeglichen und undifferenziert in das untersuchte Kollektiv und Subgruppierungen mit ein, ebenso die sich daraus ergebenden Kernparameter der Sprunganalyse. [125, 126] Nach der aktuellen Studienlage bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Bei Frauen finden sich gehäuft deutlich niedrigere Kernparameter der Sprunganalyse. [112, 127] Viele der bisherigen Studien weisen eine sehr breite Spannweite bzgl. des untersuchten Altersbereiches auf. [112, 124, 126, 127, 129] Gerade für die älteren Probanden von über 80 Jahren liegen ausgesprochen wenige Daten vor. Dabei betrifft die Problematik der mangelnden Datenlage insbesondere die Männer. [112, 126] Nicht zuletzt deshalb wurde von der International Sarcopenia Initiative (ISI) kürzlich in Bezug auf epidemiologische Studien ausdrücklich empfohlen, möglichst suffiziente Stichprobengrößen zu untersuchen, um auch Subgruppen-Analysen vornehmen zu können. Darüber hinaus wird auf die Notwendigkeit einer umfassenden deskriptiven Statistik

verwiesen, um die externe Validität der erhaltenen Ergebnisse zu verbessern. [45] Auf die genauen Zahlen, Zusammenhänge und Unterschiede der besagten Studien, auch im Verhältnis zu den hiesigen Zahlen und Ergebnissen, wird in aller Ausführlichkeit im Diskussionsabschnitt der Altersverteilung eingegangen. Mit der vorhandenen Datenbasis konnte in den bisherigen Studien ein deutlicher altersassoziierter Rückgang der Sprunghöhe, Sprungleistung sowie Sprungkraft nachgewiesen werden. Dabei war der Zusammenhang mit der Sprungkraft allerdings weniger ausgeprägt als für die Sprungleistung und Sprunghöhe. Wurden die Kraft und Leistung nach dem jeweiligen Körpergewicht der Probanden relativiert, waren die altersassozierten Zusammenhänge noch deutlicher. [112, 116, 124]

Einen weiteren wichtigen Aspekt bisheriger Ergebnisse und Wissenslücken stellt die Probandenauswahl dar. So untersuchten Runge et al. gezielt gesunde, fitte Probanden. [112] Gleiches galt auch für Studien aus Japan von Tsubaki et al. [124, 129] Michaelis et al. hingegen untersuchten darüber hinaus Senior Hochleistungsathleten verschiedener Disziplinen. [130] Die Ein- und Ausschlusskriterien einiger weiterer Studien zeigten sich darüber hinaus so formuliert, dass insbesondere alte, kranke, nicht fitte, teils multimorbide und mobilitätslimitierte Probanden nicht erfasst wurden. Darüber hinaus sind die Stichprobengrößen bei den Männern im besagten kritischen Altersbereich insbesondere bei vorgenommenen Gruppierungen innerhalb der Studien sehr gering. [125, 126] Auf die diesbezüglichen interindividuellen Studienunterschiede der zugrundeliegenden Kriterien und Stichprobengrößen wird detailliert im Diskussionsabschnitt Altersverteilung sowie Ein- und Ausschlusskriterien eingegangen. Die einzige umfassendere und ebenso aktuelle Studie von Dietzel et al. [128] aus 2015 kann zwar auf absolute und deskriptive Daten einiger Kernparameter der JM verweisen, allerdings liegen hier keine Ergebnisse zum Verlauf der Parameter über die relevante Altersspanne vor.

Wie bereits erwähnt, gibt es derzeit viele Möglichkeiten und Entwicklungen, die Muskelmasse zu quantifizieren. Ausbaufähig sind allerdings die Möglichkeiten zur Bestimmung der eigentlichen Muskelkraft bzw. -leistungsfähigkeit, welche unter dem Aspekt der Sarkopenie zuletzt deutlich an Bedeutung gewonnen haben.

Die GRFP ist in der Lage, die auf die Platte einwirkende Kräfte exakt im Zeitverlauf zu messen und anschließend über mathematische Ableitungen verschiedenste Parameter zu ermitteln. [111, 122] Die erreichte Sprunghöhe sowie die absolut erreichte (PP) und relative, gewichtsbezogene Leistungsspitze (PP_r) wiesen dabei bisher am ehesten Zusammenhänge mit dem Alter auf. Diese wurden in einigen Studien auch bereits umfassender berücksichtigt.

[112, 116, 124] Darüber hinaus existieren allerdings viele weitere Variablen, welche vom Messsystem aufgezeichnet werden und zum Teil als Berechnungsgrundlage bzw. Faktor für die Sprungleistung dienen. Dabei handelt es sich unter anderem um die erreichten Geschwindigkeiten, insbesondere die Maximalgeschwindigkeit während der Absprunghase (V_{\max}) sowie die erreichte, absolute und relative Maximalkraft ($F_{\text{tot max (rel)}}$). Des Weiteren wird auch die dem Sprung vorausgehende Tiefe der Ausholbewegung (h_{\min}) erfasst. Gerade diese Kernvariablen wurden in bisherigen Studien im Altersbereich von 65-90 Jahren generell und insbesondere in einem auch gesundheitseingeschränkte Probanden umfassenden Studienkollektiv bisher noch nicht ausreichend berücksichtigt und analysiert. Zudem weder deren Verlauf über die Altersspanne noch deren zueinander bestehendes Verhältnis, auch auf die Bedeutung für die gemessene PP_r hin.

Dabei steht unter aktuellen Aspekten gerade der Mechanismus des beobachteten Leistungsverlustes bei älteren Probanden, also vornehmlich das Zusammenspiel von Kraft und Geschwindigkeit, im Mittelpunkt. Das Produkt der beiden Faktoren entspricht der Leistung. Die genauere Untersuchung der zugrundeliegenden Faktoren und ihr relatives Verhältnis zueinander wären ein essentieller Schritt, um die Mechanismen des bisher in verschiedenen Messsystemen mit dem Alter beobachteten Muskelleistungsverlust besser zu verstehen. Pojednic et al. konnten bereits ohne Sprunganalyse in Muskelleistungstests Hinweise auf eine determinierende Rolle der Geschwindigkeitskomponente am Niedergang der Muskelleistung finden. Diese zeigten sich insbesondere bei älteren Probanden und waren bei älteren mobilitätslimitierten Probanden noch deutlicher ausgeprägt. [131]

De Vito hingegen konnte bereits 1998 in einem rein weiblichen Kollektiv auch in einer Sprunganalyse Hinweise auf eine bedeutende Rolle der Geschwindigkeitskomponente gewinnen. Dabei wurden allerdings lediglich 52 Frauen im Alter von 50-75 Jahren untersucht. Darüber hinaus handelt es sich auch hier ausschließlich um gesunde Teilnehmerinnen. [132] Damit liegt zum einen noch eine erhebliche Wissenslücke über die Geschwindigkeit, die Kraftkomponenten und deren Bedeutung für den Muskelleistungsverlust bei Männern vor, sowie älteren Probanden (65-90 Jahre) im Allgemeinen. Zum anderen besteht diese Wissenslücke auch für kranke und mobilitätslimitierte Menschen Gerade hier zeigte sich bei Pojednic et al. bereits mit anderen Messsystemen [131] das deutlichste Missverhältnis zwischen den Faktoren Kraft und Geschwindigkeit.

Des Weiteren ist, wie bereits erwähnt, in diesem Zusammenhang nachfolgend von Interesse, wie sich die Tiefe der Ausholbewegung (h_{\min}) mit voranschreitendem Alter und in Bezug

auf die Leistungsfaktoren verhält. Sie steht in engem Zusammenhang zur Höhe und dem Verhältnis der während des Sprunges eingesetzten Kraft und Geschwindigkeit.

Darüber hinaus bestehen nach aktuellem Stand des Wissens viele Hinweise darauf, dass regelmäßige sportliche Aktivität gerade im Alter einen bedeutenden Aspekt sowohl in der Ätiopathogenese und Therapie als auch in der Prävention der Sarkopenie und dem damit assoziierten Funktionsverlust darstellt. [133] [130, 134, 135] Sowohl die Studie von Runge et al. [112] als auch Michaelis et al. [130] sind grundlegend zu benennen wenn es um den mithilfe einer JM ermittelten Zusammenhang zwischen der Sprungleistung und sportlicher Aktivität unter dem Aspekt des Alters geht. Bei der erstgenannten Studie wurden zwar nicht explizit regelmäßig sportlich aktive Probanden untersucht, allerdings hat man hier gezielt gesunde, fitte Probanden rekrutiert und kranke sowie mobilitätslimitierte gezielt ausgeschlossen. Michaelis et al. [130] hingegen unterzogen Senior Hochleistungsathleten verschiedener Disziplinen einer JM. Dabei zeigten sich mit zunehmendem Alter sowohl anhand der Disziplinen unterschiedliche Leistungswerte und -kurven, zudem lagen die Werte und Kurven teilweise über den erzielten Leistungsspitzen der von Runge et al. untersuchten Probanden. Nach bestem Wissen liegen somit noch keine Sprunganalysedaten in Bezug auf sportliche Aktivität innerhalb eines Untersuchungskollektives vor, welches eine nennenswerte Zahl älterer Männer sowie auch Faktoren der Morbidität, Multimorbidität und Mobilitätslimitierung ausreichend sowie bevölkerungsrepräsentativer umfasst.

In Bezug auf den von der EWGSOP postulierten Sarkopeniediagnostikalgorithmus besteht noch eine erhebliche Wissenslücke. So gibt es bisher kaum Studien, welche nennenswerte Zahlen männlicher Probanden mittels JM untersucht haben und für die darüberhinausgehend auch eine Sarkopenieeinteilung vorgenommen wurde. Folglich liegen keine ausreichenden Sprungparameter vor, welche die Analyse von Unterschieden zwischen Sarkopenen und nicht Sarkopenen erlaubt. Des Weiteren findet das Geschlecht in den wenigen bestehenden Daten keine Berücksichtigung. Die bisherigen Ergebnisse entstammen Kohorten, welche sich im Wesentlichen aus der US-Population rekrutierten. [125, 126] Diese zeigen sich jedoch bereits vielversprechend. So konnten Siglinsky et al. unter Anwendung des EWGSOP-, FNIH- sowie IWG Algorithmus bei Sarkopenen bereits eine signifikant niedrigere Sprungleistung nachweisen. [126] Auch gibt es aus Europa eine Studie von Dietzel et al. aus dem Jahr 2015. Hier lagen immerhin Sprunganalysedaten von 146 Männern im Alter von 60-85 Jahren vor. Allerdings wurde die Einteilung der Sarkopenie, anstatt dem EWGSOP Algorithmus zu folgen, lediglich nach einem festgelegten Grenzwert für die appendikuläre Skelettmuskelmasse vorgenommen. Es wurden damit 22 männliche Probanden als sarkopen

klassifiziert. Diese wiesen ebenso signifikant niedrigere Kernvariablen der Sprungleistung auf, allen voran in Bezug auf die körperrgewichtsrelativierte Sprungleistung. [128]

Aufgrund der erläuterten mangelnden Datenlage und kleinen Kohorten in Bezug auf die JM waren darüber hinaus bisher keine umfassenden Subgruppierungen möglich. Insbesondere nicht nach wesentlichen Faktoren wie dem Sarkopeniestatus oder auch nach dem sich bisher vielversprechend und sich womöglich im Alter essentiell zeigenden Faktor regelmäßiger sportlicher Aktivität. Gerade von Letzterem lässt sich insbesondere im Alter ein positiver Effekt auf die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit erwarten. Die Sprunganalyse mithilfe der JM verspricht dabei aufschlussreiche Unterschiede, sowohl zwischen als auch innerhalb der Gruppen, welche sich anhand der beiden Faktoren bilden lassen, genauer zu quantifizieren, zu analysieren und auch zu differenzieren.

1.7 Fragestellung

Aus der geschilderten Datenlage in Bezug auf die Sarkopenie besonders bei älteren Männern ergeben sich noch zahlreiche offene Fragen. Im Kontext der vorgelegten Arbeit sollen nach der Etablierung einer Datenbasis zur Bodenreaktionskraftanalyse bei Männern in dem für Sarkopeniediagnostik besonders relevanten Alter von 65-90 Jahren und auf Basis einer möglichst repräsentativen Gruppe von tatsächlich in Haushalten lebenden älteren Einwohnern folgende Punkte adressiert werden:

- In wie weit und mit welchen Parametern eignet sich das Testsystem in der klinischen Anwendung für die Sarkopeniediagnostik? Welche Aussagekraft haben dabei insbesondere die produktbildenden Faktoren Kraft und Geschwindigkeit der sich bisher als vielversprechend zeigenden gewichtsadjustierten Sprungleistung?
- Wie lässt sich diese Kohorte im Hinblick auf Veränderungen der Zielparameter, insbesondere auch Kraft und Geschwindigkeit, des diagnostisch entscheidenden Single-two-leg-jump (s2lj) mit dem Alter charakterisieren?
- Welche Auswirkungen haben patientenindividuelle Voraussetzungen wie die Anthropometrie (BMI, SM, SMI) und altersassoziierte Einflüsse, wie z.B. die Multimorbidität und Mobilitätslimitierung?
- Fällt der neuromuskuläre Leistungsverlust, allen voran in Form der PPr, in einem bevölkerungsrepräsentativen, nicht vorselektierten und damit auch mobilitätslimitierten Probanden umfassenden Untersuchungskollektiv tatsächlich deutlich größer aus als bei einer Positivselektion wie bei Runge et al.?
- Lässt sich durch die hier angewandte, weniger strenge Selektion der Probanden und damit auch die Erfassung von Faktoren wie Multimorbidität, Polymedikation, Mobilitätslimitierung, Selbstversorgungsfähigkeit, etc. ein überproportionaler Verlust neuromuskulärer Leistungsfähigkeit (PPr) nachweisen?
- Zeigt Sport positive Auswirkungen sowohl auf die JM Parameter nicht Sarkopener als auch Sarkopener?

2 Material, Methoden und Probanden

2.1 Hintergrund

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen des FORMOsA Projektes (**F**orschungsverbund **M**uskelschwund (Sarkopenie) und **O**steoporose – Folgen eingeschränkter Regeneration im **A**lter). Dabei handelt es sich um einen multizentrischen überregionalen Forschungsverbund. Übergreifendes Ziel dieses Forschungsverbundes ist eine Verbreiterung der Datenbasis für zukünftige Projekte zur Diagnostik und Therapie der Sarkopenie. In Summe mit dem übergeordneten mittel- bis langfristigen Ziel, eine komplette Wertschöpfungskette von der Diagnostik bis zur Therapie zu bilden, um im besten Falle das Ausmaß und den Progress der Sarkopenie zunächst zu verstehen, aufhalten oder immerhin effizient entgegenwirken zu können. Der klinische Teil am Standort Würzburg fokussiert sich dabei insbesondere auf die Evaluation etablierter und neuer Methoden zur Diagnostik, speziell auf den funktionellen Aspekte der Sarkopenie bzw. Dynapenie. Des Weiteren wird angestrebt, mit dem konkreten Projekt zu einem besseren Verständnis der Zusammenhänge im Rahmen der Sarkopenieforschung, Verbesserung und Anwendung bestehender Definitionskriterien und -systeme sowie zur Identifikation von Therapie- und Interventionsansätzen beizutragen.

2.2 Studiendesign

Die Erhebung der Daten erfolgte im Rahmen einer monozentrischen, explorativen Querschnittsstudie, durchgeführt an der Klinischen Studieneinheit des König-Ludwig-Hauses der orthopädischen Klinik der Universität Würzburg. Die Studieneinheit ist Teil des muskuloskelettalen Forschungszentrums der Universität Würzburg.

2.3 Rekrutierung

Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte bevölkerungsbasiert über ein Anschreiben an alle Männer über 65 Jahren mit Wohnsitz in den Würzburger Stadtteilen Zellerau/Steinbachtal und Frauenland. Die Adressdaten der entsprechenden Jahrgänge wurden vom Einwohnermeldeamt in Einvernehmen mit der Ethikkommission bereitgestellt.

Dem informierenden Anschreiben beiliegend, befand sich ein einfacher Fragebogen mit fünf Fragen zum allgemeinen und vom Proband subjektiv beurteilten Gesundheitszustand, zu seiner Mobilität sowie die Erfragung der weiteren Teilnahmeinwilligung. Zudem wurde

darum gebeten, den ausgefüllten Fragebogen mit dem beiliegenden, frankierten und adressierten Rücksendeumschlag zeitnah abzusenden.

Der bereits nach wenigen Tagen beginnende Eingang der Rücksendungen wurde manuell prozessiert. Zuerst wurden die Briefe manuell geöffnet und alphabetisch sortiert. Danach erfolgten die händische Digitalisierung der Rücksendungen und die entsprechende Ergebnisdokumentation in Microsoft Excel 2010.

Geantwortet haben 1107 der 2605 angeschriebenen Bewohner, was einer Rücksendequote von 42,5% entspricht. Von den 1107 Kontaktierten, welche den Fragebogen zurückgesandt hatten, waren wiederum 707 auch an einer weiterführenden Studienteilnahme interessiert. Dies entsprach somit einer positiven Resonanz in Bezug auf die Teilnahmequote innerhalb der erhaltenen Rückmeldungen von 63,9%. Bei den initial Kontaktierten lag die relative Zahl bei immerhin 27,1%. 507 (71,2%) der an einer weiteren Studienteilnahme Interessierten wurden zufällig ausgewählt, telefonisch kontaktiert und zu einer Präsenzuntersuchung im Institut eingeladen.

2.4 Ethikantrag/Nummer

Nach § 15 der Berufsordnung für Ärzte in Bayern wurde vor Durchführung der Untersuchungen ein positives Votum der zuständigen Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg eingeholt. Der Ethikantrag diesbezügliche hat das Aktenzeichen AZ-148/13.

2.5 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien waren Männer im Alter ab 65 Jahren, welche in den besagten Würzburger Stadtteilen meldepflichtig waren und somit angeschrieben wurden. Darüber hinaus musste eine Gehfähigkeit vorliegen sowie eine eigenhändig unterzeichnete Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie.

Ausschlusskriterien für die weitere Studienteilnahme waren mangelhaftes Sprachverständnis, akute infektiöse Erkrankungen, eine akute Thrombose, Alkohol und/oder Drogenabusus/-abhängigkeit, ein implantierter Defibrillator, akute Verletzungen des Bewegungsapparates und/der Weichteile, eine weniger als drei Wochen zurückliegende Operation oder fehlende Geschäftsfähigkeit des Probanden. Darüber hinaus wurden Probanden nicht eingeschlossen, wenn für diese aufgrund von Begleiterkrankungen, einer Reduktion des Allgemeinzustandes oder anderen Ursachen im Zuge der Untersuchungen von

einem erhöhten Risiko auszugehen gewesen wäre oder sich aus der Untersuchung eine für den Probanden nicht zumutbare Belastung ergeben hätte.

2.6 Studienablauf

Im Institut erfolgte die Studie in drei zeitlich aufeinanderfolgenden Teilen. Der erste gliederte sich nach ausführlicher Studieninformation, ausreichend Zeit zur Klärung aller Fragen und schriftlicher Einwilligung in eine allgemeine und orthopädische, körperliche Untersuchung, einschließlich ausführlicher Anamneseerhebung und Laboruntersuchung des venösen Blutes. Der zweite Teil bestand in der selbstständig durchgeführten und tablet-gestützten Bearbeitung eines fünfteiligen aufeinanderfolgenden Fragebogens, bestehend aus international verwendeten, standardisierten und validierten Fragebögen, u.a. zur Lebensqualität (Qualeffo-41), Sturzwahrscheinlichkeit (FES-1), heutigen und früheren körperlichen Aktivität des Gesundheitszustandes (SF-36) sowie zur Stimmungslage (GDS). Zu dessen Durchführung wurde eine Softwareapplikation verwendet, welche die eigenständige, direkte Bearbeitung der Fragebögen über Tablets ermöglichte. Die Daten wurden mittels Microsoft Access 2010 direkt in der Datenbank registriert.

Die Gesamtdauer der Untersuchung pro Proband lag für alle drei Abschnitte zusammen im Durchschnitt bei etwa 2-3 Stunden. Die Untersuchungen wurden im Rahmen der klinisch umsetzbaren Möglichkeiten bewusst am Vormittag bis Mittag durchgeführt, um mögliche zirkadiane Schwankungen im Hormon- und Wasserhaushalt der Probanden zu berücksichtigen und vergleichbare Voraussetzungen für davon beeinflussbare Blutwerte und die BIA zu haben.

Als dritter Teil wurden in separaten Räumlichkeiten einfache physikalische Tests und Übungen durchgeführt, um die körperliche Mobilität, Fitness, Kraft, Gleichgewichtssinn, kognitive Fähigkeiten sowie Körperkomposition zu quantifizieren. Darunter fanden sich die Handkraftmessung, eine BIA, der 4m-Gehstrecken-Test, Timed up and go Test nach Tinetti, CRT, nicht apparative Balancetests (Romberg, Semitandem und Tandem mit geöffneten Augen) sowie ein Test der semantischen Wortflüssigkeit.

Des Weiteren wurden apparative Untersuchungen zur Balancefähigkeit durchgeführt sowie die besagte Sprunganalyse.

2.7 Technische Daten Leonardo GRFP

Für die Bodenreaktionskraftanalyse, in Form der Sprunganalyse, kam die Leonardo®-GRFP der Firma Novotec Medical GmbH aus Pforzheim, Deutschland, zum Einsatz. Das Messsystem ist in der Lage, den exakten Kraft-Zeit-Verlauf mit einer Abtastrate von 800 Messungen pro Sekunde (800 Hz) zu bestimmen. Anhand dessen lassen sich dazu durch mathematische Ableitungen weitere Messgrößen wie Beschleunigung, Geschwindigkeit, Strecke, kinetische Energie und viele weitere berechnen. Dabei wird von dem Gerät durch zwei getrennte Platten mit je vier Kraftsensoren nicht nur der vertikale Kraft-Zeit-Verlauf gemessen, sondern auch eine örtliche Auflösung diesbezüglich ermöglicht. Das Prinzip Bodenreaktionskraftmessung wurde bereits 1975 von Cavagna beschrieben und wichtige Aspekte bereits in der Einleitung erläutert. [111] Bei der Hardwareversion des eingesetzten Gerätes handelte es sich um Version mit der Hardware ID: #8N600307B. Es handelte sich um die Standard Edition der Leonardo GRFP.

Technische Daten Leonardo GRFP

Eigenschaft	Wert
<i>Maße Plattform</i>	660mm * 660mm * 70mm
<i>Maße Rahmen</i>	880mm * 880mm * 70mm
<i>Gewicht Plattform</i>	ca. 50kg
<i>Kraftsensoren</i>	8, 4 für Links, und 4 für Rechts
<i>Abtastrate pro Sensor</i>	max. 800 Hz
<i>Auflösung A/D-Wandler</i>	16 bit
<i>Maximale Kraft pro Sensor</i>	ca. 1,5 kN
<i>Auflösung Position CoP</i>	besser 0,5 mm
<i>Schnittstelle zum PC</i>	USB 1.3 oder USB 2.0
<i>Mindestanforderung an PC</i>	Windows XP, 512 MB Ram, CPU > 1GHz

Abbildung 3: Tabellarische Übersicht der technischen Daten bzgl. der zur Anwendung gekommenen GRFP. [2] Die Druckgenehmigung und Bildrechte für die verwendete Abbildung wurden eingeholt.

2.8 Untersuchungsablauf GRFP

Die Sprungmessung wurde nur unter der Voraussetzung durchgeführt, dass die Probanden sich selbst dazu in der Lage fühlten, über die Risiken aufgeklärt wurden und die Einwilligungserklärung mit ausreichender Zeit für Fragen unterzeichnet wurde. Darüber hinaus wurde vorausgehend geprüft, dass vor der Untersuchung kein Hinweis auf o.g. Kontraindikationen oder sonstige Gegenanzeigen bestanden. Des Weiteren mussten alle Probanden vor Durchführung des s2ljs zuvor den Tandem- und Semitandemstand im Rahmen der SPPB über 10 Sekunden problemlos durchführen können. Die Versuchsbatterie wurde so durchlaufen, dass der Schwierigkeitsgrad der Übungen im Verlauf zunahm. Damit wurde jederzeit ein Ausstieg für jeden individuellen Probanden ermöglicht. Nichtsdestotrotz konnten auf diese Weise in der Regel alle Übungen bzw. Messungen gemäß dem Studienprotokoll verantwortlich, sicher und korrekt absolviert werden, ohne dabei den Untersuchten unnötig zu belasten. Vor der Sprungmessung wurden wenige submaximale Testsprünge sowohl neben als auch auf der Messplatte durchgeführt. Dies diente den Probanden vor allem dazu, einen Eindruck von der Größe der Landezone, der Landung generell sowie ein Gefühl für die Sicherheit beim Sprung zu bekommen. Das Überkommen dieser Unsicherheit ermöglichte überhaupt erst maximale Sprünge und die Wahrscheinlichkeit nicht valider Messergebnisse durch eine unsanfte Landung oder einen nachfolgenden Ausfallschritt durch den Verlust der Balance wurde auf ein Mindestmaß reduziert.

Ausgangssetup

Die Probanden wurden gebeten, sich zentral und mit in etwa schulterbreitem Abstand der Füße auf der GRFP auszurichten. Alle Sprung-, Stand- und Balanceübungen wurden ohne Schuhe durchgeführt. Die Arme durften locker und parallel zum Körper hängen gelassen werden. Die Knie durften in der Ausgangsposition nicht gebeugt werden. Das Setup diente sowohl dazu, die acht Sensoren gleichmäßig zu belasten, um Seitenunterschiede korrekt erfassen zu können und durch ein gutes und standardisiertes Setup eine maximale Sprungleistung und gleichzeitig hohe Datenqualität zu ermöglichen.

Armposition

Gemäß dem Handbuch des Leonardo Jumping Mechanographen wurde den Untersuchten gestattet, die Arme im Ausgangssetup frei neben dem Körper hängen zu lassen. Auch während des Sprunges lag es im Ermessen der Springenden, in wieweit und in welcher Form die Arme eingesetzt wurden, um Schwung zu holen und Balance zu halten. Dies wurde in Studien uneinheitlich gehandhabt und in einigen wurden die Probanden auch dazu angehalten,

die Arme auf die Hüfte zu stützen und diese Position während des gesamten Sprunges beizubehalten. Damit wird der Anteil der Arme als eine Variable der Sprungstrategie eliminiert. [59, 117] Bei der Mehrzahl der Arbeiten und auch bei den Arbeiten für die Daten des als Referenz verwendeten Esslinger Fitness Index wurden die Arme analog zu unserem Vorgehen freigegeben. [112] Der freie Einsatz der Arme scheint vielen älteren Probanden eine sinnvolle und korrekte Durchführung der Messung zu ermöglichen.

Kalibrierung und Körpergewichtsmessung

Vor dem direkten Betreten der Plattform wurde überprüft, dass die Gewichtsanzeige keine größeren Abweichungen als -0,5 oder +0,5 kg ergab. Nach der korrekten Ausrichtung des Probanden auf der Platte erfolgte die Anweisung an den Probanden, möglichst ruhig zu stehen. Nach einer Ruhephase von mindestens zwei Sekunden wurde der gemessene Wert als das aktuelle Körpergewicht dokumentiert. Nach Durchführung des Sprunges und der Landung wurde zur Validierung eine erneute Gewichtsmessung durchgeführt.

Anweisungen an den Probanden

Die konkrete Anweisung an den Patienten entsprach den Vorgaben des Leonardo Handbuches (Version 4.1.19):

„Springen Sie so hoch wie möglich mit beiden Beinen von der Platte. Landen Sie auf dem Vorderfuß und stehen Sie anschließend wieder ruhig auf beiden Füßen.“ [2]

Hilfestellungen

Einigen Probanden wurde vom Untersucher auch der kleine Finger gereicht. Diese Art der Hilfestellung erfolgte ohne große Kraftübertragung. Sie diente dazu, sprunggeeigneten, aber anfangs balanceunsicheren Teilnehmern eine Hilfestellung zu geben, um die Wahrscheinlichkeit für valide Messergebnisse zu erhöhen. War ein Sprung nur mit weitergehender Hilfestellung durchführbar, wurde er von der weiteren Datenauswertung ausgeschlossen.

2.9 Datenexport

Technisch wird beim Datenexport bzw. für weitergehende Analysen eine CSV-Datei von der GRFP erstellt, mit deren Hilfe die Daten dann auch an den Auswertungscomputer übertragen werden können. Enthalten sind in dieser Datei nicht die einzelnen grafischen Darstellungen, sondern von der Software vorgegebene, vordefinierte und bestimmte Variablen in tabellarischer Form. Das Auslesen der Daten erfolgte über eine USB Schnittstelle des

Computers, welcher wiederum mit der GRFP per USB Schnittstelle verbunden war. Mithilfe der auf diesen Rechner aufgespielten und vom Hersteller Novotec mitgelieferten Software wurde ein Datenexport in Form einer Excel Datei ermöglicht. Die weitere Datenprozessierung bzw. das Datenclearing und Umcodieren in eine SPSS kompatible Datei erfolgte mit Microsoft Excel 2010. Die weiterführende statistische Auswertung wiederum mit IBM SPSS Statistics Version 22 und 23.

2.10 Datenselektion

Die Daten eines Sprunges wurden für weiterführende Analysen nur dann verwendet, wenn der durchgeführte und gemessene Sprung von der herstellereigenen Leonardo Software (LEO v4.2.b05.94d) auch als valide Messung deklariert wurde. Dies war z.B. nicht der Fall, wenn der Springende während der Landephase, um seine Landung zu kontrollieren, nicht mit dem Vorfuß aufkam, sondern ungedämpft mit der Hacke. Es wurden von jedem Probanden bis zu drei Sprünge durchgeführt. Zur Frage, welcher Sprung in diesem Fall für die Auswertung herangezogen wird, lautet die Vorgabe des Benutzerhandbuchs aus dem Jahr 2006:

„Wurden, wie empfohlen, am Messtag mehrere Messungen jedes Typs durchgeführt, so selektiert die Assessment Analyse automatisch alle relevanten Messwerte des Tages (beim s2LJ wird hierfür die Messung mit der maximalen Sprunghöhe selektiert, für den m1LJ wird pro Bein die Messung mit der maximalen Kraft selektiert).“ [2]

Unter Berücksichtigung der aktuellen Studienlage erfolgte für die vorliegende Analyse jedoch eine Sprungselektion anhand der höchsten erzielten, gewichtsadjustierten Spitzenleistung (PP_T). Hintergrund dieser Entscheidung ist, dass die Empfehlung aus dem Handbuch im Zusammenhang mit der sog. Assesment Analyse, einer visuellen Darstellungsform der Analyseergebnisse der Leonardo GRFP, zu sehen ist. Diese ist Teil der herstellereigenen, mitgelieferten Software und dient hauptsächlich dazu, dem individuellen Probanden Unterschiede zu einem Referenzkollektiv aufzeigen zu können. Für diese Analyse wird die Selektion des besten s2lj nach der größten erzielten Sprunghöhe (h_{max}) empfohlen.

Zwar handelt es sich bei der maximalen Sprunghöhe auch um das kommunizierte Ziel für den Untersuchten, allerdings dient diese Aussage eher dazu, den maximalen willentlichen Einsatz des Probanden zu fördern. So zeigte sich bei einer Untersuchung von Salles et. al., dass die erzielten Sprungleistungsmaxima zwar vom willentlichen Einsatz abhängig waren, sich demgegenüber allerdings deutlich weniger anfällig gegenüber Variationen in der Sprungstrategie zeigten, insbesondere der Ausholtiefe. Dahingegen war die maximal erzielte

Sprunghöhe im s2LJ sehr stark abhängig von Veränderungen der Ausholbewegung. Folglich kommen Salles et. al. zu der Schlussfolgerung, dass die maximal erzielten Sprungleistungsmaxima womöglich die beste Variable darstellen, um die neuromuskuläre Gesamtperformance zu quantifizieren. [117]

In anderen Studien wie z.B. Runge et. al. 2004, welche für die Definition des in der Leonardo Software verwendeten EFI maßgeblich war, wurden die Sprünge ebenfalls nach der gewichtsbezogenen Maximalleistung selektiert. [112] Auch Rittweger et. al. kommen zu dem Schluss, dass die gewichtsrelative Power max die maßgebliche Variable für die Beurteilung der muskulären Leistungsfähigkeit ist. [116] Lediglich eine an Runge et al. anlehende Studie, die die Nutzung der GRFP an einem japanischen Kollektiv testete, nahm die Selektion des besten Sprungs anhand der maximalen Sprunghöhe vor. [112, 124] Dietzel et al. hingegen führen zwar aus, dass sie von mehreren Sprüngen den besten ausgewählt hatten, allerdings bleibt unklar, anhand welcher Variable die Auswahl stattfand. [127] In einer nachfolgenden, aktuellen Studie von 2015 von Dietzel et al. erfolgte die Auswahl in Übereinstimmung mit dem Groß der Literatur und der vorliegenden Arbeit ebenfalls nach dem Sprung mit dem größten erzeugten, körperrgewichtrelativierten Leistungsmaximum. [128]

In Bezug auf die oben angeführte Assesment Analyse sei erwähnt, dass für deren Auswertung nicht nur der bereits eingehend erläuterte Beidbeinsprung benötigt wird, sondern zusätzlich das Ergebnis eines sogenannten „multiple one leg jumps“ (m1lj). Wie der Name bereits suggeriert, definiert sich dieser durch wiederholtes Springen auf einem Bein. Aufgrund der dafür nötigen Balancefähigkeit, mit konzentrierten Kräften auf einem Bein, hatten viele Probanden, die bereits erfolgreich den vorausgehenden Beidbeinsprung absolviert hatten, Schwierigkeiten, einen verwertbaren m1lj zu generieren. Zudem bestand bei einigen Skepsis oder Angst über die Durchführung, sodass dieser Test von einigen Probanden abgelehnt wurde. Letztlich sind die Anforderungen an die Durchführung dieses Sprungs auch deutlich zu komplex, um sich als Untersuchungsverfahren für ein älteres Kollektiv im Hinblick auf das Vorliegen einer Sarkopenie zu qualifizieren.

Aufgrund der Tatsache, dass die Sprunganalyse mittels Bodenreaktionskraftanalyse den exakten Kraft-Zeit-Verlauf misst, ergeben sich aus einem Sprung eine unüberschaubare Anzahl an zu berechnenden und abzuleitenden Parametern. Dabei sind dem Untersucher mit der mitgelieferten Gerätesoftware und selbst den exportierten Rohdaten nicht alle zugänglich. Entsprechend wurde der Fokus auf die Auswertung, Analyse und Diskussion von solchen Kernvariablen gelegt, die sich am ehesten als zielführend für die Beantwortung der Frage

nach der Validität und Anwendbarkeit der Sprunganalyse in der Sarkopeniediagnostik und Sarkopenie selbst zu sein versprochen. Die Ausführung und Auflistung dieser im weiteren Verlauf der Arbeit immer wieder als Kernvariablen der JM bezeichneten Parameter des s2lj findet sich bereits im Einleitungsabschnitt 1.6.1.2.

2.11 Weitere Messungen, Einheiten und Einteilungen

Die Körpergröße wurde mit einer fest an der Wand montierten Messvorrichtung bestimmt. Die Messung erfolgte ohne Schuhe. Das Körpergewicht wurde durch die der Sprunganalyse vorausgehende kalibrierte Messung der Leonardo GRFP ohne Schuhe bestimmt.

Die Bestimmung der Skelettmuskelmasse erfolgte im Rahmen einer separat am Testtag durchgeführten Bio-Impedanz-Analyse. Bei den beidseitig durchgeführten Messungen der Handkraft wurde der größere daraus resultierende Wert von beiden für weitere Analysen verwendet. Dies erfolgte unabhängig von der vom Probanden als dominant angegebenen Hand. Darüber hinaus erfolgte die Bestimmung der Ganggeschwindigkeit im 4-Meter Gehstest. Die Einteilung in sarkopene und als nicht sarkopen geltende Probandengruppen erfolgte über den von der EWGSOP empfohlenen Algorithmus. Dabei wurden in der hiesigen Studie die folgenden, von der EWGSOP zur Auswahl stehenden, Cut-off Werte benutzt. Für die Muskelmasse galten somit die SMI Grenzwerte von $\leq 10,75 \text{ kg/m}^2$ bzw. $\leq 8,5 \text{ kg/m}^2$. Für die Ganggeschwindigkeit wurden $< 0,8 \text{ m/s}$ und für die Handkraft $< 30 \text{ kg}$ als vermindert gewertet. [5, 8, 23, 32, 93]

Alle Parameter in den nachfolgenden Tabellen und Grafiken sind, wenn nicht explizit anderweitig ausgeführt, in den folgenden Einheiten angegeben: So wird das Alter in Jahren, Körpergewicht und Skelettmuskelmasse (SM) in Kilogramm und der Skelettmuskelmasseindex (SMI) in Kilogramm pro Meter² angegeben. Die Körpergröße, Sprunghöhe (h_{\max}) sowie Ausholtiefe (h_{\min}) sind in Metern ausgeführt. Bei den absoluten Werten der Sprungkraft ($F_{\text{tot max}}$) und der Sprungleistung ($PP / P_{\text{tot max}}$) erfolgten die Angaben in Kilonewton (kN) bzw. Kilowatt (kW). Dahingegen wurden die gewichtsrelativierten Pendanten von Sprungkraft ($F_{\text{tot max rel}}$) und Sprungleistung ($PP_r / P_{\text{tot max rel}}$) in Newton bzw. Watt pro Kilogramm Körpergewicht angegeben. Die Maximalgeschwindigkeit (V_{\max}) wurde in Metern pro Sekunde und der EFI als EFI% Score ausgedrückt.

2.12 Statistische Methodik

Die weiterführende Auswertung und Analyse der Daten erfolgte mit Microsoft Office Excel (2010 und 2013) sowie IBM SPSS Statistics Version 23. Als statistische Methoden wurden deskriptive Statistiken, explorative Datenanalysen, Häufigkeiten sowie Histogramme und Box Plots mit entsprechender Standardabweichung oder auch 95%-Konfidenzintervallen verwendet. Die Beurteilung der Normalverteilung der einzelnen Variablen erfolgte in kritischer Abwägung nach Zusammenschau von Kennzahlen der deskriptiven Statistik, Histogramm mit Normalverteilungskurve, Box-Blot sowie Shapiro Wilk Test auf Normalverteilung. Das Signifikanzniveau für die Shapiro Wilk Tests wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Darüber hinaus dienten univariate sowie multivariate lineare Regressionsanalysen, T-Tests für unabhängige Stichproben und Varianzanalysen (ANOVA) der weiteren statistischen Analyse. Die Berechnungsgrundlage für das Leistungsdefizit der Kernvariablen der JM waren die aus der linearen Regression ermittelten linearen Regressionsgeraden. Durch Einsetzen der entsprechenden Jahrgänge von 65 bzw. 90 Jahre für die unabhängige Variable X wurden die entsprechenden Y-Werte der abhängigen Variable ermittelt. Diese dienten als weitere Berechnungsgrundlage für sich in der Untersuchungsspanne aufzeigende absolute sowie relative Defizite. Das Signifikanzlevel wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Darüber hinaus wurde $p < 0,001$ als hochsignifikant gewertet.

3 Ergebnisse

3.1 Sprungverteilung

Von den 507 im Rahmen der Studie vor Ort im Institut untersuchten Probanden wurden insgesamt 860 s2ljs von der Sprungmessplatte registriert, wobei 17 von diesen durch einzelne fehlende Werte nicht verwertbar waren. Von den verbliebenen 843 Sprüngen wiederum wurden nur diejenigen in die Datenauswertung mit einbezogen, welche von der Leonardo Analysesoftware als valide bewertet und in der Datenbank entsprechend als solche gekennzeichnet wurden. Die Zahl der validen und registrierten Sprünge beläuft sich somit auf 795. Entsprechend wurden 48 Sprünge als „invalid“ bewertet.

121 der 795 validen Sprünge ergaben sich durch Probanden, welche nur einmal gesprungen sind oder bei denen nur einer der Versuche der geräteinternen Validitätsprüfung standhielt. Nur sechs Sprünge resultieren daraus, dass zwei Probanden jeweils drei verwertbare Sprünge produziert hatten. Den weitaus größten Anteil mit 334 Sprüngen machen diejenigen Probanden aus, welche jeweils zweimal erfolgreich gesprungen waren.

Nach durchlaufenem und manuell erfolgtem Datenclearing sowie einer Plausibilitätsprüfung erfolgte bei mehreren validen Sprüngen pro Patientenidentifikationsnummer (PID) die Selektion nach dem Sprung mit dem höchsten Wert für die gewichtsrelative Sprungleistung (PP_r). Damit wurden schließlich 457 individuelle Sprünge von 457 Probanden in die finale Datenauswertung mit aufgenommen.

3.2 Altersverteilung

Über die für den Studieneinschluss festgelegte Spannweite von 25 Jahren, beginnend bei 65 und endend bei 90 Jahren, ergab sich ein generelles Durchschnittsalter der Probanden von 74,35 Jahren (SD +/- 5,94). Die genaue theoretische Mitte der Spannweite wäre auf 77,5 Jahre zu bemessen. Der durchschnittlich Springende war somit ca. drei Jahre jünger, als dies theoretisch zu erwarten gewesen wäre. Der jüngste Proband war entsprechend der definierten Einschlusskriterien wenig überraschend 65 und der Älteste entsprechend 90 Jahre alt.

Die Ältesten ab 78 Jahren (75%-Quartil) umfassen 138 Probanden bzw. 30,2% des Gesamtkollektives.

		Statistik	Standardfehler	
Alter	Mittelwert	74,35	,28	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	73,80	
		Obergrenze	74,89	
	5% getrimmtes Mittel	74,12		
	Median	74,00		
	Varianz	35,33		
	Standardabweichung	5,94		
	Minimum	65,00		
	Maximum	90,00		
	Spannweite	25,00		
	Interquartilbereich	8,00		
	Schiefe	,49	,11	
	Kurtosis	-,42	,23	

Tabelle 1: Tabellarische Auflistung der deskriptiven Statistik in Bezug auf das Alter (Jahre) der Probanden

Teilt man die Teilnehmer nach Altersdekaden ein, sind 263 Probanden der 8. Dekade zuzuordnen. In der 7. und 9. Dekade fanden sich deutlich weniger Probanden wieder. Insbesondere für die 9. und älteste Dekade konnten valide Sprunanalysedaten des s2lj von 88 Probanden (19,3% des Gesamtkollektives) gewonnen werden. Das mittlere Alter der 9. Dekade lag bei 83,57 Jahren (SD +/-2,95).

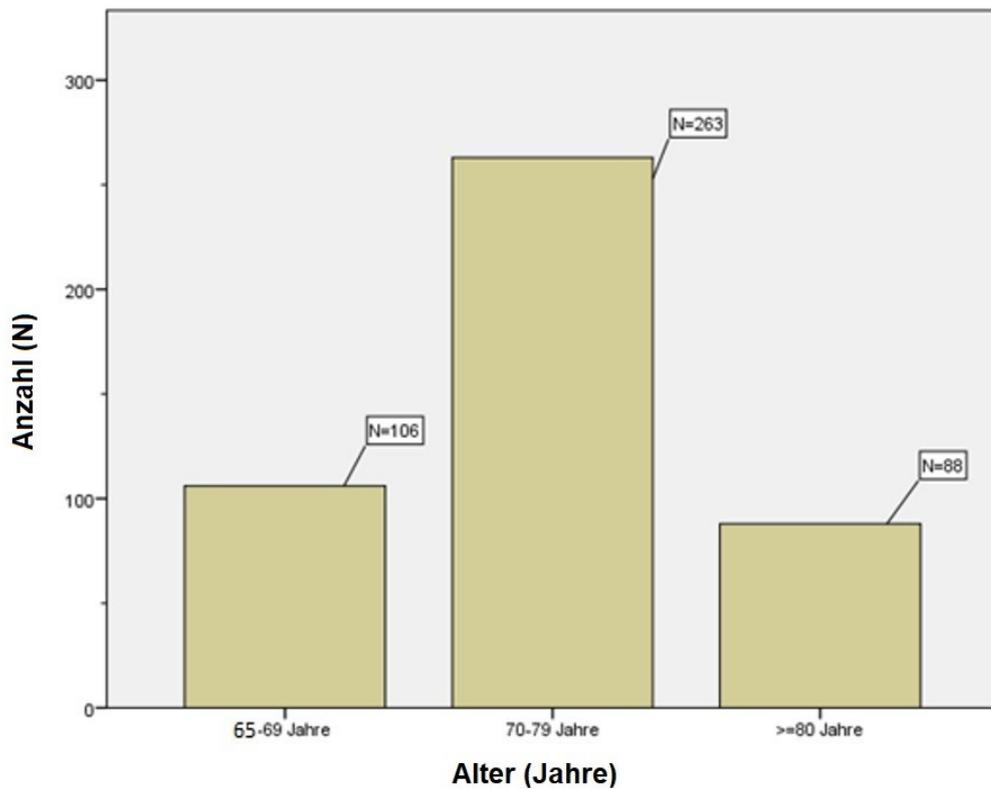


Abbildung 4: Balkendiagramm der Häufigkeitsverteilung der Probanden entsprechend ihrer Zuordnung in Altersdekaden bzw. Altersgruppen. N= Anzahl der Probanden

3.2.1 Normalverteilung der Altersverteilung

Zur Beurteilung der Normalverteilung des Alters der Probanden soll zunächst auf die graphische Darstellung der Alterverteilung in Form des Histogrammes eingegangen werden. Eingezeichnet in rot ist die zu erwartende Normaverteilungskurve. Der Verlauf des Histogrammes kommt dieser sehr nahe. Sowohl anhand des visuellen Abgleichs von Histogramm und eingezeichneter Normalverteilungskurve als auch an den Kennzahlen der deskriptiven Statistik (s. **Tabelle 1**) lässt sich, gemessen an einer zu erwartenden Normaverteilungskurve, eine leicht breitbasiger anmutende Verteilung beobachten.

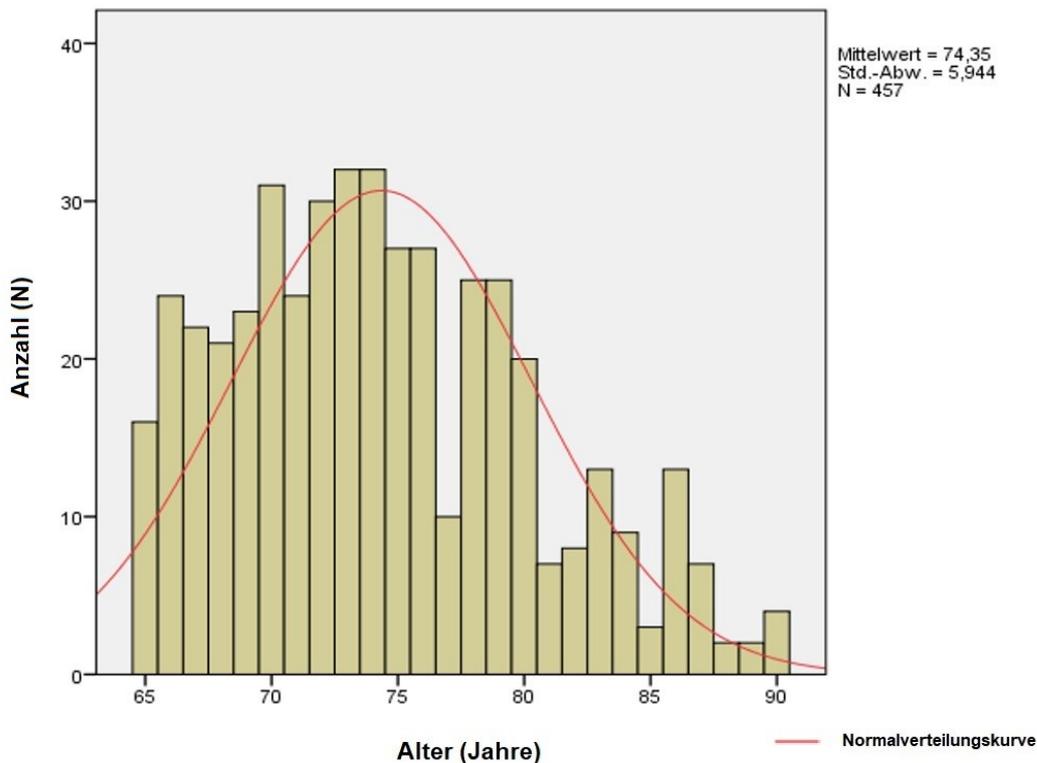


Abbildung 5 Die gelben Balken zeigen die Zahl der untersuchten Probanden im entsprechenden Alter. Gesamtzahl $n=457$. Die rote Linie entspricht einer Normalverteilungskurve. Die Standardabweichung (Std.-Abw.) betrug $\pm 5,94$. N = Anzahl

Im linken Bereich des Histogrammes ergibt sich ein cut off der Werte, aufgrund des Einschlußkriteriums von mindestens 65 Jahren. Selbiges gilt für den höheren Altersbereich, mit einem Einschnitt bei 90 Jahren. Trotz der weitestgehend normalverteilt erscheinenden Daten gibt es wenige Ausnahmen. In den Jahrgängen der zum Zeitpunkt der Datenerhebung 77, 81, 82 und 85 Jahre alten Probanden ist die Anzahl der gesprungenen um ca. die Hälfte

niedriger, als nach der angedeuteten roten Normalverteilungskurve zu erwarten gewesen wäre.

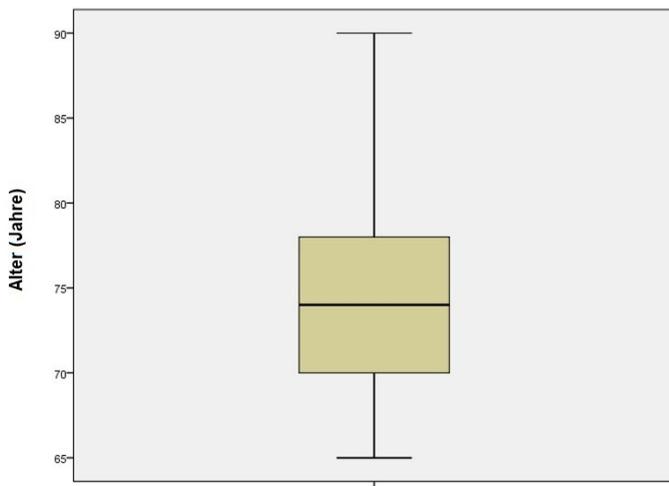


Abbildung 6: Box- und Whisker Plot des Alters der Studienteilnehmer. Die Box markiert dabei das obere und untere Quartil (25% über bzw. unter dem Wert des Median), wobei der Querbalken in der Box den Median markiert und die darüber und darunter liegenden horizontalen Linien das Maximum bzw. Minimum, exklusive von Ausreißern, darstellen.

Dargestellt im Boxplot lässt sich anhand der Whisker das Minimum und Maximum von 65 bzw. 90 Jahren erkennen, entsprechend den Einschlusskriterien. Es ist dahingehend auch selbsterklärend, dass der Box- bzw. Whisker Plot darüber hinaus keine Ausreißer zutage förderte. Grafisch stellt sich der Median bei 74 Jahren ein und teilt auch die Box in annähernd gleiche Teile. Entsprechend darüber liegen die 25% Quartil-Begrenzung bei 70 Jahren und das 75% Quartil bei 78

Jahren. Insgesamt stellt sich der Boxplot, in Bezug auf die gesamte untersuchte Spannweite von 25 Jahren, am Unterrand des mittleren Drittels dar.

Bei Prüfung der Annahme einer Normalverteilung durch den Shapiro Wilk Test erhält man einen p-Wert von kleiner als 0,001 und damit eine Ablehnung der Nullhypothese, d.h. die Daten sind nicht normalverteilt. Der durchgeführte Test auf Normalverteilung verhält sich sehr konservativ, ist stark anfällig gegenüber Ausreißern, gerundeten Daten und Bindungen (Ties). Kennzahlen, Histogramm sowie der Box Plot in Zusammenschau mit der Gesamtkollektivgröße (n=457) sprachen eher für eine Normalverteilung. Darüber hinaus spielt die sich daraus ergebende Auswahl über ein metrisches oder parametrisches Testverfahren aufgrund der nennenswerten Testgrößen, welche sich durch die erhebliche Größe des Gesamtkollektives ergeben, eine untergeordnete Rolle und sollte keinen Einfluß auf die weiteren Ergebnisse haben. In kritischer Abwägung und Zusammenschau der genannten Faktoren wurde daher für weiterführende Analysen in dieser Arbeit eine Normalverteilung für das Alter angenommen.

3.3 Übersicht der deskriptiven Statistik zu den Kernvariablen des JM

An dieser Stelle soll auf Basis der Ergebnisse aus der Sprunganalyse eine deskriptive Kollektivbeschreibung erfolgen. Dabei wird Bezug auf die in *Tabelle 2* ausgeführten und übersichtlich dargestellten deskriptiven Kennzahlen der Kernvariablen der Sprunganalyse genommen.

Im Mittel wurde dabei im Kollektiv eine Sprunghöhe von 21,2 cm (SD +/- 7,1 cm) erreicht, wobei der höchste Sprung eines Probanden mit 45,7 cm bei fast einem halben Meter lag. Entgegen dem Maximum wurde der niedrigste valide Sprung von einem Teilnehmer mit einer lediglich erreichten Sprunghöhe von nur 4,4 cm aufgezeichnet.

In Bezug auf die neuromuskuläre Beurteilung der Probanden war insbesondere die gewichtsadjustierte maximale Sprungleistung von großem Interesse. Hier konnte vom Kollektiv im Mittel pro kg Körpergewicht eine Maximalleistung von 25,47 W (SD +/- 0,60 W) verzeichnet werden. Dabei zeigte sich hier eine große Spannweite der aufgezeichneten Werte. So steht der Sprung des Probanden mit der schlechtesten PP_r von 8,52 W/kg entgegen dem größten Leistungsmaximum, welches bei einem Teilnehmer auf 51,92 W/kg zu bemessen war. In diesem Extremfall lag die Differenz somit für jedes einzelne Kilogramm Körpergewicht der jeweiligen Probanden bei 43,40 W, was einem Faktor 5 entspräche.

Die während der Absprunghase aufgezeichnete, körperrgewichtrelativierte maximale Kraft lag bei der Kohorte im Mittel bei 20,44 N/kg (SD +/- 2,98 N/kg). Dies entspricht einer Beschleunigung von 2,08 g. Somit wirkte auf jedes kg Körpergewicht, durch die vom Körper während des Absprunges erzeugte Beschleunigung, die 2,08-fache Gravitationskraft. Gemessen an dem Probanden, welcher die niedrigste maximale Kraft pro kg zu verzeichnen hatte (13,94 N/kg), lag die G-Kraft hier nur beim Faktor 1,42. Somit konnte dieser über die in Ruhe auf den Körper einwirkende Erdanziehung von 1 g nur weitere 0,42 g seiner schon im Stand auf ihn einwirkenden G-Kraft während der Absprunghase erzeugen. Auf der anderen Seite lag die höchste erzielte gewichtsrelativierte Maximalkraft bei 36,67 N/kg. Auf den betreffenden Probanden wirkte, durch seine selbst erzeugte Beschleunigung beim Absprung, mit 3,74 g somit fast das 4-fache der sonst üblichen Erdanziehungskraft.

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
h max (m)	457	,212	,071	,044	,457
P tot max (kW)	457	2,16	,60	,59	4,83
P tot max rel (W/kg)	457	25,47	6,65	8,52	51,92
F tot max (kN)	457	1,73	,32	,98	2,67
F tot max rel (N/kg)	457	20,44	2,98	13,94	36,67
V max (m/s)	457	1,65	,34	,69	2,56
EFI (%)	457	79,10	17,79	29,83	137,84
hmin (m)	457	,164	,079	,034	,479

Tabelle 2: Zeigte tabellarisch die zusammenfassende Übersicht der deskriptiven Statistik in Bezug auf die Kernvariablen der durchgeführten JM. Tabellarisch dargestellt sind die jeweiligen Mittelwerte der entsprechenden Parameter sowie die diesbezügliche Standardabweichung des MW. h_{max} = Maximale Sprunghöhe (m), $P_{tot\ max}$ = absolute Maximalleistung (kW), $P_{tot\ max\ rel}$ = relative Maximalleistung (W/kg), $F_{tot\ max}$ = absolute Maximalkraft (kN), $F_{tot\ max\ rel}$ = relative Maximalkraft (N/kg), V_{max} = Maximalgeschwindigkeit (m/s), EFI= Esslinger Fitness Index, h_{min} = Ausholtiefe (m).

In Bezug auf die aufgezeichnete Ausholtiefe (h_{min}) muss vorab nochmals darauf hingewiesen werden, dass die von der JM ausgegebenen Werte faktisch nicht in Meter gemessen werden. Vielmehr kommt es bei der Ausholbewegung zu einer Unterschreitung der Nulllinie für die Gewichtskraft, die entsprechend umgerechnet wird. So belief sich die kleinste bei einem Probanden aufgezeichnete Ausholtiefe auf 3,4 cm. Die am tiefsten reichende Bewegung eines Probanden und damit das Maximum lag bei 47,9 cm. Im Mittel lag die Ausholtiefe im Kollektiv bei 16,4 cm (SD+/- 7,9cm).

Für den EFI, bei dem es sich um eine prozentuale Einstufung der Ergebnisse anhand eines am Gerät hinterlegten alters- und geschlechtsspezifischen Referenzdatensatz handelt, konnten folgende Beobachtungen gemacht werden: Im Mittel ergab sich in der Kohorte ein EFI Score von 79,10 EFI Score % (SD+/-17,79%). Damit lagen die Probanden dieser Kohorte im Durchschnitt 20,90 EFI Score % unter dem als „Norm- oder Referenzwert“ deklarierten EFI. 100% EFI Score würde ein Proband dieses Kollektives erzielen, wenn er die gleiche PP_r aufwies, die im Mittel von einem ebenso alten männlichen Probanden aus dem besagten Referenzkollektiv erzielt wurde. Somit wurde in der hiesigen Kohorte im Mittel eine deutlich niedrigere gewichtsadjustierte Sprungleistung (PP_r) erzielt als von gesunden gleichaltrigen Probanden. Weit unter dem Mittelwert wies ein Proband den niedrigsten EFI % Score von 29,83 EFI% auf. Der höchste Score konnte von einem Teilnehmer mit erreichten 137,84 EFI% verzeichnet werden.

3.4 Anthropometrie

Erfasst wurden in diesem Zusammenhang Größe, Gewicht und der sich daraus ergebende Body-Mass-Index (BMI) des Kollektivs. Darüber hinaus soll auf die Skelettmuskelmasse (SM) und den Skelettmuskelmassindex (SMI) der Probanden eingegangen werden. Diese Parameter sind bei der Sprunganalyse insbesondere von Interesse, da es sich um den intrinsischen Widerstand handelt der vom Springenden gegen die Schwerkraft bewegt werden muss. Dabei spielen neben dem Gewicht bzw. der Masse auch die Gewichtsverteilung auf die Körpergröße (BMI) und die zu bewegende aber auch an der Bewegung mitwirkende Skelettmuskelmasse (SM bzw. -SMI) eine Rolle.

3.4.1 Größe und Gewicht

In Bezug auf die gemessene Körpergröße der Probanden ergab sich ein Mittelwert von 1,74 m (SD +/-6 cm). Der kleinste untersuchte Proband wies eine Körpergröße von 1,58 m auf, wohingegen der größte 1,95 m groß war. Im Mittel waren die Probanden dabei 85,29 kg schwer (SD+/-13,37 kg). Der leichteste gesprungene Proband wog 58,15 kg, der schwerste hatte eine Körpermasse von 149,70 kg.

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Körpergewicht	457	85,29	13,37	58,15	149,70
Körpergröße	457	1,74	,06	1,58	1,95
BMI	457	28,05	3,92	19,56	48,88
SM	420	30,98	3,74	22,69	44,07
SMI	420	10,22	1,04	7,76	14,39

Tabelle 3: Deskriptive Statistik und Kennzahlen der anthropometrischen Daten. Dabei ist das Körpergewicht in Kilogramm, die Körpergröße in Metern, der Body-Mass-Index (BMI) in kg/m^2 , die Skelettmuskelmasse (SM) in Kilogramm und der Skelettmuskelmasseindex (SMI) in kg/m^2 angegeben.

Alle bereits im Rahmen der Altersverteilung ausgeführten Faktoren zur Beurteilung der Normalverteilung der Daten wiesen sowohl für die Körpergröße als auch für das Körpergewicht auf eine Normalverteilung der Daten hin.

3.4.2 Körperkonstitution (BMI, SM und SMI)

3.4.2.1 Body-Mass-Index (BMI)

Aus den Daten lässt sich ein mittlerer BMI von $28,05 \text{ kg/m}^2$ (SD $\pm 3,92 \text{ kg/m}^2$) bestimmen. Der Median ist um knapp einen BMI Punkt niedriger, bei $27,43 \text{ kg/m}^2$, angesiedelt. Nach aktueller WHO Definition [136] des Indexes war der durchschnittliche Proband, sowohl anhand des Mittelwertes als auch des Medians, als präadipös zu werten.

Aktuell liegen die Definitionsgrenzen des BMI zur Präadipositas bei Werten ≥ 25 und < 30 . Ab einem BMI von 30 beginnt laut WHO die Definition der Adipositas, welche zunächst der Graduierung nach als „Grad 1 Adipositas“ bezeichnet wird.

Der geringste BMI eines Probanden lag bei $19,5 \text{ kg/m}^2$. Somit gab es keine Teilnehmer, die als untergewichtig zu bezeichnen gewesen wären (BMI $< 18,5$). Den höchsten BMI des Kollektivs wies ein Proband mit $48,9 \text{ kg/m}^2$ auf. Damit war sein Index deutlich im Bereich der Adipositas per magna (Adipositas Grad III) anzusiedeln, welcher sich ab einem BMI von > 40 abgrenzt. Die Spannweite der erhobenen BMI Werte beträgt somit $29,37 \text{ kg/m}^2$

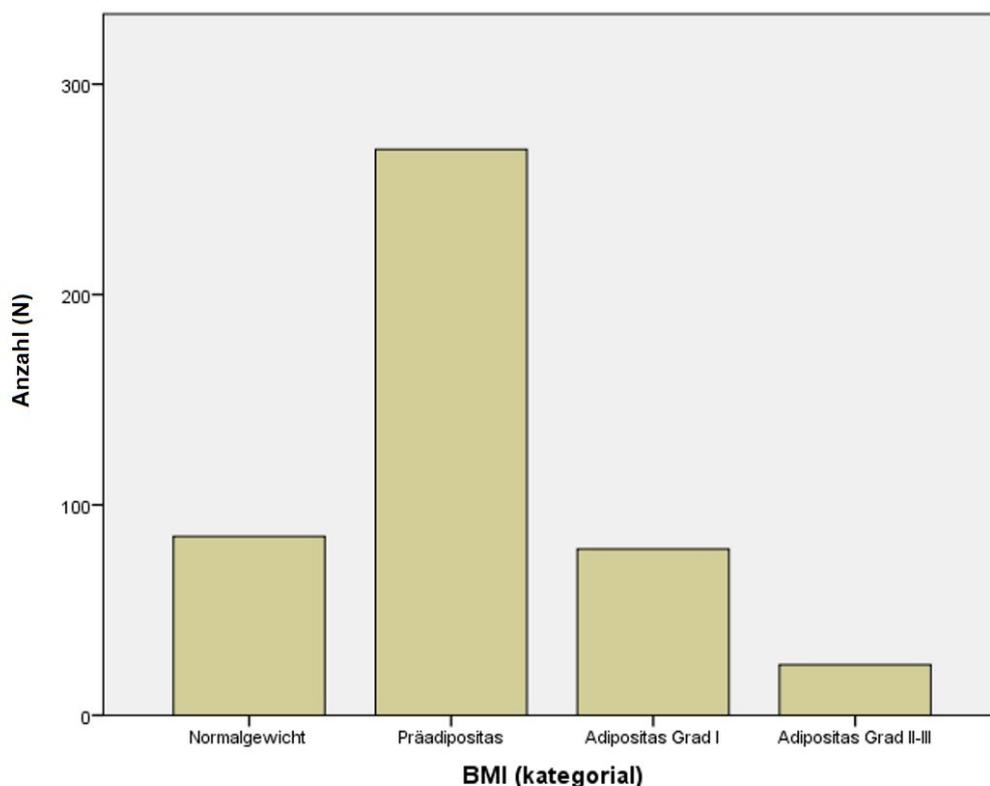


Abbildung 7: Balkendiagramm zur Häufigkeitsverteilung der BMI Kategorisierungen nach der WHO, BMI= Body-Mass-Index. N= Anzahl der Probanden

Insgesamt sind nach gängiger Definition nur 18,6% (N=85) des untersuchten Kollektives als „normalgewichtig“ definiert (BMI >18,5 und <25). Der weitaus größte Anteil mit 270 Probanden bzw. 58,9% war im Bereich der Präadipositas einzuordnen. Insgesamt 22,6% und damit 103 Personen sind als adipös zu werten. Mit Abstand am größten ist dabei die Gruppe mit Adipositas Grad 1 (BMI 30-35) mit 79 Probanden (17,3%). Ein geringer Anteil von 24 Personen erfüllt die Kriterien der Adipositas Grad 2 (35-40), insgesamt 5,3% in Bezug auf das gesamte Kollektiv. Nur 6 Personen liegen in der höchsten Klassifizierung, der Adipositas Grad 3, auch als Adipositas per magna bezeichnet. Damit stellten sie mit 1,3% den mit Abstand geringsten Teil dar. Unter dem Aspekt der Bildung homogener Gruppengrößen für nachfolgende statistische Verfahren wurden sie daher mit den Grad II adipösen zusammengefasst. Abbildung **Tabelle 5** gibt nochmal einen grafischen Überblick über die Häufigkeiten in kategorialer Einteilung.

Der BMI im Alter

	Häufigkeit (n)	Prozent	Prozent kumulativ
Normalgewicht	85	18,6	18,6
Präadipositas	269	58,9	77,5
Adipositas Grad I	79	17,3	94,7
Adipositas Grad II-III	24	5,3	100,0
Gesamt	457	100,0	

Tabelle 5: Tabellarische Übersicht der kategorialen Häufigkeitsverteilung des BMI (Body-Mass-Index)

Aus den bisherigen Studien war bekannt, dass von einem nicht unerheblichen Zusammenhang zwischen dem Alter und dem überwiegenden Teil der mittels JM erhobenen Sprungleistungsparameter auszugehen ist, allen voran bei der gewichtsrelativierten Sprungleistung (PP_r). Es sollte untersucht werden, ob im Probandenkollektiv ein Zusammenhang zwischen dem Alter und dem BMI bestand, um etwaige durch das Alter hervorgerufene Scheinkorrelationen bei der weiteren Datenanalyse und Interpretation zu berücksichtigen. Dahingehend wurde in Bezug auf das Alter und den BMI zunächst auf korrelative Zusammenhänge untersucht, wobei kein signifikanter Zusammenhang ermittelt werden konnte ($r = -0,090$; $p = 0,06$). Dabei zeigt sich jedoch im Alter eine deutliche

Minderung der Körpergröße ($r=-0,26$; $p<0,001$) sowie Abnahme der Körpermasse ($r=-0,19$; $p<0,001$).

BMI (kg/m^2) nach Altersdekaden

BMI					
Alter in Dekaden	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
60-69 Jahre	106	28,17	3,93	21,48	42,75
70-79 Jahre	263	28,31	4,19	19,56	48,88
≥ 80 Jahre	88	27,11	2,84	20,07	35,38
Insgesamt	457	28,05	3,92	19,56	48,88

Tabelle 6: Tabellarische Übersicht der Höhe des in den entsprechenden Altersdekaden ermittelten Body-Mass-Index (BMI) in kg/m^2

Wie die Übersicht der kaum differierenden BMI Mittelwerte zwischen den Altersdekaden bereits vermuten lässt (s. **Tabelle 6**), konnte auch eine zusätzlich auf Altersunterschiede zwischen den unterschiedlichen BMI Gruppierungen durchgeführte Varianzanalyse keine signifikanten Mittelwertdifferenzen des Alters feststellen ($p=0,17$). Zudem zeigten sich auch unter Zuhilfenahme einer Kreuztabelle und eines durchgeführten Chi-Quadratstest bzgl. der Häufigkeit von BMI Kategorien innerhalb der Altersgruppen keine Veränderung des bestehenden Ergebnisses ($p=0,53$). Es ergaben sich damit keine Hinweise auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und dem BMI.

Darüber hinaus wurde eine Partialkorrelation zwischen BMI und der PP_r durchgeführt, bei der das Alter als Kontrollvariable dienen sollte. Dabei ergab sich ein partieller negativer und nach wie vor hochsignifikanter Korrelationskoeffizient für den BMI ($r=-0,33$; $p<0,001$). Dieser lag damit deutlich über dem zweiseitigen Korrelationskoeffizienten nach Pearson ($r=-0,23$; $p<0,001$), ohne Kontrollvariable. Folglich war mit Zunahme des BMIs von einer Abnahme der erzielten gewichtsrelativierten Sprungleistungsmaxima (PP_r) auszugehen. Diese Beobachtung wurde nach Adjustierung für das Alter noch deutlicher. Bei gleichem Alter erzielten Probanden mit hohem BMI entsprechend eine signifikant niedrigere PP_r ($r=-0,33$; $p<0,001$).

Body-Mass-Index und Sprunganalyse

An nachfolgender Stelle werden die Ergebnisse und Zusammenhänge der Sprungparameter, allen voran der gewichtsrelativierten maximalen Sprungleistung (PP_r), in Bezug auf den BMI der jeweiligen Probanden dargelegt.

Betrachtet man den korrelativen Zusammenhang mit den Kernvariablen der Sprunganalyse, zeigten sich mit zunehmendem BMI für alle Variablen hochsignifikante und bzgl. der Sprunghöhe signifikante Korrelationskoeffizienten. Allerdings waren diese Koeffizienten mit Werten zwischen -0,18 und -0,30 nicht besonders ausgeprägt. Die deutlichsten Korrelationen wurden beim EFI (-0,30; $p < 0,001$) sowie der PP_r (-0,23; $p < 0,001$) erzielt. Auf beide wird deshalb nachfolgend nochmals genauer eingegangen.

		h max (E pot)	P tot max rel	V max	F tot max rel	EFI
BMI	Korrelation nach Pearson	-,16	-,23	-,18	-,22	-,30
	Signifikanz (2-seitig)	,001	,000	,000	,000	,000
	N	457	457	457	457	457

Tabelle 7: Übersichtstabelle der Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem BMI und den Kernvariablen der Sprunganalyse. , BMI= Body Mass Index, h_{max} = Maximale Sprunghöhe, $P_{tot\ max\ rel}$ = relative Maximalleistung, V_{max} = Maximalgeschwindigkeit, $F_{tot\ max\ rel}$ = relative Maximalkraft, EFI= Esslinger Fitness Index

Es war ersichtlich, dass, über das gesamte Kollektiv gesehen, ein hoher BMI mit einer Abnahme der erzielten maximalen Sprungleistung assoziiert war (PP_r) ($r = -0,23$; $p < 0,001$). Dabei handelt es sich bereits um die gewichtsadjustierte Größe der Sprungleistung. Somit war von einem Kilogramm Körpermasse eines Probanden, welcher sich durch einen hohen BMI auszeichnete, eine geringere Sprungleistung zu verzeichnen als von einem Kilogramm Körpermasse eines Probanden, der wiederum einen geringen BMI aufwies.

Eine durchgeführte lineare Regressionsanalyse, mit dem BMI als alleinige erklärende Variable des Modelles, konnte 5% der Varianz der PP_r erklären. ($r^2 = 0,05$; $p < 0,001$).

In Bezug auf den negativen korrelativen Zusammenhang des BMIs mit dem Esslinger Fitness Index (EFI) ($r = -0,30$; $p < 0,001$) ist zu verstehen, dass bei Probanden mit einem hohen BMI eine niedrigere gewichtsrelativierte Maximalleistung (PP_r) erzielt wurde als bei gleichaltrigen Probanden des Esslinger Referenzkollektives. Es deutet sich damit an, dass ein hoher BMI bei Probanden gleichen Geschlechtes und Alters mit signifikant schlechterer Sprungleistung (PP_r) assoziiert war.

Alter und BMI als Prädiktor der Sprungleistung (PP_r)

Dass ein schwacher bis mittlerer negativer ($r = -0,23$) korrelativer Zusammenhang zwischen dem BMI und der PP_r besteht, wurde bereits dargelegt. In bisherigen Studien wurde bereits ausgiebig auf die deutliche lineare Abnahme der Sprungleistungsparameter mit dem Alter verwiesen, ohne dass jedoch Hinweise auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen Alter und BMI vorlagen. Mithilfe einer multiplen linearen Regressionsanalyse im Einschussverfahren wurde nach Adjustierung des Alters auf zusätzlich durch den BMI zu erklärende Varianzanteile an der PP_r untersucht.

Folglich ließen sich 36% der Varianz der gewichtsrelativierten maximalen Sprungleistung (PP_r) durch die beiden Prädiktoren Alter und BMI zusammen mit einem multiplen linearen Modell erklären ($r^2 = 0,36$; $p < 0,001$). Dabei führten sowohl ein höheres Alter ($r = -0,56$; $p < 0,001$), als auch steigende BMI-Werte ($r = -0,28$; $p < 0,001$) zu einer hochsignifikanten Minderung der PP_r , welche sich in Form hochsignifikanter negativer adjustierter Regressionskoeffizienten äußerte.

Führte man die obige multiple Analyse im schrittweisen Verfahren durch, verminderte sich zunächst ein für das Alter alleine zu erklärender Varianzanteil an der PP_r auf 29% ($r^2 = 0,29$; $p < 0,001$). Bei nachfolgender Hinzuziehung der BMI Werte führten diese zu einer Zunahme der Varianzanteile um 7% ($r^2 = 0,07$; $p < 0,001$) auf den bereits erwähnten und maximal zu erklärenden Gesamtanteil von 36% ($r^2 = 0,36$; $p < 0,001$). Somit konnte der BMI über das Alter hinaus, unter Annahme eines linearen Modelles, 7% der PP_r vorhersagen.

3.4.2.2 Skelettmuskelmasse (SM und SMI)

Bei der SM und dem SMI handelt es sich um ergänzend erhobene anthropometrische Daten, welche auf den Ergebnissen einer BIA beruhen. Die BIA stellte eine separat und unabhängig von der Sprunganalyse durchgeführte Untersuchung dar. An dieser Stelle soll zunächst eine deskriptive Übersicht der Kohorte bzgl. der Probandenzahlen und erzielten Werte folgen. Nachfolgend wird auf die Ergebnisse in Bezug auf altersabhängige Zusammenhänge des Kollektivs mit den Muskelmasseparametern sowie der Kernvariablen der Sprunganalyse eingegangen.

Zunächst sei bemerkt, dass nicht von allen Probanden des Kollektivs, von denen ein verwertbarer s2lj zu erheben war, parallel dazu auch ein valider Wert durch die BIA vorlag. Von den 457 mit auswertbarer Sprungkraftmessung lag von 37 (8,1%) Probanden keine BIA-Messung vor. Somit war es nicht möglich, für diese Probanden Rückschlüsse auf deren vorhandene Skelettmuskelmasse (SM) oder Skelettmuskelmasseindex (SMI) zu ziehen. Folglich ließ sich für die besagten 8,1% trotz valider Ergebnisse der Sprunganalyse somit auch keine Einteilung für die Sarkopenie nach der EWGSOP vornehmen, für welche die Kenntnis über den SMI Voraussetzung sind.

Die absolute Muskelmasse der 420 Probanden, angegeben in Form der SM, lag im Mittel bei 30,98 kg (SD +/- 3,74 kg). Dabei konnte die niedrigste Skelettmuskelmasse bei einem Teilnehmer mit 22,69 kg gefunden werden und die höchste bei einem Probanden mit 44,07 kg. Wurden die absolute SM kongruent zum BMI mit der Größe in Relation gesetzt, ergab sich ein mittlerer SMI des Kollektivs (N=420) von 10,22 kg/m² (SD +/- 1,04 kg/m²). Bei einer Spannweite von 7,17 kg/m² war der höchste Index bei einem Probanden mit einem SMI von 14,39 kg/m² zu verzeichnen. Dahingegen lag der niedrigste erhobene SMI bei 7,76 kg/m². Generell wiesen 303 Probanden einen insgesamt reduzierten SMI (SMI ≤ 10,75 kg/m²) auf, was aber, isoliert für sich betrachtet, nicht für die in der Studie zu Anwendung gekommene Definition der Sarkopenie nach der EWGSOP ausreicht.

Eine Normalverteilung der Daten wurde auch hier sowohl für die SM als auch für den SMI nach kritischer Abwägung und Zusammenschau der Kennzahlen (s. **Tabelle 3**), Kurtosis und Schiefe von -0,096 und 0,49 bei der SM sowie 0,56 und 0,63 beim SMI, Histogramme und Box Plots in Kombination mit der nach wie vor umfassenden Kollektivgröße (n=420) angenommen.

Muskulatur und die Sprunganalyse im Alter

Nachfolgend der bereits in vorausgehenden Abschnitten ausgeführten deskriptiven Statistik bzgl. ermittelter Parametern zur Quantifizierung der Muskelmasse (SM und SMI) soll an dieser Stelle auf diesbezügliche Zusammenhänge mit dem Alter sowie den Kernvariablen der Sprunganalyse eingegangen werden.

Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die entsprechenden Variablen. In Bezug auf das Alter zeigte sich zunächst bei der absoluten Skelettmuskelmasse (SM) ein hochsignifikanter negativer Korrelationskoeffizient nach Pearson ($r = -0,34$; $p < 0,001$). Damit ist mit zunehmendem Alter im hiesigen Kollektiv von einer Abnahme der absoluten Muskelmasse auszugehen. Die nach der Körpergröße relativierte Muskelmasse in Form des Skeletal-mass-Index (SMI) wies in Bezug auf das Probandenalter zwar einen weniger deutlich negativen Koeffizienten auf ($r = -0,20$; $p < 0,001$), war aber nach wie vor hochsignifikant. Somit war im Alter hier ebenso eine Abnahme der relativen Muskelmasse (SMI) anzunehmen.

In Bezug auf die Korrelation der rein absolut betrachteten Skelettmuskelmasse (SM) der einzelnen Probanden und den Kernvariablen des JM zeigten sich lediglich bei der erzielten Sprunghöhe ($r = 0,14$; $p = 0,01$) sowie der V_{\max} ($r = 0,11$; $p = 0,02$) sehr schwache aber signifikante Zusammenhänge auf.

		Alter	h max (E pot)	P tot max rel	V max	F tot max rel	EFI
SM	Korrelation nach Pearson	-0,34	0,14	0,08	0,11	-0,07	-0,09
	Signifikanz (2-seitig)	0,00	0,00	0,10	0,02	0,13	0,07
	N	420	420	420	420	420	420
SMI	Korrelation nach Pearson	-0,20	0,04	0,00	0,00	-0,05	-0,11
	Signifikanz (2-seitig)	0,00	0,44	0,93	1,00	0,27	0,03
	N	420	420	420	420	420	420

Tabelle 8: Übersichtstabelle der Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen der Skelettmuskelmasse (SM) bzw. Skelettmuskelmasseindex (SMI) und den Kernvariablen der Sprunganalyse. h_{\max} = Maximale Sprunghöhe, $P_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalleistung, V_{\max} = Maximalgeschwindigkeit, $F_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalkraft, EFI = Esslinger Fitness Index

Beim SMI verschwanden zudem sämtliche bestehende korrelative Zusammenhänge mit den ausgewählten Kernvariablen bis auf den EFI Score. Hier zeigte sich zwischen dem SMI und dem EFI ein schwach negativer, wenn doch signifikanter Zusammenhang ($r = -0,10$; $p = 0,03$). So war anzunehmen, dass ein hoher SMI eines Probanden der hiesigen Kohorte ($n = 420$) im Vergleich zu gleichaltrigen Probanden, deren erzielte PP_r im Leonardo als Referenzdatensatz hinterlegt ist, mit einer niedrigeren PP_r assoziiert war. Für die im Hauptfokus der

Untersuchung stehende PP_r zeigten sich für absolute und relative Muskelmasseparameter weder nennenswerte noch signifikante korrelative Zusammenhänge mit dem SM oder SMI. Somit ergaben sich hier auch insbesondere keine Hinweise auf einen positiven Zusammenhang von hoher SM oder einem hohen SMI auf die Kernparameter der Sprunganalyse, insbesondere nicht einer höheren maximalen Sprungleistung PP_r ($r=-0,08$; $p=0,10$ bzw. $r= -0,00$; $p=0,93$).

Es wurde darüber hinaus auch auf über das Alter hinaus bestehende Zusammenhänge der Muskelmasseparameter mit den Kernvariablen der JM untersucht. Unter dem Aspekt der Partialkorrelation mit dem Alter als Kontrollvariable zeigten sich sowohl für die SM als auch den SMI signifikante korrelative Zusammenhänge. Wie der **Tabelle 9** zu entnehmen ist, zeigt sich über das Alter hinaus für die SM ein signifikanter schwach negativer Zusammenhang sowohl für die PP_r ($r= -0,13$; $p=0,01$) als auch die $F_{tot\ max\ rel}$ ($r= -0,13$; $p=0,01$). Beim SMI in gleichem Maße für PP_r ($r= -0,13$; $p=0,01$) und anstelle der $F_{tot\ max\ rel}$ hier allerdings für die V_{max} ($r= -0,13$; $p= 0,01$). Über das Alter hinaus waren somit sowohl die absolute SM als auch die relative SM (SMI) mit tendenziell niedriger körperrgewichtrelativierter Maximalleistung assoziiert.

Kontrollvariablen			h max (E pot)	P tot max rel	F tot max rel	V max
Alter	SM	Korrelation	-,05	-,13	-,13	-,09
		Signifikanz (zweiseitig)	,29	,01	,01	,05
		Freiheitsgrade	417	417	417	417
	SMI	Korrelation	-,08	-,13	-,08	-,13
		Signifikanz (zweiseitig)	,09	,01	,08	,01
		Freiheitsgrade	417	417	417	417

Tabelle 9: Partialkorrelation der Muskelmasseparameter SM und SMI. Alter dient hier als Kontrollvariable. SM= Skelettmuskelmasse, SMI= Skelettmuskelmasseindex, h_{max} = Maximale Sprunghöhe, $P_{tot\ max\ rel}$ = relative Maximalleistung, $F_{tot\ max\ rel}$ = relative Maximalkraft, V_{max} = Maximalgeschwindigkeit,

3.5 Alter unter dem Aspekt der Sprunganalyse

Zunächst soll an dieser Stelle ein Überblick über die Zusammenhänge des Probandenalters mit den Kernvariablen der Sprunganalyse erfolgen. Diesem Abschnitt nachfolgend (ab 3.5.1) werden die Ergebnisse bzgl. der ermittelten Zusammenhänge zwischen Probandenalter und den Kernparametern der Sprunganalyse im Einzelnen genauer dargelegt.

Tabelle 10 gibt zunächst einen Überblick über die Korrelationskoeffizienten der nachfolgend in Form linearer Regressionsanalysen untersuchten Kernvariablen in Zusammenhang mit dem Alter. Überblickend ließ sich bereits feststellen, dass sich bei allen in der Tabelle aufgeführten Sprungvariablen ein mit dem Alter negativer korrelativer Zusammenhang zeigte. Darüber hinaus zeigte sich dieser bei fast allen hochsignifikant ($p < 0,001$). Eine Ausnahme bildete die Korrelation zwischen dem Alter und dem EFI ($r = -0,11$; $p = 0,01$). Hier bestand zwar nach wie vor ein signifikanter, wenn auch nicht hochsignifikanter Zusammenhang. Ebenso ersichtlich war, dass die gewichtsadjustierten Parameter der Maximalkraft (F tot max rel; $r = -0,14$; $p < 0,001$) und -leistung (P tot max rel; $r = -0,54$; $p < 0,001$) schwächere korrelative Zusammenhänge mit dem Alter aufwiesen, als dies für die absolute Maximalkraft (F tot max; $r = -0,27$; $p < 0,001$) und -leistung (P tot max; $r = -0,60$; $p < 0,001$) der Fall war.

Generell lässt sich bereits erkennen, dass im Alter sowohl Sprunghöhe, -leistung, -kraft und -geschwindigkeit als auch Ausholtiefe und der erzielte EFI% Score abnahmen. Auf genauere Analysen und Ergebnisse der altersassoziierten Beobachtungen wird in den nachfolgenden Abschnitten im Einzelnen eingegangen.

		h max	P tot max rel	P tot max	V max	F tot max rel	F tot max	hmin	EFI
Alter	Korrelation nach Pearson	-,54	-,54	-,60	-,54	-,14	-,27	-,31	-,11
	Signifikanz (2-seitig)	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01
	N	457	457	457	457	457	457	457	457

Tabelle 10: Tabellarische Übersicht der korrelativen Zusammenhänge zwischen Alter und den Kernvariablen der JM. h_{max} = Maximale Sprunghöhe, P tot max rel = relative Maximalleistung, P tot max = absolute Maximalleistung, V_{max} = Maximalgeschwindigkeit, F tot max rel = relative Maximalkraft, F tot max = absolute Maximalkraft, h_{min} = Ausholtiefe, EFI = Esslinger Fitness Index.

3.5.1 Alter und Sprunghöhe

In Bezug auf die Sprunghöhe konnte mit zunehmendem Alter eine deutliche Abnahme beobachtet werden. Dies deutete sich durch die zunächst durchgeführte zweiseitige Korrelation nach Pearson mit dem Alter und der maximal erreichten Sprunghöhe an. So ergab sich ein mittelstarker negativer Korrelationskoeffizient ($r=-0,54$). Der Zusammenhang war als hochsignifikant zu werten ($p<0,001$). Wie der Korrelationskoeffizient nach Pearson bereits impliziert, war zudem von einem linearen Zusammenhang bzw. einer mit dem Alter linearen Abnahme der Sprunghöhe auszugehen. Um die Linearität näher zu untersuchen, wurde eine

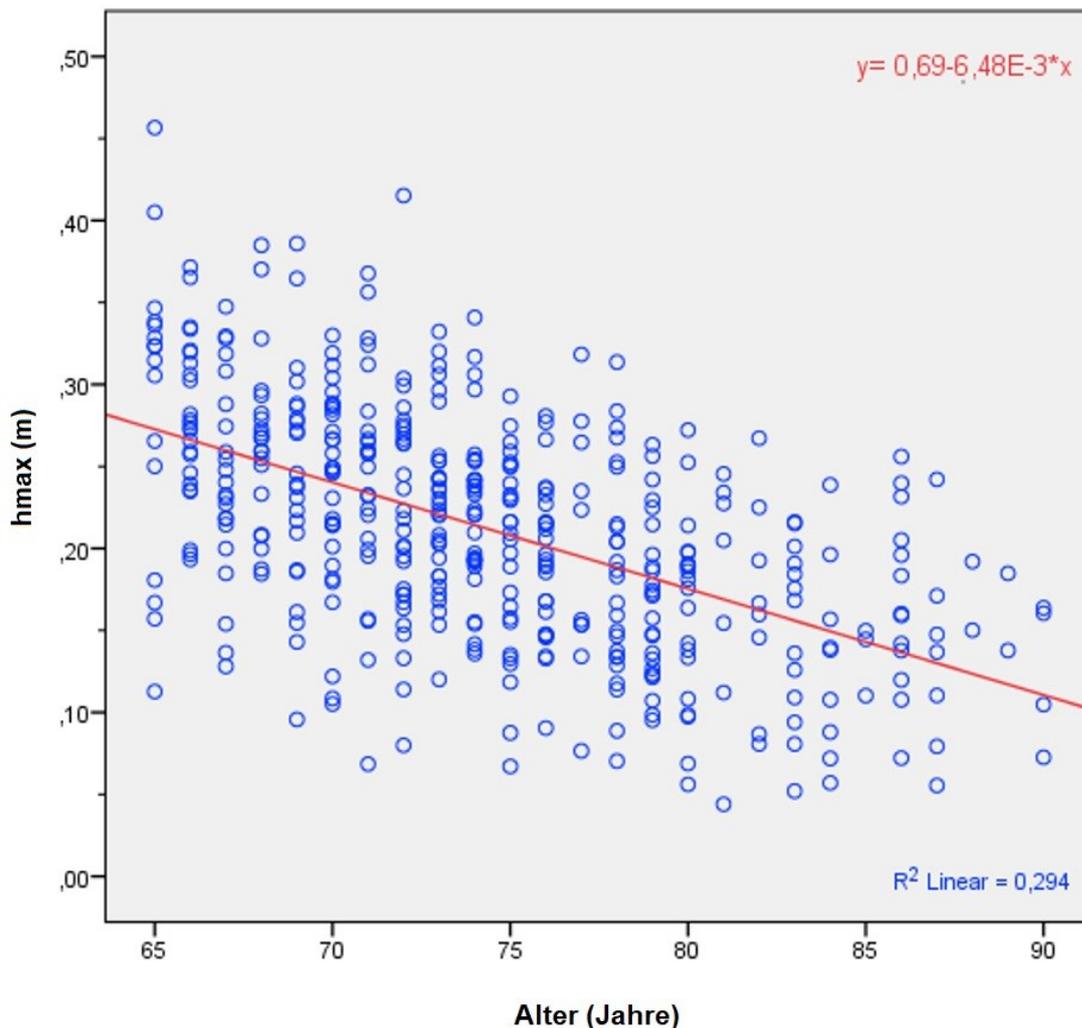


Abbildung 8: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der Sprunghöhe (h_{max}) in Metern

○ Messpunkt — aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß

Regressionsanalyse durchgeführt. Zur graphischen Veranschaulichung des daraus resultierenden Ergebnisses wurde nachfolgendes Streudiagramm verwendet.

Zunächst soll Bezug auf das besagte Streudiagramm (*Abbildung 8*) genommen werden. In rot eingezeichnet wurde die sich aus der linearen Regressionsanalyse ergebende Regressionsgerade ($y = -0,00648x + 0,69$). Das Diagramm bestätigt und visualisiert den bereits naheliegenden linearen Zusammenhang der beiden Variablen zueinander. Es lässt sich auch bei optischer Betrachtung eine deutliche lineare Abnahme der erzielten Sprunghöhe mit zunehmendem Alter beobachten. Mithilfe der errechneten linearen Funktion der Regressionsgeraden wurden zudem Werte der Zielvariable y (Sprunghöhe in Metern) unter Einsetzen der entsprechend zu untersuchenden unabhängigen Variable „ x “ (Alter in Jahren) berechnet. Ziel war es, den absoluten und relativen Rückgang der Sprunghöhe vom jüngsten untersuchten Probandenalter (65 Jahre) und dem ältesten erfassten Jahrgang (90 Jahre) zu quantifizieren.

Der geschilderten Berechnungsgrundlage folgend, ergab sich für die 65-Jährigen eine Sprunghöhe von 26,9 cm. Da es sich mit 65 Jahren um die jüngsten untersuchten Teilnehmer handelt, stellt dieser Wert für die Auswertung den Initialwert dar. Dahingegen betrug die Sprunghöhe unter Annahme der linearen Funktion mit 90 Jahren lediglich noch 10,7 cm. Im Vergleich des Initialwertes der h_{\max} mit 65 Jahren ($y=0,269$ m) zur h_{\max} mit 90 Jahren ($y=0,107$ m) lässt sich somit ein konkreter absoluter Rückgang der maximal erreichten Sprunghöhe um 16,2 cm errechnen. Dies entspricht einem relativen Rückgang um 60,2 % und damit 2,4% pro Jahr. Damit kam es über die besagte Altersspanne zu einer nicht unwesentlichen Reduktion der Sprunghöhe um annähernd $\frac{2}{3}$ der Ausgangshöhe. In Bezug auf prozentuale quantitative Änderungen der hier eingehend untersuchten Variablen der Sprunganalyse des s2lj fiel die Reduktion bei der Sprunghöhe (h_{\max}) am deutlichsten aus. 29% der Variabilität der Sprunghöhe ($r^2=0,29$; $p<0,001$) ließen sich auf Basis des linearen Modelles allein mit dem zunehmenden Lebensalter erklären.

3.5.2 Alter und Sprungleistung

Zunächst soll auf die absoluten Sprungleistungsspitzen eingegangen werden. Dabei handelt es sich um die sogenannte totale maximale erreichte Leistung während der Absprungphase, hier abgekürzt als P tot max. Sie ist in Kilowatt (kW) angegeben. Bei der durchgeführten Korrelation nach Pearson mit dem Alter zeigte sich ein deutlicher negativer korrelativer Zusammenhang ($r = -0,60$). Entsprechend stellt sich eine deutliche lineare hochsignifikante ($p < 0,001$) Abnahme für die untersuchte Alterspanne dar. Auf eine tiefergreifende Ausführung einer linearen Regressionsanalyse sowie einer graphischen Darstellung wurde an dieser Stelle verzichtet, da sich das Ergebnis von der auswertungsrelevanteren, eng verwandten und nachfolgend ausgeführten Variable der gewichtsrelativierten Sprungleistungsmaxima (P tot max rel) nur unwesentlich unterscheidet und in diesem Kontext behandelt wird.

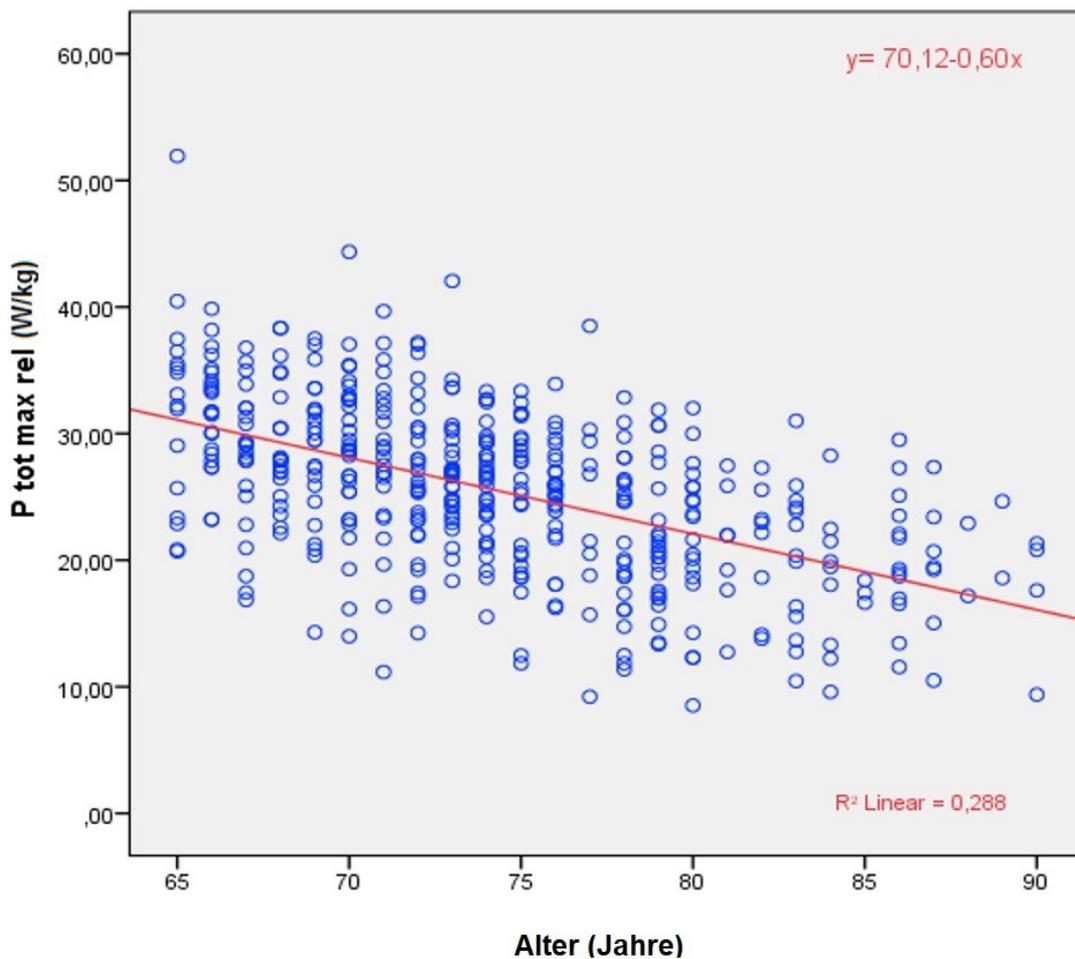


Abbildung 9: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der gewichtsadjustierten Sprungleistung (P tot max rel) in W/kg

○ Messpunkt — aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß

Für die besagte gewichtsadjustierte Variable $P_{tot\ max\ rel}$ ergab sich ebenfalls eine deutlich negative Pearsonkorrelation ($r = -0,54$; $p < 0,001$). Diese fiel geringfügig niedriger aus als die der absoluten Leistungsmaxima ($r = -0,60$; $p < 0,001$). Trotz alledem besteht auch nach Gewichtsadjustierung eine deutliche lineare Abnahme der maximal erzielten Sprungleistung mit dem Alter.

Betrachtet man dazu die graphische Darstellung der durchgeführten linearen Regressionsanalyse mit dem Alter auf der X-Achse und dem Sprungleistungmaximum auf der Y-Achse, gilt zu beachten, dass es sich bei den Werten um Watt pro Kilogramm Körpergewicht handelt.

Synchron zum bereits ausgeführten Vorgehen bei der h_{max} wurden auch hier auf Grundlage der sich aus der linearen Regressionsanalyse ergebenden linearen Funktion ($y = 70,12 - 0,60x$) Leistungswerte für das Initialalter der Untersuchten bei 65 ($y = 31,12\ W/kg$) und dem Endpunkt der Untersuchungsspanne bei 90 Jahren ($y = 16,12\ W/kg$) bestimmt. Die sich daraus ergebende Differenz belief sich auf $15,00\ W/kg$.

Folglich kam es über die untersuchte Altersspanne zu einem erheblichen Rückgang der maximalen Sprungleistung um $51,8\%$ und damit um mehr als die Hälfte. Wohlgermerkt war der Verlust nicht vom jungen Erwachsenenalter ausgehend zu beziffern, sondern ab dem 65. Lebensjahr. Somit entsprach dies einem jährlichen Rückgang von $1,93\%$ der PP_r zwischen dem 65. und 90. Lebensjahr. Absolut betrachtet lässt sich, auch anhand der negativen Steigung der Regressionsgeraden ($-0,60x$), ein jährlicher Rückgang der Sprungleistung um $0,60\ W/kg$ beobachten.

Mit dem Alter lassen sich im hiesigen linearen Modell zumindest fast 30% der Variabilität der gewichtsrelativierten Sprungleistungmaximuma ($r^2 = 0,29$; $p < 0,001$) mit dem Alter erklären.

3.5.3 Alter und Sprungkraft

Entsprechend der Trennung in absolute und eine körpergewichtsrelativierte Variable gilt selbiges auch für die erreichte Maximalkraft während der Absprunghase. Betrachtet man zunächst den Zusammenhang zwischen dem Alter und der absoluten Maximalkraft ($F_{\text{tot max}}$), zeigte sich ein leicht negativer, aber hochsignifikanter korrelativer Zusammenhang ($r = -0,27$; $p < 0,001$). Ähnlich zu den Ergebnissen bei der Sprungleistung bleibt dieser Zusammenhang auch für die gewichtsadjustierte Variable der Sprungkraft ($F_{\text{tot max rel}}$) bestehen. Auch bleibt er negativ, fällt aber mit ($r = -0,14$) deutlich schwächer aus. Trotz einer leichten Abnahme der Signifikanz ($p = 0,01$) befand er sich aber nach wie vor deutlich innerhalb des Signifikanzniveaus ($p < 0,05$). Somit ergab sich mit zunehmendem Alter eine leichte lineare Abnahme für die absolute Maximalkraft ($F_{\text{tot max}}$) sowie eine nur marginale Abnahme der relativen Maximalkraft ($F_{\text{tot max rel}}$).

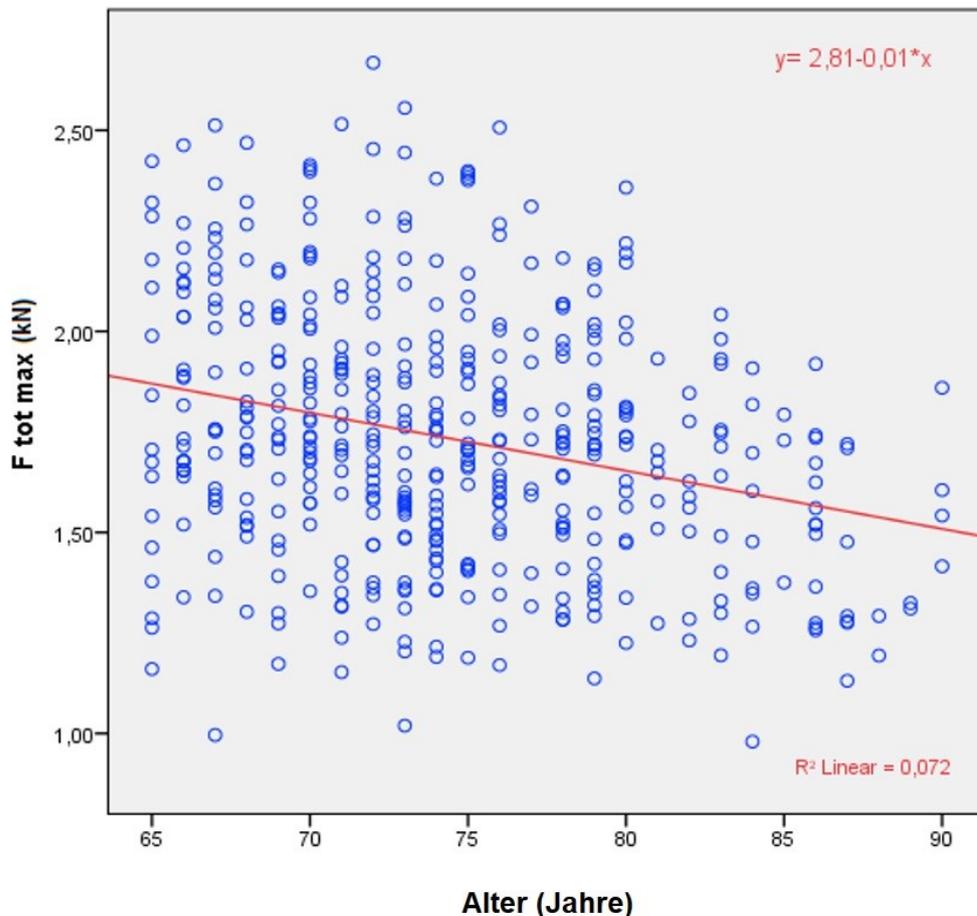


Abbildung 10: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der absoluten Maximalkraft ($F_{\text{tot max}}$) in kN,

○ Messpunkt — aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade $R^2 =$ Bestimmtheitsmaß

Zur Visualisierung des Zusammenhanges zwischen dem Alter und der absoluten Maximalkraft erfolgte die Darstellung in Form eines Streudiagrammes. In rot eingezeichnet wurde auch hier die sich aus der linearen Regressionsanalyse ergebende Regressionsgerade. Es sei bemerkt, dass es sich bei der Darstellung der Y-Achse in **Abbildung 10** um Angaben in Kilonewton handelt (kN) und bei der Abbildung der linearen Regression der relativen Maximalkraft mit dem Alter um Newton pro Kilogramm (N/Kg). Entsprechend dem wenig starken Korrelationskoeffizienten der absoluten Maximalkraft ($r = -0,27$) fiel auch das

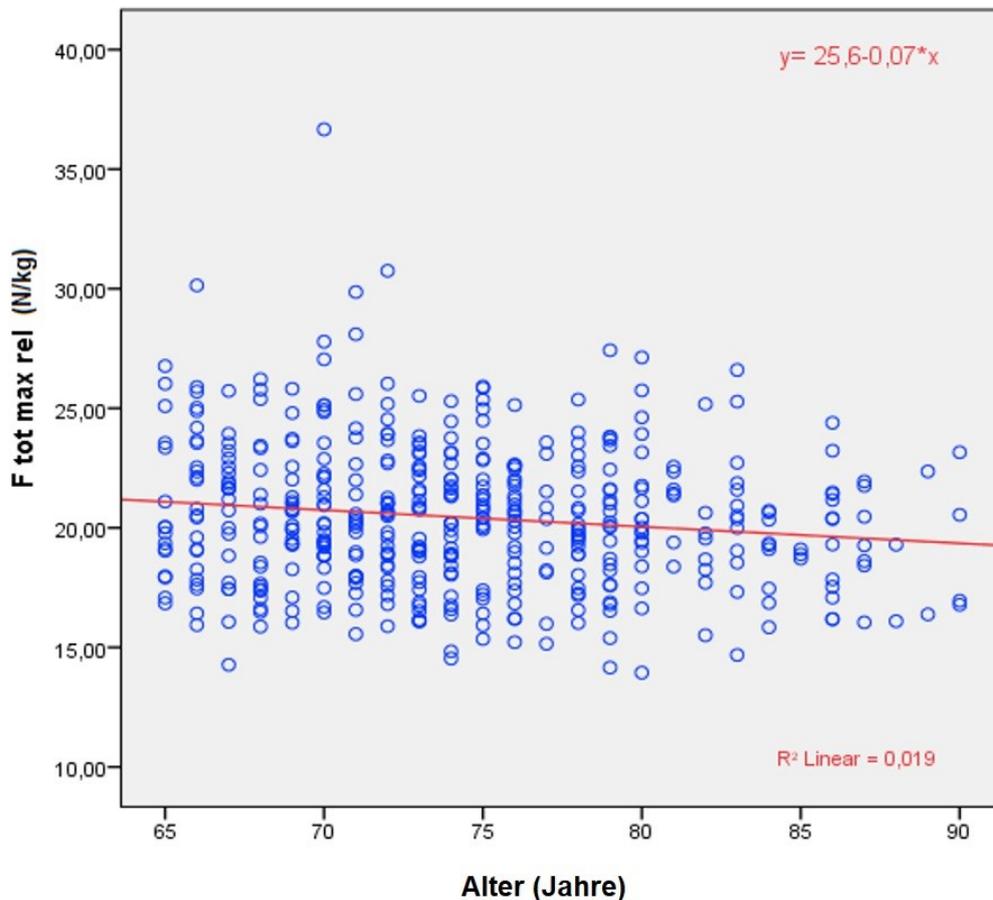


Abbildung 11: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden ($y = \text{entsprechende mathematische Funktion}$) zwischen Alter (Jahre) und der gewichtsadjustierten Maximalkraft ($F_{\text{tot max rel}}$) in N/kg

○ Messpunkt — aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade $R^2 = \text{Bestimmtheitsmaß}$

Bestimmtheitsmaß ($r^2 = 0,07$; $p < 0,001$) sehr gering aus. Dahingehend ließen sich hier lediglich nur 7% der Variabilität mit dem Alter allein erklären.

Bei der gewichtsrelativen Maximalkraft wurde auf Basis der durch die lineare Regressionsanalyse bestimmten Funktion für die Regressionsgerade ($y = 25,6 - 0,07x$) ebenso ein Initialwert für 65 Jahre ($y = 21,05 \text{ N/kg}$) sowie Endpunkt bei 90 Jahren ($y =$

19,30 N/kg) bestimmt. Daraus ergab sich unter der Annahme des linearen Modells eine absolute Differenz von 1,75 N/kg. Somit war der relative Rückgang über den besagten Zeitraum auf lediglich 8,31 % zu beziffern. Da der korrelative Zusammenhang zwischen dem Lebensalter und der gewichtsrelativen gegenüber der absoluten Maximalkraft ($r = -0,27$; $p < 0,001$) noch weniger deutlich ausfällt ($r = -0,14$), liegt auch hier das Bestimmtheitsmaß mit ($r^2 = 0,02$; $p = 0,01$) bei lediglich 2%. Festzustellen ist in Bezug auf die körperrgewichtsradijustierte Maximalkraft dennoch, dass es über die untersuchte Alterspanne, insbesondere verglichen zur PP_r , h_{max} und V_{max} im selben Zeitraum, zu einem kaum nennenswerten Rückgang kam.

3.5.4 Alter und Maximalgeschwindigkeit (V_{max})

Für die erreichte Maximalgeschwindigkeit während der Absprunghase ließ sich mit zunehmendem Alter eine deutliche Abnahme verzeichnen. Dies stellte sich u.a. anhand eines

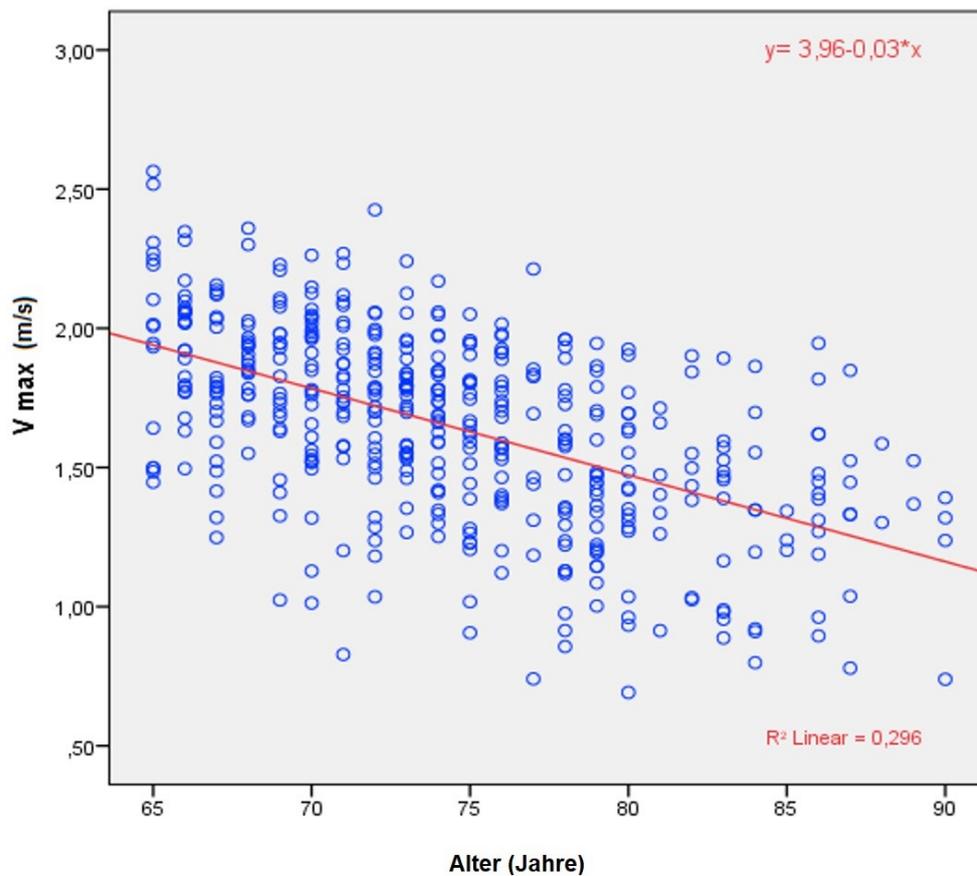


Abbildung 12: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden ($y = \text{entsprechende mathematische Funktion}$) zwischen Alter (Jahre) und der Maximalgeschwindigkeit (V_{max}) in m/s

○ Messpunkt — aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade $R^2 = \text{Bestimmtheitsmaß}$

hochsignifikanten negativen korrelativen Zusammenhanges mit dem Alter dar ($r = -0,54$; $p < 0,001$). Die Stärke des Zusammenhangs war damit identisch zur bereits ausgeführten Beziehung zwischen dem Alter und der gewichtsbezogenen Sprungleistung ($r = -0,54$; $p < 0,001$) sowie zur erzielten Sprunghöhe ($r = -0,54$; $p < 0,001$).

Die **Abbildung 12** zeigt das dazugehörige Streudiagramm, bei dem das Alter gegen die Maximalgeschwindigkeit aufgetragen wurde. In rot eingezeichnet findet sich auch hier die sich aus der durchgeführten linearen Regressionsanalyse ergebende Regressionsgerade. Quantifiziert wurden, nach bereits eingehend erläuterten Prinzip anhand der entsprechenden linearen Funktion ($y = 3,96 - 0,03x$), V_{\max} Werte für 65 Jahre (2,01 m/s) und 90 Jahre (1,26 m/s). Damit bemisst sich die Differenz der Geschwindigkeitsspitzen in diesem Zeitraum auf 0,75 m/s (37,31%). Damit stellt sich der relative Rückgang der V_{\max} über die Altersspanne (-37,31 %) nach der h_{\max} (-60,2 %) sowie der PP_r (-51,8 %) als einer der deutlichsten in Bezug auf die Sprunganalyse des Beidbeinsprunges dar.

Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse betrug 0,30 und lässt unter Annahme des obigen linearen Modells eine Vorhersage der Variabilität durch das Alter alleine von 30% zu ($p < 0,001$).

3.5.5 Alter und Ausholtiefe (h_{\min})

Betrachtet man nun die Tiefe der Ausholbewegung als Teil des countermovement jumps in Abhängigkeit zum Alter und wiederum zunächst in Form einer einfachen Korrelation, zeigte sich auch diese erneut hochsignifikant ($p < 0,001$) sowie negativ ($r = -0,32$). Damit lässt sich auch auf eine Abnahme der Ausholtiefe mit Zunahme des Alters schließen.

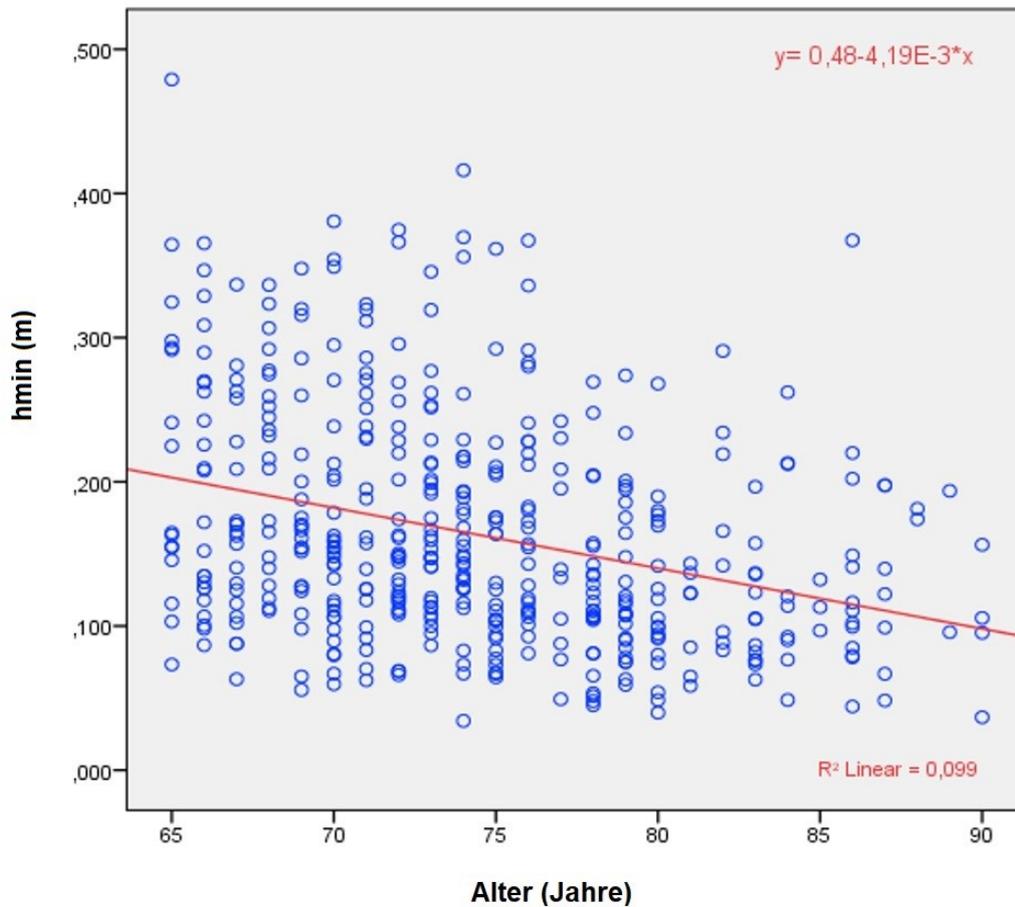


Abbildung 13: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der Ausholtiefe (h_{\min}) in Metern

○ Messpunkt — aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß

Auf Berechnungsgrundlage des zugrundeliegenden linearen Modelles ($y = 0,48 - 0,00419x$) ließen sich erneut ein Initialwert für 65 Jahre (0,21m) sowie ein Endwert bei 90 Jahren (0,10 m) bestimmen. Setzt man diese beiden die Alterspanne des untersuchten Kollektivs eingrenzenden Werte in Relation zueinander, lässt sich von 65 bis 90 Jahren eine Minderung der Ausholbewegung um 11 cm beobachten. Dies entsprach prozentual einer Reduktion um 50,45 % in 25 Lebensjahren. Darüber hinaus ist dem einfachen Streudiagramm

zu entnehmen, dass es im Bereich der jüngeren Jahrgänge von 65 bis ca. 78 Jahren zu einer breiteren Streuung der Ausholtiefe kam, als in den darüberliegenden Jahrgängen. Dabei scheint der Eindruck am wahrscheinlichsten erweckt durch eine Vielzahl von Probanden, welche eine Ausholtiefe von mehr als 25 cm aufwiesen.

Allerdings galt auch hier für das zugrundeliegende einfache lineare Modell zu berücksichtigen, dass lediglich 10% der Variabilität der Ausholtiefe alleine mit dem Alter zu erklären waren ($r^2 = 0,10$; $p < 0,001$).

3.5.6 Alter und der Esslinger Fitness Index (EFI)

Hier sei zunächst nochmals einleitend darauf verwiesen, dass es sich bei den ermittelten EFI Werten um die prozentuale Angabe der individuell erzielten gewichtsbezogenen maximalen Sprungleistung (PP_r) in Relation zu einem altersreferenzierten aufgestellten Normwert handelt. Dieser wurde als Esslinger Fitness Index benannt und basiert u.a. auf den Daten der Publikation von Runge et al. [112]. Für weiterführende diesbezügliche Details wird an dem entsprechenden Abschnitt in Material und Methoden verwiesen.

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen dem Probandenalter unseres Kollektives und den erzielten EFI-Werten in Form einer Pearson-Korrelation, stellt sich auch hier ein signifikanter negativer Korrelationskoeffizient dar ($r = -0,11$; $p < 0,05$). Dieser ist, wenn auch signifikant, allerdings als schwach zu werten. Tendenziell deutete sich aber mit zunehmendem Alter eine Abnahme der erzielten EFI Scores ab.

Im Streudiagramm des bereits altersgenormten EFIs gegen das Alter der hiesig untersuchten Kohorte auf der X-Achse aufgetragen, ergaben sich folgende Beobachtungen: In Zusammenschau und Wertung der in rot dargestellten linearen Regressionsgeraden in Kombination mit den Ergebnissen der Regressionsanalyse mit einer negativen Steigung von -0,34 ist auch hier die Tendenz hin zu einer leichten Abnahme der erzielten EFI Werte bei Zunahme des Alters zu beobachten. Die Differenz zwischen den 65 (82,90 EFI%) und 90-jährigen (74,4 EFI%) liegt damit absolut bei 8,5 EFI%. Dies entsprach einem relativen Rückgang von 10,25%. Damit ließe sich auch anhand des linearen Modelles auf eine geringfügig zunehmende Diskrepanz zwischen den altersnormierten (EFI) und den Würzburger Kollektiv erzielten PP_r -Werten in zunehmendem Alter schließen. Folglich war zu erkennen: Je älter die Probanden waren, desto weiter wich somit auch die erzielte Sprungleistung (PP_r) vom altersnormierten Mittelwert des Referenzkollektives nach unten ab, welcher in Form des EFI seinen Ausdruck findet.

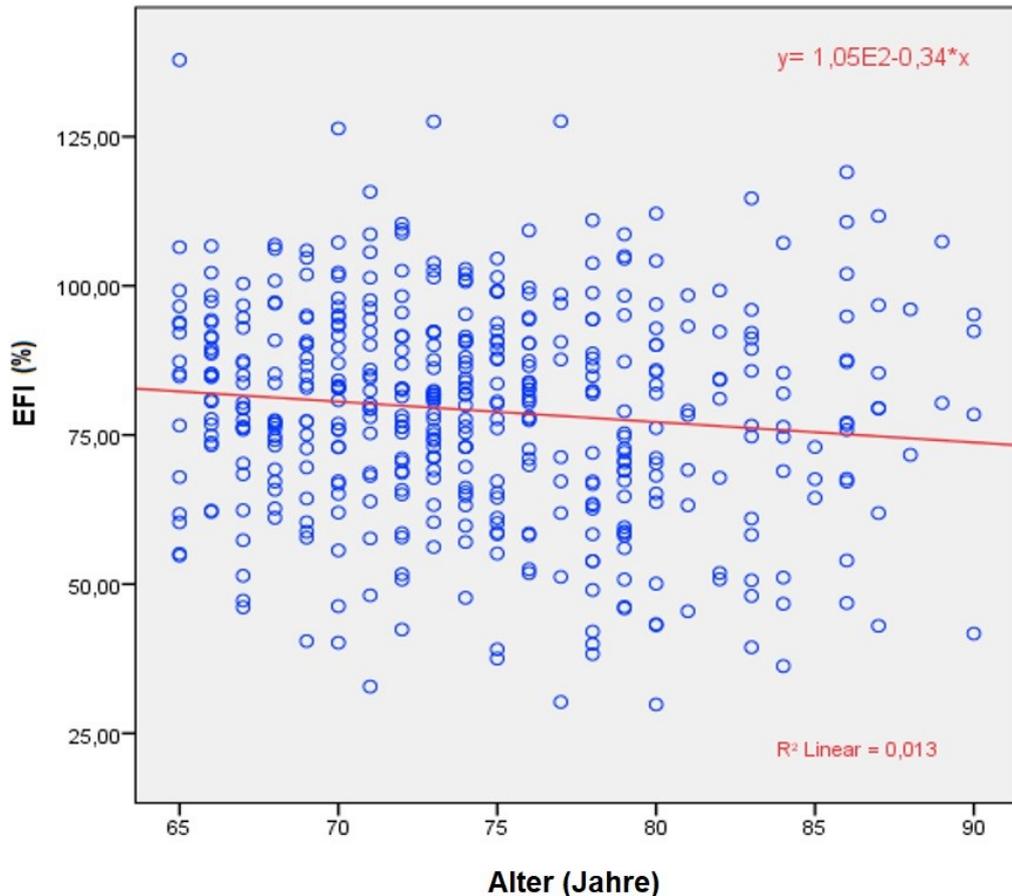


Abbildung 14: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und dem Esslinger Fitness Index (EFI) in %

○ Messpunkt — aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß

Darüber hinaus ist deutlich zu erkennen, dass durchaus einige der Probanden PP_r -Werte aufweisen konnten, welche den Referenzmittelwert des EFIs und damit einen EFI Score von 100% erzielten. Einige sprangen in ihrem Alter in Bezug auf das Referenzkollektiv des EFI auch „überdurchschnittlich“, was sich in einem EFI % Score von mehr als 100% widerspiegelte. Der mit Abstand größte Teil der hiesig untersuchten Probanden konnte aber nur einen EFI von weit weniger als 100% verzeichnen. Damit war die Sprungleistung bei diesen als „unterdurchschnittlich“ zu bezeichnen.

Es sei bemerkt, dass sich das Bestimmtheitsmaß (r^2), wenn gleich auch signifikant, in diesem Modell auf lediglich 0,01 beschränkte. Damit ließe sich mit der linearen Regressionsgeraden nur 1% der Variabilität mit dem Alter alleine bestimmen ($p=0,02$).

3.6 Sport im Alter unter dem Aspekt der Sprunganalyse

3.6.1 Sport regelmäßig

Anhand der EDV-gestützten Befragung der Probanden zu ihrer regelmäßigen physischen Aktivität, insbesondere in Bezug auf regelmäßige sportliche Betätigung wurden die in **Tabelle 11** dargestellten Ergebnisse erhoben. Von den 457 Probanden, welche im weiteren Verlauf der Untersuchung valide und verwertbare Sprünge produzierten, lag von 404 auch eine Antwort vor. Damit fehlten diesbezüglich von 53 Teilnehmern Antworten und Werte (11,6%). Von den restlichen gültigen beantwortete die knappe Mehrheit mit 51,2 % die Frage mit ja, die verbliebenen 48,8% mit nein. Damit lässt sich das Kollektiv in annähernd numerisch gleich große Gruppen teilen. Zur grafischen Veranschaulichung dient das Balkendiagramm in **Abbildung 15**.

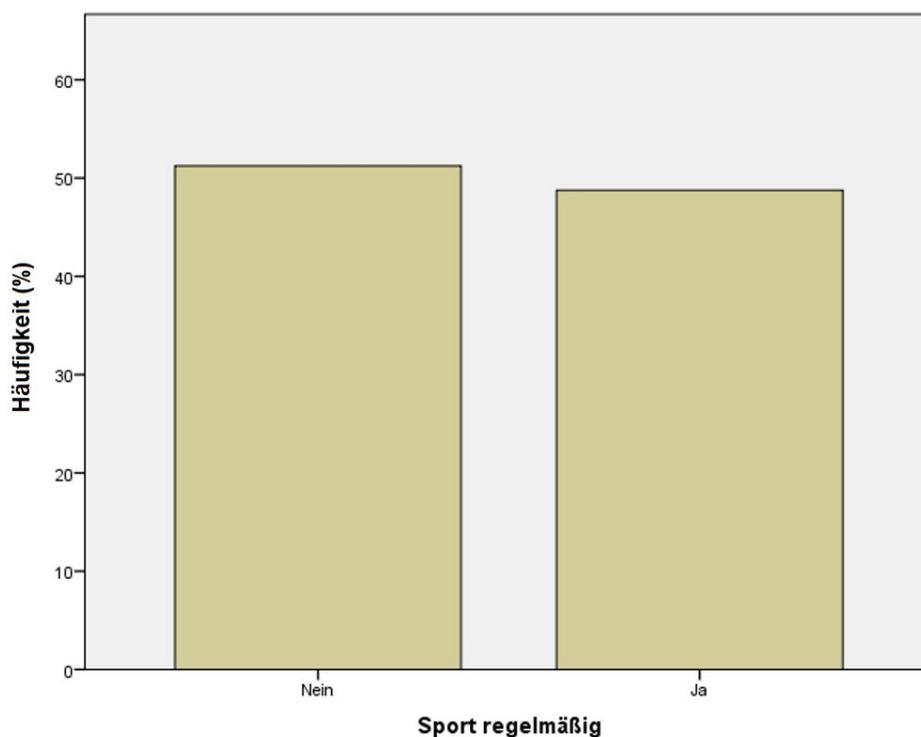


Abbildung 15: Balkendiagramm der Häufigkeitsverteilung bzgl. regelmäßiger sportlicher Aktivität

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültig	Nein	207	45,3	51,2
	Ja	197	43,1	48,8
	Gesamt	404	88,4	100,0
Fehlend	System	53	11,6	
Gesamt		457	100,0	

Tabelle 11: Tabellarische Übersicht der Häufigkeitsverteilung bzgl. regelmäßiger sportlicher Aktivität

Die farbige **Abbildung 16** stellt die Verhältnisse der Verteilung der Antwort auf die Frage nach der regelmäßigen sportlichen Betätigung innerhalb der entsprechenden Altersdekaden dar. So zeigte sich in der 7. Dekade noch eine deutliche Mehrheit der in grün dargestellten

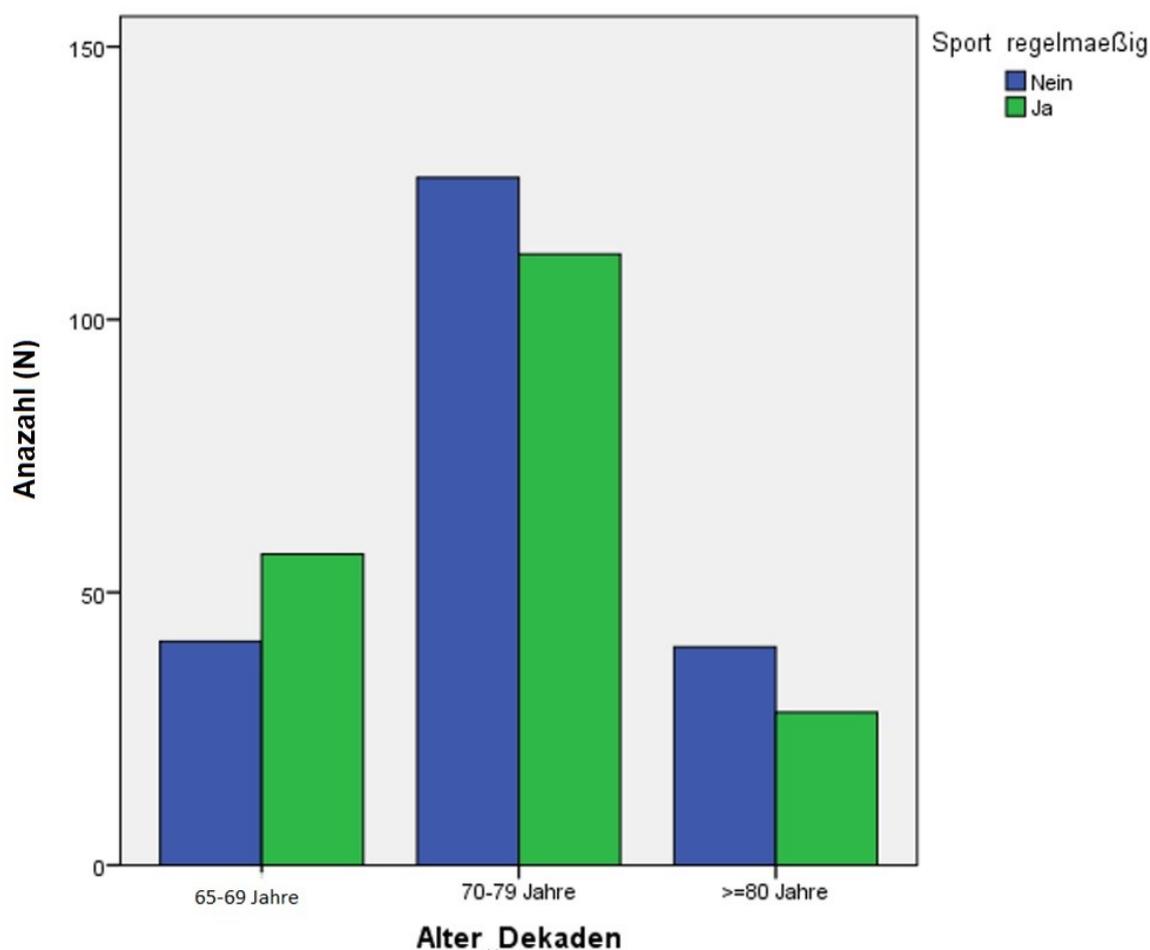


Abbildung 16: Balkendiagramm der Häufigkeitsverteilung innerhalb der Altersdekaden bzgl. regelmäßiger sportlicher Aktivität. N= Anzahl der Probanden

regelmäßig Aktiven. In der 8. Dekade allerdings kommt es bereits zur Umkehr der Mehrheitsverhältnisse. Hier beantwortete der überwiegende Teil der Probanden die Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität mit „Nein“. Selbiges galt auch für die 9. Dekade. Es kam allerdings zu keinen gravierenden Veränderungen der Mehrheitsverhältnisse in Bezug auf regelmäßige sportliche Aktivität. Zwischen den entsprechenden Altersdekaden und der Beantwortung der Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität konnte statistisch gesehen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p=0,070$).

			Sport regelmäßig		Gesamt
			Nein	Ja	
Alter Dekaden	60-69 Jahre	Anzahl	41	57	98
		% innerhalb von Alter Dekaden	41,8%	58,2%	100,0%
	70-79 Jahre	Anzahl	126	112	238
		% innerhalb von Alter Dekaden	52,9%	47,1%	100,0%
	>=80 Jahre	Anzahl	40	28	68
		% innerhalb von Alter Dekaden	58,8%	41,2%	100,0%
Gesamt		Anzahl	207	197	404
		% innerhalb von Alter Dekaden	51,2%	48,8%	100,0%

Tabelle 12: Tabellarische Übersicht (Kreuztabelle) der Häufigkeitsverteilung bzgl. regelmäßiger sportlicher Aktivität innerhalb der Altersdekaden

3.6.2 Die Sprunganalyse in Abhängigkeit von Sport

Anhand der Differenzierung zwischen regelmäßig sportlich aktiven vs. inaktiven Probanden wurden die Gruppenmittelwerte in Bezug auf die Kernvariablen des JM untersucht. Eine Gesamtübersicht über die Mittelwerte und deren Signifikanzniveau, welches mithilfe des T-Tests ermittelt wurde, ist in **Tabelle 13** dargestellt. Die Grundvoraussetzung der Normalverteilung für das parametrische Testverfahren des T-Tests wurde bereits dargelegt oder vorab intern geprüft. Nachfolgend soll auf die in **Tabelle 13** dargestellten Unterschiede zwischen den Gruppierungen näher eingegangen werden.

	Sport	N	Mittelwert	SD	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz
Alter	Nein	207	74,94	5,86	3,42	402,00	0,00	1,92
	Ja	197	73,02	5,43				
BMI	Nein	207	28,83	4,45	3,56	380,43	0,00	1,39
	Ja	197	27,45	3,32				
SM	Nein	190	30,89	4,09	-0,71	363,61	0,48	-0,28
	Ja	184	31,17	3,40				
SMI	Nein	190	10,27	1,17	1,00	357,08	0,32	0,11
	Ja	184	10,16	0,92				
h max (E pot)	Nein	207	0,20	0,07	-4,56	402,00	0,00	-0,03
	Ja	197	0,23	0,07				
P tot max rel	Nein	207	24,06	6,43	-5,06	402,00	0,00	-3,29
	Ja	197	27,35	6,63				
V max	Nein	207	1,58	0,33	-5,28	402,00	0,00	-0,17
	Ja	197	1,75	0,32				
F tot max rel	Nein	207	20,20	2,80	-1,39	402,00	0,16	-0,42
	Ja	197	20,62	3,20				
EFI	Nein	207	75,50	17,32	-4,24	402,00	0,00	-7,40
	Ja	197	82,90	17,74				

Tabelle 13: Tabellarische Übersicht relevanter anthropometrischer Mittelwerte und Mittelwerte der Kernparameter der Sprunganalyse in Bezug auf die regelmäßige sportliche Aktivität (Sport Ja/Nein) sowie der Ergebnisse der zugehörigen T-Tests. MW= Gruppenmittelwert; SD= Standardabweichung des MW; T= Testprüfgröße des T-Tests; df= Anzahl der Freiheitsgrade, SM= Skelettmuskelmasse (kg), SMI= Skelettmuskelmasseindex (kg/m²), h_{max}= Maximale Sprunghöhe (m), P tot max= absolute Maximalleistung (kW), V_{max}= Maximalgeschwindigkeit (m/s), F tot max= absolute Maximalkraft (kN), EFI= Esslinger Fitness Index

In Bezug auf die anthropometrischen Daten ergab sich hier lediglich in Bezug auf das Alter und den BMI eine als hochsignifikant einzustufende Differenz der Mittelwerte zwischen den Gruppierungen. Allerdings betrug der Unterschied beim BMI lediglich 1,4 Indexpunkte und beim Alter weniger als 2 Jahre. Die geringeren Werte waren sowohl beim Alter als auch BMI auf Seiten der sportlich Aktiven zu verzeichnen, die Differenzen waren aber gering. Somit war anzunehmen, dass ein niedriger BMI und ein geringeres Alter bei den regelmäßig Aktiven nicht singulär und per se zu besseren Ergebnissen bei den Kernvariablen der

Sprunganalyse führen würden. Aus den vorherigen Ergebnissen ergab sich jedoch bereits, dass ein geringes Alter und niedriger BMI mit deutlich besseren Werten in den Kernparametern der Sprunganalyse, allen voran der PP_r assoziiert waren (s. dazu auch 3.4.2.1 BMI sowie 3.5 Alter unter dem Aspekt der Sprunganalyse). So wird im nachfolgenden Abschnitt 3.6.3 genauer auf die Zusammenhänge eingegangen und der Versuch unternommen, die tatsächlich mit der regelmäßigen sportlichen Aktivität in Verbindung stehenden Effekte zu quantifizieren.

Bezüglich der deskriptiven Beschreibung der beiden Kohorten war sowohl der Gruppenmittelwert der Aktiven mit einem BMI von $27,45 \text{ kg/m}^2$ ($SD \pm 3,32 \text{ kg/m}^2$) als auch Inaktiven mit einem BMI von $28,83 \text{ kg/m}^2$ ($SD \pm 4,45 \text{ kg/m}^2$) im Bereich der Präadipositas gelegen. Weder für die absolute (SM) noch die relative Muskelmasse (SMI) ergaben sich signifikante Mittelwertsdifferenzen, d.h. sportlich Aktive unterschieden sich weder durch eine signifikant höhere absolute Muskelmasse noch durch einen besseren Muskelmasseindex signifikant von den Inaktiven.

In Bezug auf die gewichtsrelative Sprungleistung (PP_r) zwischen den Aktiven (27,35 N/kg) und den Inaktiven (24,06) ergab sich eine Differenz von 3,29 N/kg. Anhand des durchgeführten T-tests zeigte sich der Unterschied zwischen den beiden Gruppenmittelwerten hochsignifikant ($T= -5,06$; $p<0,001$).

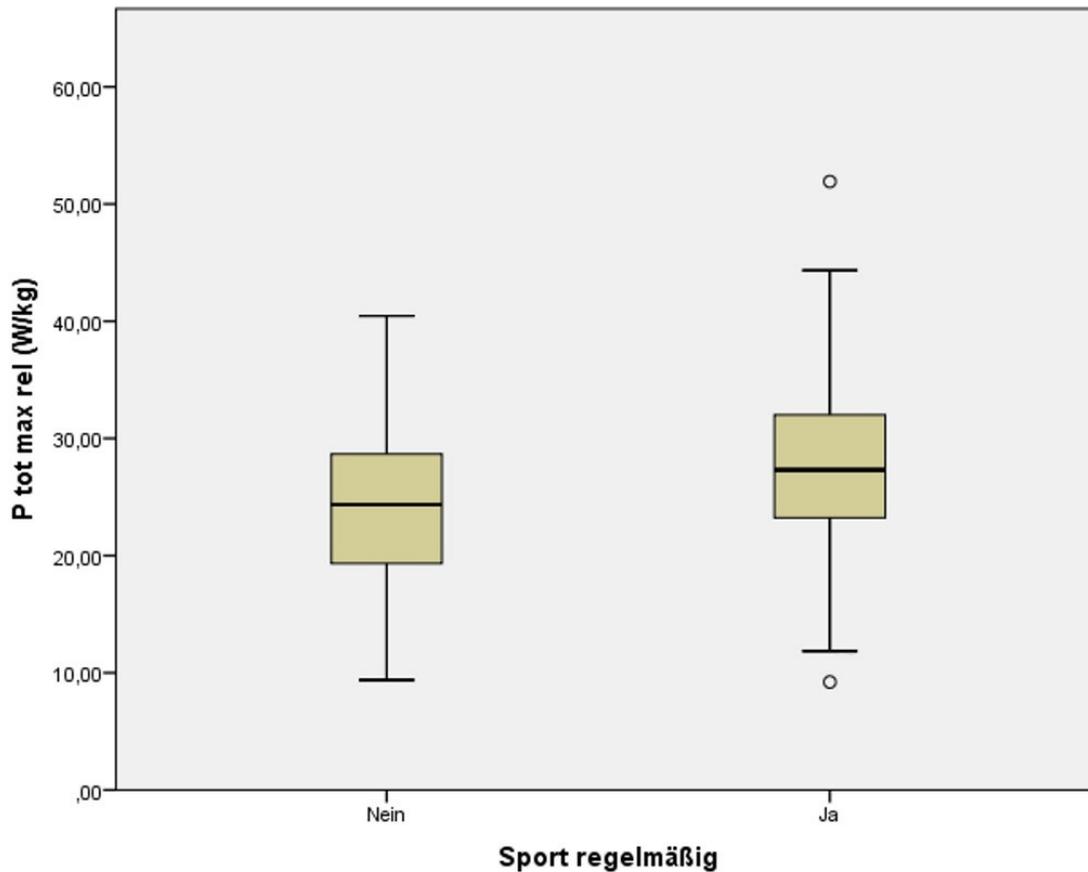


Abbildung 17: Box- und Whisker - Blot der erzielten gewichtsadjustierten Maximalleistung beim s2lj in Abhängigkeit der regelmäßigen sportlichen Aktivität. Die Box markiert dabei das obere und untere Quartil (25% über bzw. unter dem Wert des Median), wobei der Querbalken in der Box den Median markiert und die darüber und darunter liegenden horizontalen Linien das Maximum bzw. Minimum, exklusive von Ausreißern, darstellen. Die Ausreißer sind durch Kreise repräsentiert, wobei sich obere Ausreißer durch Werte $>3/2$ der oberen Quartilswertes und untere durch Werte $<3/2$ des unteren Quartilswertes definieren.

Auch für die weiteren eng mit der PP_r im Zusammenhang stehenden Kernvariablen der Sprunganalyse zeigten sich für beide Gruppen überwiegend signifikante Unterschiede (s. **Tabelle 13**). Ausgenommen ist hier aber die körperrgewichtsbezogene Maximalkraft ($F_{tot\ max\ rel}$), bei der keine signifikanten Unterschiede ($T= -1,40$; $p=0,16$) zwischen den Gruppen ermittelt werden konnten. Darüber hinaus war eine hochsignifikante Mittelwertdifferenz der EFI Werte von 7,4 EFI% Punkten (9,82%) ($T= -4,24$; $p<0,001$) sowie der erzielten V_{max} von 0,17 m/s ($T= -5,28$; $p<0,001$) erwähnenswert. So erzielten die regelmäßig Sporttreibenden

gegenüber den Inaktiven sowohl eine um 15% größere Sprunghöhe, 14% höhere PP_r , 11% höhere V_{max} als auch einen um 10% höheren EFI Score bzw. 7,4 EFI% Punkte. Damit fiel die Differenz, relativ gesehen, nach der h_{max} für die PP_r zugunsten der Sporttreibenden am deutlichsten aus.

Darüber hinaus wurden die erzielten Altersmittelwerte auf signifikante Unterschiede nach Altersdekaden untersucht. Dabei konnte zwar innerhalb der 7. Dekade keine signifikante Differenz zwischen den regelmäßig Sport Ausübenden und den Inaktiven aufgedeckt werden. ($p= 0,15$). Für die 8. und 9. Dekade unterschieden sich die Mittelwerte jedoch signifikant anhand ihrer Einteilung der sportlichen Aktivität ($p < 0,001$; $p=0,02$).

Alter	Sport regelmäßig	Anzahl	Mittelwert	Mittlere Differenz	Signifikanz
65-69 Jahre	Ja	57	30,63	-1,76	0,15
	Nein	41	28,87		
70-79 Jahre	Ja	112	27,02	-2,91	0
	Nein	126	24,11		
80-89 Jahre	Ja	28	21,96	-3	0,02
	Nein	40	18,96		

Tabelle 14: Tabellarische Übersicht der erzielten durchschnittlichen gewichtsrelativierten Sprungleistung (PP_r in W/kg) innerhalb der jeweiligen Altersdekaden zwischen regelmäßig Aktiven und Inaktiven (Sport regelmäßig Ja/Nein) und den entsprechenden Ergebnissen der durchgeführten T-Tests.

Damit zeigte sich insbesondere in den hohen Altersdekaden (8. und 9. Dekade) eine deutliche (2,91 W/kg bzw. 3,00 W/kg) und signifikant bessere Sprungleistung (PP_r) bei Probanden, welche, anders als ihre Altersgenossen, noch regelmäßig sportlich aktiv waren. Damit handelt es sich in der betreffenden Dekade um eine zu detektierende Mehrleistung von 15,6 % bei regelmäßiger sportlicher Aktivität. Nachfolgende Grafik (**Abbildung 18**) veranschaulicht die beschriebenen Differenzen innerhalb der Altersdekaden. Die aus **Tabelle 14** zu entnehmenden

Mittelwerte für die PP_r wurden entsprechend ihrem 95% Konfidenzintervall in Form der Fehlerbalken dargestellt.

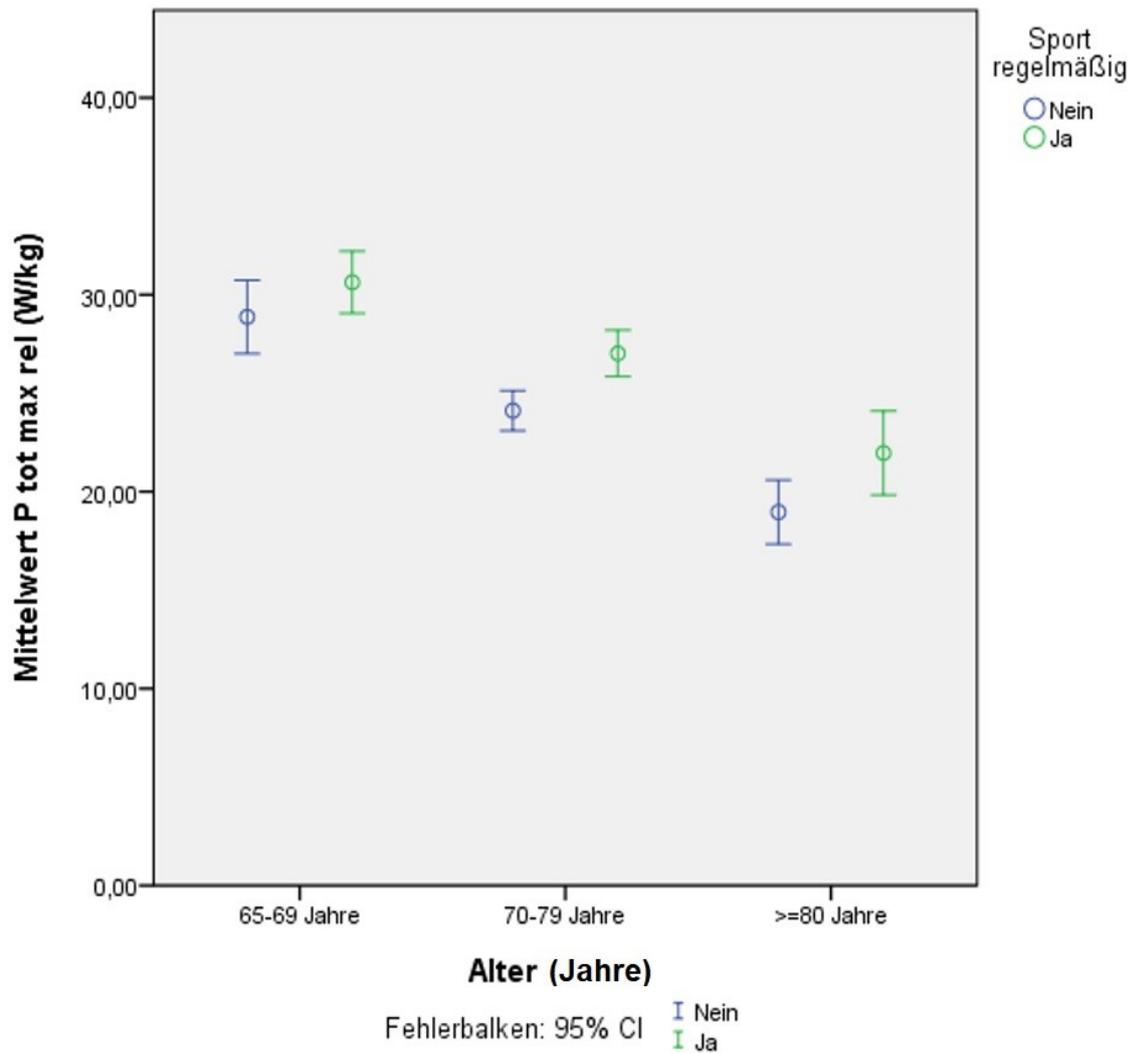


Abbildung 18: Grafische Darstellung der durchschnittlich erzielten gewichtsrelativen Sprungleistung (PP_r) der entsprechenden Altersdekaden (X-Achse), entsprechend ihrer sportlichen Aktivität in grün (Sport Ja) und blau (Sport Nein) dargestellt. Darüber hinaus finden sich die entsprechenden 95%-Konfidenzintervalle (CI) der Mittelwerte je in grün und blau als Whisker eingezeichnet, wobei die Kreise selbst die entsprechenden Gruppenmittelwerte der PP_r in W/kg markieren.

3.6.3 Sprunganalyse in Abhängigkeit von Sport, Alter und BMI

Um zu überprüfen, inwieweit die beobachteten signifikanten Unterschiede der Mittelwerte auf ein Bias durch die Einflussvariablen Alter und BMI auf die Sprungleistung (PP_T) zurückzuführen sind, wurde eine multiple lineare Regression durchgeführt. Nach Adjustierung des Modells für Alter und BMI zeigte sich für die kategoriale Variable Sport regelmäßig (1=ja, 0=nein) ein immer noch signifikanter standardisierter positiver Regressionskoeffizient von 0,11 ($p=0,01$) (s. oberer Abschnitt **Tabelle 15**).

Führte man die besagte multiple Regressionsanalyse im schrittweisen Verfahren durch, betrug der zusätzliche Anteil an Varianz der durch die Variable „Sport regelmäßig“ anhand des linearen Modelles zusätzlich aufgeklärt werden konnte, rund 1%. Die restlichen 37,5% der insgesamt 38,5% mit diesem Modell maximal zu erklärenden Varianz der PP_T entfielen damit auf die bereits vorausgehend hinzugefügten unabhängigen Prädiktoren Alter und BMI.

Koeffizienten^a

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.	95,0% Konfidenzintervalle für B	
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta			Untergrenze	Obergrenze
1	(Konstante)	72,233	3,672		19,671	,000	65,014	79,452
	Alter	-,629	,049	-,536	-12,721	,000	-,727	-,532
2	(Konstante)	88,005	4,004		21,977	,000	80,133	95,878
	Alter	-,649	,046	-,553	-14,007	,000	-,740	-,558
	BMI	-,508	,066	-,302	-7,657	,000	-,639	-,378
3	(Konstante)	84,750	4,165		20,350	,000	76,562	92,937
	Alter	-,627	,047	-,534	-13,403	,000	-,719	-,535
	BMI	-,476	,067	-,283	-7,091	,000	-,607	-,344
	Sport regelmäßig	1,423	,542	,106	2,623	,009	,356	2,489

a. Abhängige Variable: P tot max rel

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Statistikwerte ändern				
					Änderung in R-Quadrat	Änderung in F	df1	df2	Sig. Änderung in F
1	,536 ^a	,287	,285	5,68595	,287	161,812	1	402	,000
2	,615 ^b	,378	,375	5,31752	,091	58,636	1	401	,000
3	,623 ^c	,388	,384	5,27897	,011	6,878	1	400	,009

a. Einflussvariablen : (Konstante), Alter

b. Einflussvariablen : (Konstante), Alter, BMI

c. Einflussvariablen : (Konstante), Alter, BMI, Sport regelmäßig

Tabelle 15 Tabellarische Übersicht der sich aus der multiplen linearen Regression ergebenden Koeffizienten im oberen Abschnitt, im unteren Teil im schrittweisen Verfahren. BMI= Body Mass Index (kg/m^2), P tot max rel= relative Maximalleistung (W/kg).

Bei der multiplen linearen Regression mit nur dem Alter und der dichotomen Variable „Sport regelmäßig“ in Bezug auf die erzielte Maximalsprungleistung und damit ohne Berücksichtigung des BMI erhöhte sich die auf die Variable „Sport regelmäßig“ entfallende Varianz auf zumindest 2,5% ($r^2 = 0,025$ $p < 0,001$) (Tabelle nicht dargestellt).

3.6.4 Altersverlauf der Sprungleistung in Abhängigkeit von Sport

Zusätzlich zu den erfolgten Analysen der Einflussvariable „Sport“ mit Berücksichtigung von sowohl Alter als auch BMI im vorausgehenden Abschnitt erfolgte hier die Analyse des Sprungleistungsverlaufs über die Altersspanne, ohne Berücksichtigung des BMI. Dabei soll der Zusammenhang in Form der grafischen Darstellung der linearen Regressionsgeraden visualisiert und nachvollzogen werden. (s. **Abbildung 19**) Die Geraden wurden aus den beiden Subgruppierungen nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität mithilfe eines linearen Modelles bestimmt. Beide linearen Modelle stellten sich als hochsignifikant heraus. In der Gruppe der nicht regelmäßig Aktiven konnte mithilfe des Modells ein größerer Anteil der

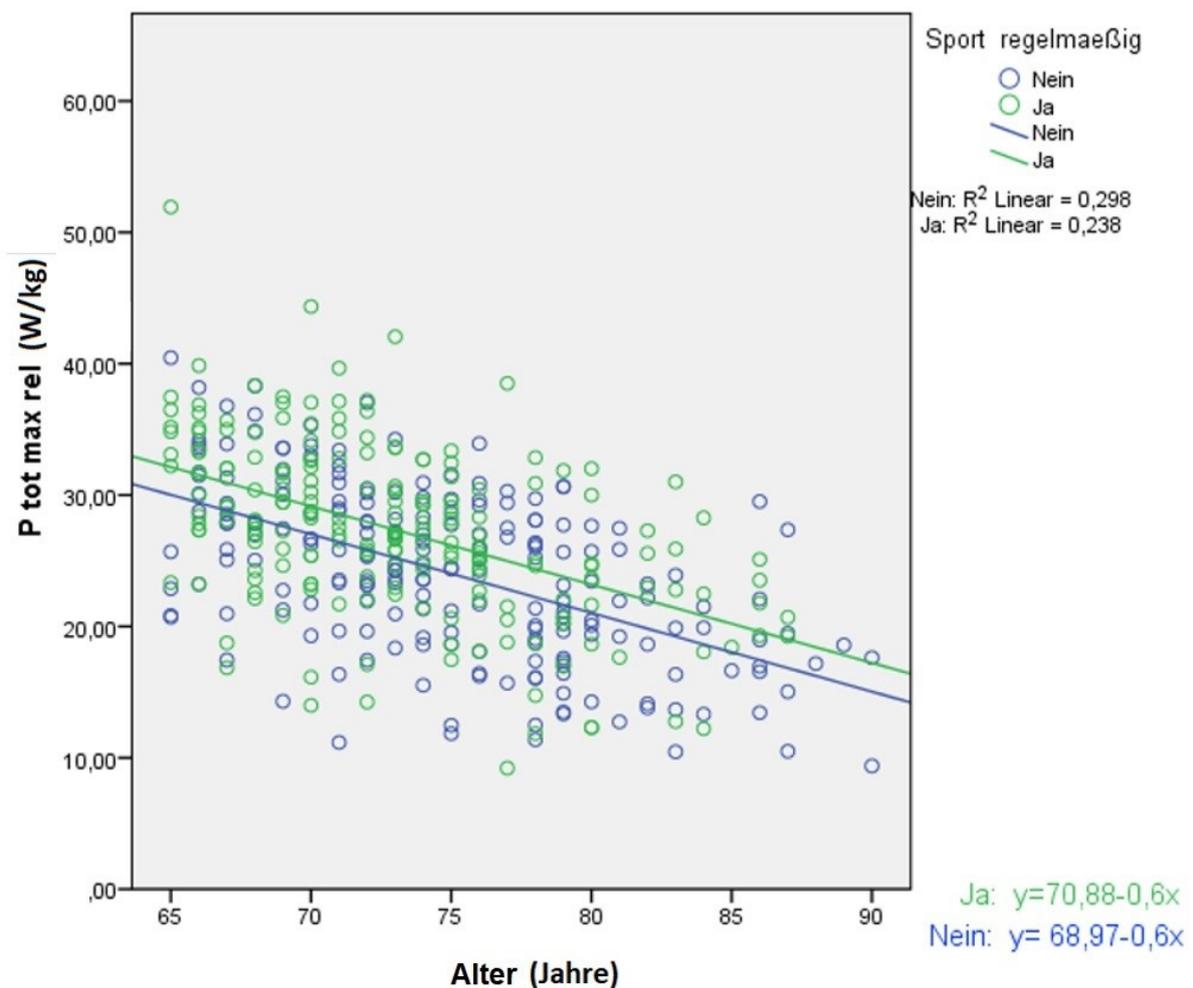


Abbildung 19: Sprungleistung in Abhängigkeit von Alter und Sport Auf der X-Achse findet sich das Alter in Jahren, auf der Y-Achse die Sprungleistung in Watt pro Kilogramm Körpergewicht. Die grünen Messpunkte markieren die Sprungleistung der regelmäßig sportlich Aktiven und die blauen die der nicht Aktiven. Die entsprechenden, sich aus den Messungen ergebenden Regressionsgeraden sind in gleicher farblicher Gestaltung eingezeichnet.

Sprungleistung ($r^2=0,30$) im Alter erklärt werden als bei den Aktiven ($r^2= 0,24$). Die Steigung der beiden Geraden war mit 0,60 identisch zueinander. Entsprechend war in beiden Gruppen von einem jährlichen Leistungsverlust von 0,60 W/kg auszugehen sowie von einem parallelen Verlauf der beiden Regressionsgeraden zueinander.

Somit konnte über die untersuchte Alterspanne (65-90 Jahre) hinweg in Zusammenhang mit Sport keine Veränderung der Progredienz des Sprungleistungsverlustes (PP_r) beobachtet werden. Dieser stellte sich unabhängig von der Einteilung nach der sportlichen Aktivität konstant und gleichwertig abnehmend dar. Allerdings lag die Gerade der sportlich Aktiven, in grün gezeichnet, erwartungsgemäß oberhalb der der Inaktiven, in blau gezeichnet. Die Differenz, gemessen an den Regressionskonstanten, war mit 1,9 W/kg zu beziffern. Entsprechend ist erkennbar, dass nach Adjustierung bzw. Berücksichtigung des Alters, darüber hinaus von den sportlich aktiven Probanden absolut gesehen, eine höhere PP_r erzielt wurde. Im Mittel konnte somit jedes Kilogramm Körpergewicht eines regelmäßig sportlich Aktiven Probanden folglich 1,9 W mehr Leistung während der Absprunghase generieren als jenes eines sportlich inaktiven Probanden gleichen Alters. Im Alter von 65 Jahren, in dem beide Gruppen noch einen hohe mittlere PP_r aufweisen konnten, lag die Sprungleistung der sportlich Aktiven relativ gesehen somit nur rund 6 % über der der Inaktiven. Im Alter von 90 Jahren hingegen zeigte sich in beiden Gruppen eine deutlich verminderte PP_r gegenüber den 65-Jährigen. Die absolute Differenz von 1,9 W/kg zwischen den Gruppen jedoch blieb den parallel zueinander verlaufenden Regressionsgeraden nach gleich. Relativ betrachtet, lag die Sprungleistung der Aktiven damit konstant über die gesamte untersuchte Altersspanne rund 13% über der der Inaktiven.

3.7 Sarkopenie nach der EWGSOP unter dem Aspekt der Sprunganalyse

3.7.1 Sarkopenie nach der EWGSOP

Anhand der zusätzlich erhobenen Daten bzgl. gait speed, SMI und Handkraft wurde eine Einteilung entsprechend der EWGSOP [5] durchgeführt. Anhand der vorgegebenen Cut-off-Werte und dem Flussdiagramm bzw. Algorithmus wurde das Kollektiv in Sarkopene und nicht Sarkopene gruppiert.

Innerhalb der EWGSOP Definition stehen in Bezug auf den SMI zwei verschiedene Cut-off-Werte für den im Algorithmus beinhalteten SMI zur Wahl. Dahingehend wurde von den beiden zur Option stehenden Cut-off-Werten mit 10,75 kg/m² der höhere von beiden verwendet. Dieser schließt laut Janssen et al. auch diejenigen ein, welche entsprechend ihren SMIs in der NHANES Studie als moderat sarkopen bezeichnet wurden. Zudem zeigte sich bei Verwendung des geringeren Cut-offs von 8,5 kg/m² und nachfolgender Anwendung des Algorithmus, dass sich lediglich 2 Probanden in der Gruppe der damit als sarkopen zu bezeichnenden wiedergefunden hätten. Entsprechend der soeben ausgeführten hiesigen Anwendungsweise ergaben sich folgende Gruppenkonstellationen:

Von den 457 im Kollektiv beschriebenen Probanden konnte von 416 eine Einteilung nach EWGSOP Kriterien vorgenommen werden, was einem prozentualen Anteil von 91% des Gesamtkollektives (N= 457) entspricht. Bei den 41 nicht berücksichtigten Probanden war aufgrund vereinzelt fehlender Werte in den für die Klassifizierung nötigen Variablen keine Einteilung möglich.

Insgesamt 96 der 416 Probanden waren anhand der EWGSOP Kriterien als sarkopen zu bezeichnen. Dies entsprach einem Anteil von 23,1 %. Entsprechend waren 320 Probanden und damit 76,9% als nicht sarkopen zu werten. Zur grafischen Veranschaulichung und Übersicht dienen nachfolgende Tabelle und Abbildung. Lediglich drei der 96 Sarkopenen zeichneten sich dabei sowohl durch eine verminderte Muskelmasse ($SMI \leq 10,75 \text{ kg/m}^2$) als auch durch eine verminderte Ganggeschwindigkeit ($< 0,8 \text{ m/s}$) aus. Die verbleibenden 93 Probanden identifizierten sich über die Kombination einer reduzierten Muskelmasse und Handkraft ($< 30 \text{ kg}$).

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	nicht sarkopen	320	70,0	76,9	76,9
	sarkopen	96	21,0	23,1	100,0
	Gesamt	416	91,0	100,0	
Fehlend	System	41	9,0		
Gesamt		457	100,0		

Tabelle 16: Tabellarische Übersicht der Häufigkeitsverteilung bzgl. des Sarkopeniestatus nach den EWGSOP Kriterien

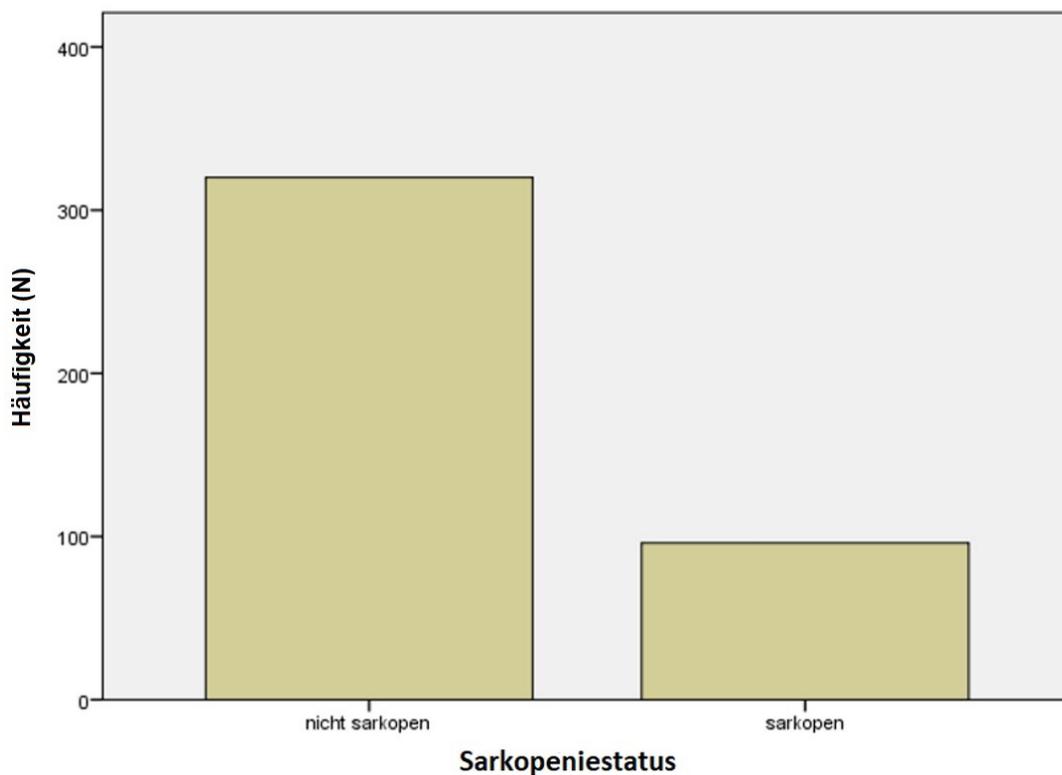


Abbildung 20: Balkendiagramm der Häufigkeitsverteilung in Bezug auf den Sarkopeniestatus (EWGSOP).
N= Anzahl der Probanden

3.7.2 Sarkopenie im Alter

Weiterführend dient eine vorgenommene Altersgruppenbildung der untersuchten Probanden innerhalb der untersuchten Altersspanne in fünf Jahres Abschnitten an dieser Stelle der besseren Übersicht über etwaige Unterschiede in Bezug auf den Anteil der Sarkopenen.

Graphisch betrachtet (s. **Abbildung 21**) zeigte sich somit eine absolute Zunahme der als sarkopen zu bezeichnenden Probanden bis zur Gruppe der 75- bis 79-jährigen. Von dort aus fortschreitend war die absolute Zahl wiederum leicht rückläufig. Betrachtet man die Werte relativ innerhalb der einzelnen Altersgruppen, so ergab sich eine stetige und deutliche Zunahme des Anteils sarkopener Teilnehmer mit fortschreitendem Alter. Betrag der Anteil

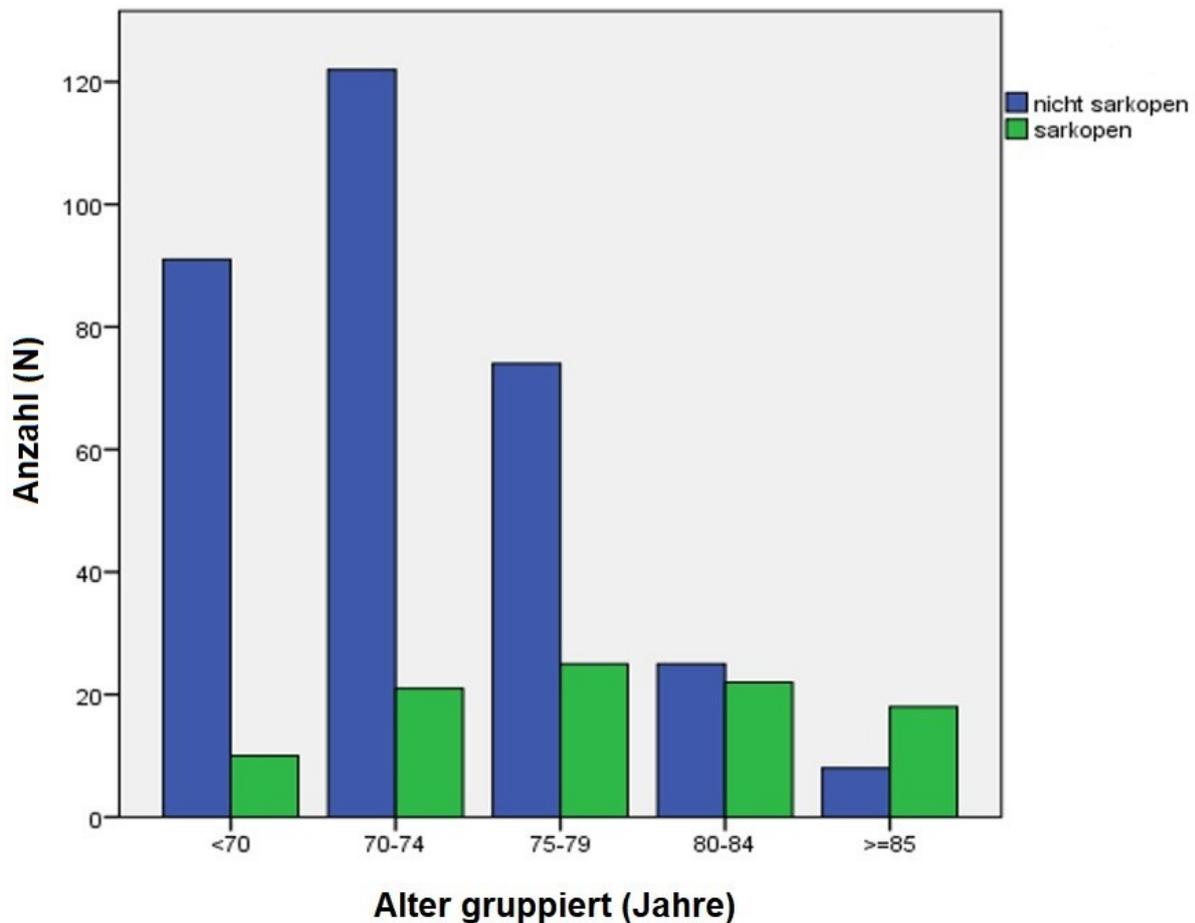


Abbildung 21: Balkendiagramm der relativen Häufigkeiten, entsprechend dem Sarkopeniestatus innerhalb der 5-Jahresgruppierungen. N= Anzahl der Probanden

bei den jüngsten untersuchten (<70 Jahre) noch 10%, so machte er in der Gruppe der 80 bis 84-jährigen, mit 46,8%, schon knapp die Hälfte aus. In der Gruppe der Ältesten (≥ 85 Jahre), mit 69,2%, stellte er sogar die deutliche Mehrheit dar. Die soeben ausgeführten Häufigkeiten bzw. deren Differenzen zeigten sich im Chi-Quadrat-Test hochsignifikant ($p < 0,001$).

Die nachfolgende Tabelle benennt die jeweiligen Anteile sarkopener Probanden innerhalb der Altersgruppierungen analog dem vorausgehenden Balkendiagramm.

			Sarkopeniestatus		Gesamt
			nicht sarkopen	sarkopen	
Alter gruppiert	<70	Anzahl	91	10	101
		% innerhalb von Alter gruppiert	90,1%	9,9%	100,0%
	70-74	Anzahl	122	21	143
		% innerhalb von Alter gruppiert	85,3%	14,7%	100,0%
	75-79	Anzahl	74	25	99
	% innerhalb von Alter gruppiert	74,7%	25,3%	100,0%	
	80-84	Anzahl	25	22	47
		% innerhalb von Alter gruppiert	53,2%	46,8%	100,0%
	≥ 85	Anzahl	8	18	26
		% innerhalb von Alter gruppiert	30,8%	69,2%	100,0%
Gesamt		Anzahl	320	96	416
		% innerhalb von Alter gruppiert	76,9%	23,1%	100,0%

Tabelle 17: Tabellarische Übersicht der Häufigkeitsverteilung in Bezug auf den Sarkopeniestatus (EWGSOP) innerhalb der 5-Jahresgruppierungen in Form einer Kreuztabelle.

3.7.3 Sprunganalyse in Abhängigkeit von der Sarkopenie

In nachfolgenden Abschnitt sollen die Ergebnisse in Bezug auf die Untersuchungen zu signifikanten Unterschieden zunächst der anthropometrischen Daten und nachfolgend der Sprunganalyse entsprechend der nach der EWGSOP vorgenommenen Sarkopenieeinteilung ausgeführt werden. Zur transparenten und zusammenfassenden Übersicht sowie Entnahme zusätzlicher Details der Gruppendifferenzen dient die nachfolgende **Tabelle 18**. Dabei spiegeln sich die soeben schon ausgeführten Differenzen in Bezug auf die Altersgruppen auch im reinen Altersdurchschnitt der Gruppen wieder. Auf besonders nennenswerte und bedeutende Erkenntnisse wird ausführlich im nachfolgenden Abschnitt eingegangen.

	Sarkopeniestatus	N	Mittelwert	SD	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz
Alter	nicht sarkopen	320	72,79	5,07	-7,55	132,48	0,00	-5,39
	sarkopen	96	78,18	6,42				
BMI	nicht sarkopen	320	28,29	4,15	3,50	214,34	0,00	1,34
	sarkopen	96	26,95	3,00				
SM	nicht sarkopen	320	31,70	3,80	10,02	268,18	0,00	3,14
	sarkopen	96	28,56	2,26				
SMI	nicht sarkopen	320	10,38	1,09	8,36	298,79	0,00	0,72
	sarkopen	96	9,67	0,59				
h max	nicht sarkopen	320	0,225	0,07	5,56	414,00	0,00	0,044
	sarkopen	96	0,181	0,07				
P tot max rel	nicht sarkopen	320	26,69	6,30	5,33	414,00	0,00	3,96
	sarkopen	96	22,73	6,67				
V max	nicht sarkopen	320	1,71	0,31	5,93	414,00	0,00	0,22
	sarkopen	96	1,49	0,35				
F tot max rel	nicht sarkopen	320	20,59	3,14	1,13	414,00	0,26	0,40
	sarkopen	96	20,20	2,55				
EFI	nicht sarkopen	320	80,60	17,02	2,17	414,00	0,03	4,44
	sarkopen	96	76,16	19,16				

Tabelle 18: Tabellarische Übersicht etwaiger Differenzen zwischen Sarkopenen und nicht Sarkopenen mit den entsprechenden Ergebnissen der durchgeführten T-Tests in Bezug auf die anthropometrischen Daten sowie Kernparameter der Sprunganalyse. SD stellt die Standardabweichung der Gruppenmittelwerte dar. Die mittlere Differenz bezeichnet die Differenz der Gruppenmittelwerte zueinander. Alter (Jahre), BMI= Body Mass Index (kg/m²), SM= Skelettmuskelmasse (kg), SMI= Skelettmuskelmasseindex (kg/m²), hmax= Maximale Sprunghöhe (m), P tot max rel= relative Maximalleistung (W/kg), Vmax= Maximalgeschwindigkeit (m/s), F tot max rel= relative Maximalkraft (N/kg), EFI= Esslinger Fitness Index

Die als sarkopen zu bezeichnende Probandengruppe wies ein mittleres Alter von 78,18 Jahren auf. Dahingegen war der Mittelwert der als nicht sarkopen geltenden Studienteilnehmer auf 72,79 Jahre zu beziffern. So waren die sarkopenen gegenüber den nicht sarkopenen Teilnehmern im Mittel 5,39 Jahre älter. Der Unterschied war als hochsignifikant zu werten ($p < 0,001$). Dieses Ergebnis zeigte sich kongruent zu den vorab ausgeführten Beobachtungen

in Bezug auf den zunehmenden Anteil der als sarkopen Klassifizierten mit aufsteigender Altersgruppierung. Auch beim BMI gab es signifikante Unterschiede. So lagen 1,34 BMI Punkte ($p < 0,05$) zwischen den beiden Gruppen, wobei sich der niedrigere Mittelwert von 26,95 (SD +/- 3,0) auf Seiten der sarkopenen Probandengruppe zeigte. Beim SMI und der Skelettmuskelmasse (SM) lagen die Mittelwerte von als sarkopen einzustufenden Probanden signifikant, wenn auch nur marginal, unter denen der Gesunden ($p < 0,001$). Dabei fiel die Differenz von 3,14 kg ($p < 0,001$) bzgl. der per Bio-Impedanz-Analyse bestimmten absoluten Skelettmuskelmasse (SM) noch am deutlichsten aus. Allerdings gilt zu bedenken, dass es sich beim SMI um einen Indexwert handelt. Damit zeigen geringe Unterschiede schon weitreichendere Differenzen an. Allen voran ist zudem darauf zu verweisen, dass es sich bei den Muskelmasseparametern bzw. dem SMI um eines der maßgeblichen Einteilungskriterien handelt, auf deren Grundlage die Gruppierung in der vorgelegten Studie durchgeführt wurde. Wie dem angewendeten Algorithmus der EWGSOP zu entnehmen ist, ist eine reduzierte Muskelmasse allein allerdings nicht ausreichend, um als sarkopen zu gewertet zu werden. So ist des Weiteren auffällig, dass nicht nur der mittlere SMI der Sarkopenen mit $9,67 \text{ kg/m}^2$ (SD +/- $0,59 \text{ kg/m}^2$) unterhalb des verwendeten Grenzwertes von $10,75 \text{ kg/m}^2$ lag, sondern auch der Mittelwert der als nicht sarkopen geltenden Probandengruppe mit einem mittleren SMI von $10,38 \text{ kg/m}^2$ (SD +/- $1,09 \text{ kg/m}^2$) diesen unterschritt. Somit wies die Gruppe der nach dem EWGSOP Algorithmus eigentlich als nicht sarkopen geltenden Probandengruppe, wohlgernekt im Mittel, einen reduzierten Anteil an Skelettmuskelmasse auf. Entsprechend dem bei Janssen et al. [8, 23] definierten und hier verwendeten Cut-off für den SMI bei $10,75 \text{ kg/m}^2$ wären auch die „gesunden“ Probanden im Durchschnitt als „prä-sarkopen“ zu bezeichnen.

In Bezug auf die Sprungparameter selbst erzielte die Gruppe der als sarkopen zu wertenden Probanden in fast allen Variablen signifikant niedrigere Werte. (s. **Tabelle 18**) Ausgenommen sind auch hier wieder die gewichtsrelative Maximalkraft ($F_{\text{tot max rel}}$). Hier konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden werden ($T=1,13$; $p=0,26$). Des Weiteren wiesen die Sarkopenen einen um 4,44 EFI%-Punkte signifikant niedrigeren EFI Score auf. ($T=2,17$; $p < 0,05$). Im Einzelnen zu erwähnen ist darüber hinaus die erreichte Sprunghöhe. So erreichte die sarkopene Probandengruppe im Mittel eine Höhe von 18,1 cm, die der nicht Sarkopenen hingegen betrug 22,5 cm ($T=2,17$; $p < 0,05$). Damit lag die Differenz bei 4,4 cm. Ausgehend vom Mittelwert der „Gesunden“ war damit von einer rund 20% geringeren Sprunghöhe bei den Sarkopenen zu sprechen. Die erreichte Maximalgeschwindigkeit differierte ebenso mit 0,22 m/s, wobei die Gruppe der als sarkopen

zu Bezeichnenden hier auch die geringere Geschwindigkeit (-13%) zu verzeichnen hatte ($T=5,93$; $p<0,001$).

Die erreichten maximalen Sprungleistungswerte während der Absprunghase wiesen eine ebenso deutliche und signifikante Differenz von 3,96 W/kg auf. Mit 26,69 W/kg (SD +/- 6,30 W/kg) lag auch hier der Mittelwert der Gesunden über dem der Sarkopenen (22,73 W/kg; SD +/-6,67 W/kg). Probanden, welche anhand des Algorithmus also als sarkopen eingestuft wurden, konnten für jedes Kilogramm Körpergewicht somit annähernd 4 Watt weniger Leistung abrufen als die nicht als sarkopen Klassifizierten. Gemessen am MW der Sarkopenen war bei den dahingehend „Gesunden“ von 17,4% Mehrleistung pro kg Körpergewicht zu sprechen. Umgekehrt formuliert ist gegenüber der Sprungleistung der nicht Sarkopenen von einer Leistungsminderung um rund 14,8 % bei den Sarkopenen auszugehen.

Betrachtet man bzgl. der PP_r die entsprechende graphische Darstellung in Form des Box Plots, treten die signifikanten Unterschiede auch visuell in Erscheinung. Die Box der nicht

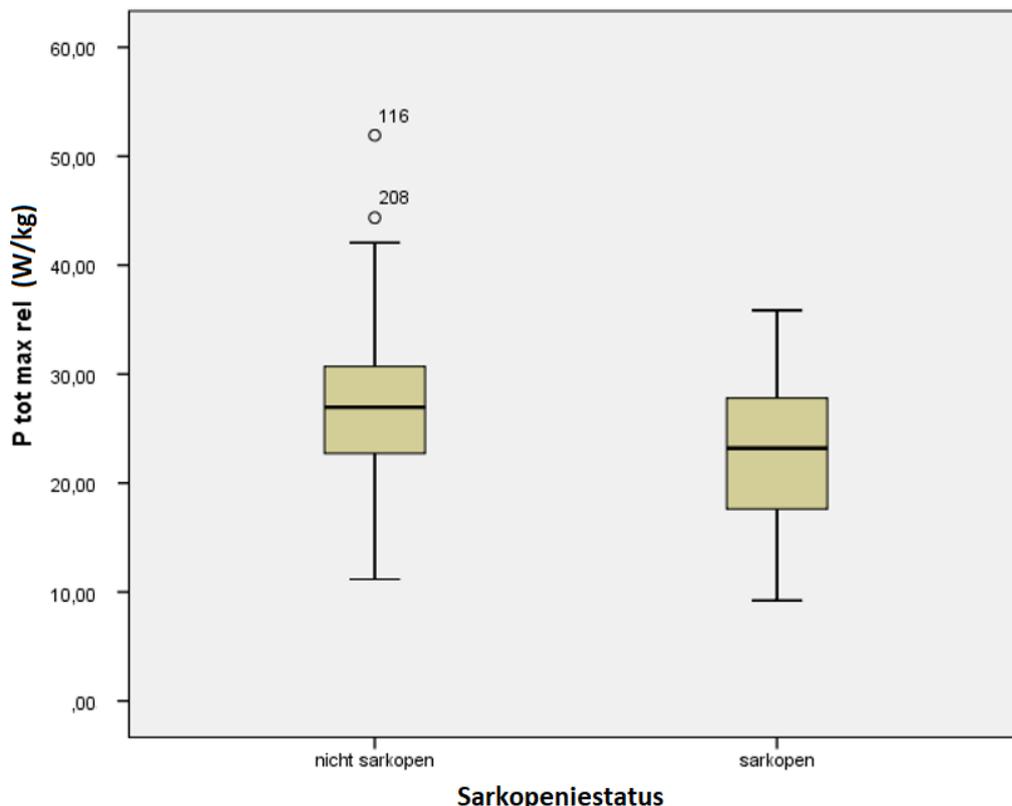


Abbildung 22: Box Blot der gewichtsadjustierten Maximalsprungleistung in Abhängigkeit vom Sarkopeniestatus nach den EWGSOP Kriterien. Die Box markiert dabei das obere und untere Quartil (25% über bzw. unter dem Wert des Median), wobei der Querbalken in der Box den Median markiert und die darüber und darunter liegenden horizontalen Linien das Maximum bzw. Minimum, exklusive von Ausreißern, darstellen. Die Ausreißer sind durch Kreise repräsentiert, wobei sich obere Ausreißer durch Werte $>3/2$ der oberen Quartilswertes und untere durch Werte $<3/2$ des unteren Quartilswertes definieren.

Sarkopenen mit eingezeichnetem Median liegt deutlich über der Box für die sarkopenen Teilnehmer. Zudem zeigte sich eine symmetrische Verteilung der Werte im Interquartilbereich beider Gruppen. Dagegen besteht eine größere Streubreite der Werte in der Gruppe der Sarkopenen, zu erkennen an der rechts im Vergleich zu links größer ausfallenden Box. Bedacht werden muss in diesem Zusammenhang allerdings der Unterschied der Gruppengrößen, da nach der verwendeten Klassifikation die Sarkopenen die deutliche Minderheit darstellen.

Des Weiteren wurde innerhalb der obig formulierten Altersgruppen auf signifikante Unterschiede zwischen der erzielten Sprungleistung der Sarkopenen und nicht Sarkopenen untersucht. Zur graphischen Veranschaulichung dient **Abbildung 23** mit den jeweils

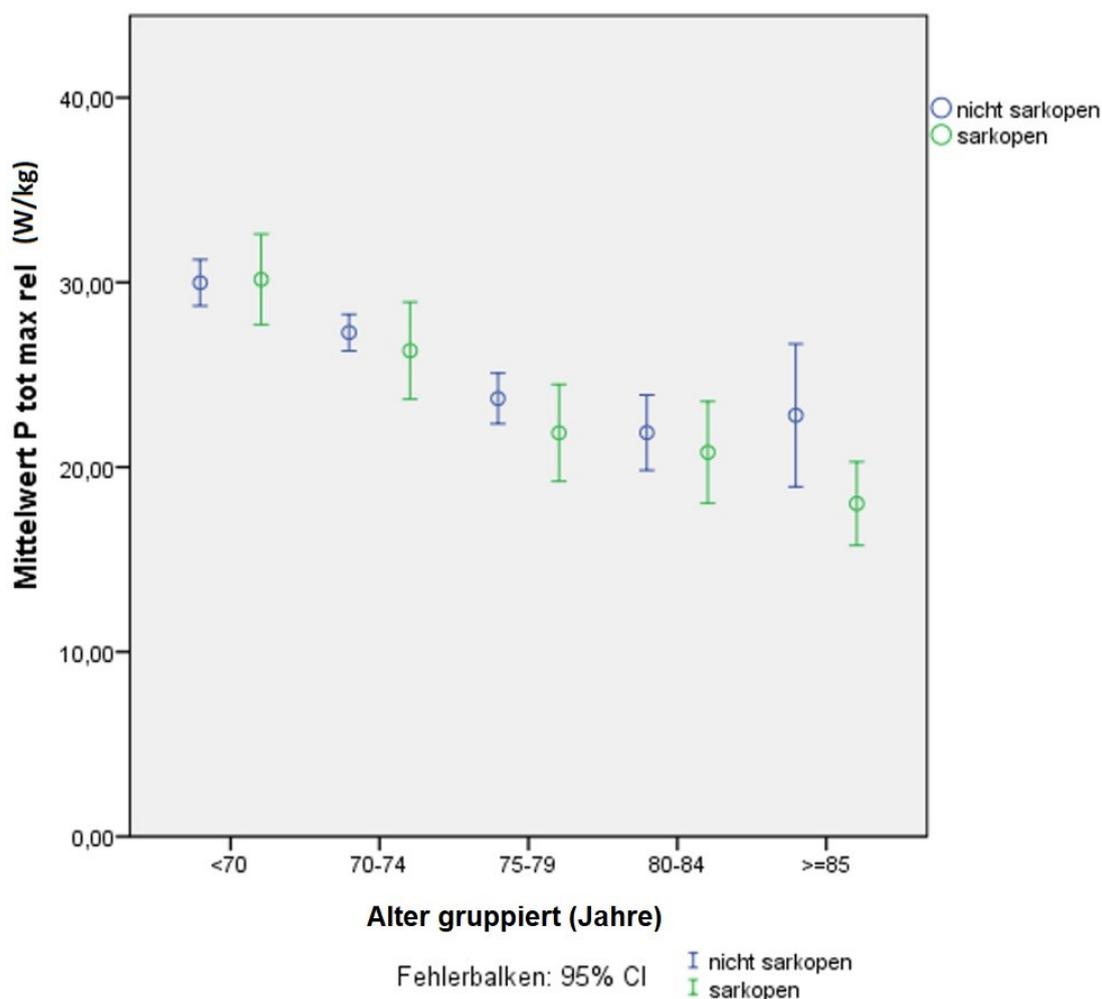


Abbildung 23: Graphische Darstellung der 95%-Konfidenzintervalle (CI) bzgl. der gewichtsadjustierten Maximalsprungleistung innerhalb der 5-Jahresgruppierungen in Abhängigkeit zum Sarkopeniestatus (EWGSOP)

eingezeichneten 95% Konfidenzintervallen. In grün stellt sich der altersgruppenspezifische Mittelwert der Sarkopenen, in blau derjenige der Gesunden dar.

Dabei konnten innerhalb der Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen Sarkopenen und nicht Sarkopenen in Bezug auf die Sprungleistung (PP_r) nachgewiesen werden, was sich auch an den sich dort stark überschneidenden Konfidenzintervallen in der Grafik visualisieren ließ. Eine Ausnahme stellte hingegen die Gruppe der Ältesten (>85 Jahre) dar. Hier ergaben sich signifikant niedrigere Sprungleistungswerte auf Seiten der Sarkopenen ($p < 0,05$), d.h. es konnte für die nach der EWGSOP als sarkopen einzustufenden Probanden, außer für die ältesten, innerhalb ihrer Altersgruppierungen keine signifikant schlechtere Sprungleistung im s2lj nachgewiesen werden.

Darüber hinaus erfolgte eine Analyse des Sachverhaltes nach Altersdekaden. Dabei zeigte sich, zunächst kongruent und erwartungsgemäß mit zunehmendem Alter, eine Zunahme des relativen Anteils der als sarkopen einzustufenden Probanden. Wobei der Anteil der Sarkopenen von rund 10% in der 7. und jüngsten Dekade, auf rund 19% in der 8. und rund 55% in der 9. Dekade anstieg. (s. **Tabelle 19**)

			Sarkopeniestatus		Gesamt
			nicht sarkopen	sarkopen	
Alter Dekaden	60-69 Jahre	Anzahl	91	10	101
		% innerhalb von Alter_Dekaden	90,1%	9,9%	100,0%
	70-79 Jahre	Anzahl	196	46	242
		% innerhalb von Alter_Dekaden	81,0%	19,0%	100,0%
	≥ 80 Jahre	Anzahl	33	40	73
		% innerhalb von Alter_Dekaden	45,2%	54,8%	100,0%
Gesamt		Anzahl	320	96	416
		% innerhalb von Alter_Dekaden	76,9%	23,1%	100,0%

Tabelle 19: Tabellarische Übersicht des relativen Anteils als sarkopen klassifizierter Probanden entsprechend ihrer Einteilung in Altersdekaden, dargestellt in Form einer Kreuztabelle. Dabei sind hier die 7. Dekade (65-69 Jahre), 8. Dekade (70-79 Jahre) und 9. Dekade (≥ 80 Jahre) dargestellt.

Zunächst ließen sich auch sowohl für die nicht Sarkopenen als auch Sarkopenen mit aufsteigender Altersdekade signifikant niedrigere Sprungleistungen beobachten. (s. **Tabelle 20**) Innerhalb der Altersdekaden konnten folgende Beobachtungen zwischen Sarkopenen und nicht Sarkopenen gemacht werden:

	60-69 Jahre	70-79 Jahre	>80 Jahre
nicht Sarkopen	29,98	25,94	22,09
Sarkopen	30,16	23,89	19,55
mittlere Differenz	-0,18	2,05	2,54
T-Wert	-0,091	2,08	2,05
Signifikanz (p-Wert)	0,93	0,039	0,045

Tabelle 20: Tabellarische Übersicht der im Mittel erzielten körpergewichtsrelativierten Maximalleistung in W/kg der entsprechenden Altersdekaden von sarkopenen und nicht sarkopenen Probanden.

Es wird Bezug auf die vorausgehend dargestellte **Tabelle 20** genommen. Bei den Jüngsten (65-69 Jahre) konnten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die erzielte Sprungleistung (PP_r) gefunden werden ($T=-0,09$; $p=0,93$). Diese Beobachtung spiegelt sich auch in den sich stark überschneidenden 95%-Konfidenzintervallen in nachfolgend dargestellter **Abbildung 24** wieder. Innerhalb der 8. ($p=0,039$) und 9. Dekade ($p=0,045$) jedoch konnte bei den sarkopenen Probanden eine signifikant niedrigere mittlere Sprungleistung (PP_r) nachgewiesen werden. Auch dieses Erkenntnis wird visuell gestützt durch die sich grenzwertig überschneidenden Konfidenzintervalle in **Abbildung 24**. Darüber hinaus lassen sich in besagter Grafik nochmals die abnehmende Tendenz der Sprungleistung sowohl der Sarkopenen als auch der nicht Sarkopenen mit aufsteigender Altersdekade im Allgemeinen sowie die Unterschiede innerhalb der entsprechenden Altersgruppen übersichtlich visualisieren. Das Leistungsdefizit in der 9. Dekade war bei den Sarkopenen damit auf 11,5 % gegenüber den nicht Sarkopenen zu beziffern bzw. es ist von einer Mehrleistung von 13,0 % auf Seiten der nicht Sarkopenen zu sprechen.

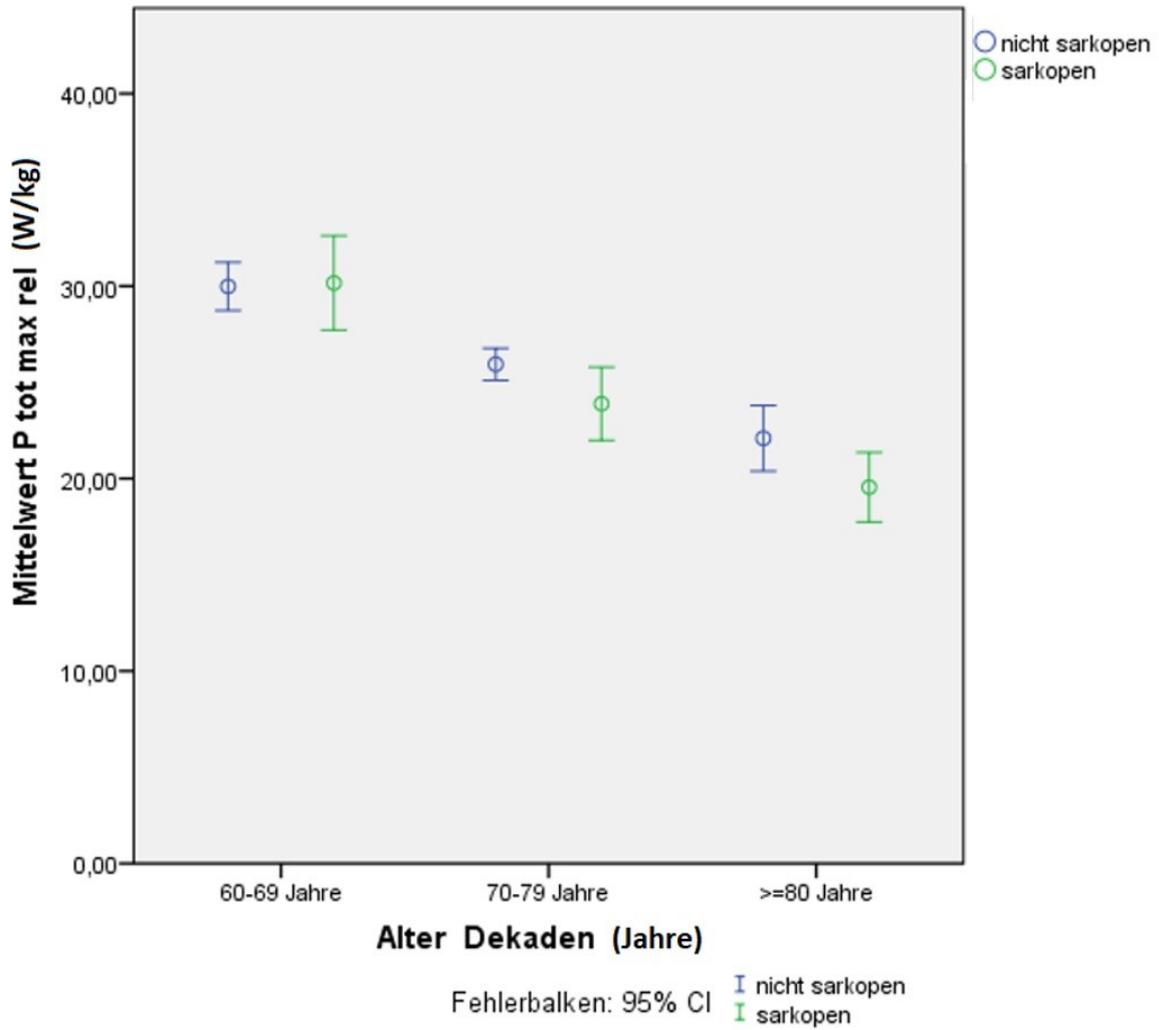


Abbildung 24: Grafische Darstellung der im Mittel (Kreise) erzielten PPr in W/kg sarkopener (grün) und nicht sarkopener (blau) Probanden entsprechend ihrer zugehörigen Altersdekade (7.-9.). Mit grünem Punkt dargestellt sind die Mittelwerte der Sarkopenen mit entsprechenden 95%-Konfidenzintervallen (CI) und in blau die Messungen der nicht Sarkopenen.

3.8 Sport und Sarkopenie (EWGSOP)

In Bezug auf die relative Häufigkeit der regelmäßigen sportlichen Aktivität ergab sich sowohl bei den Sarkopenen mit 52,5% als auch bei den nicht Sarkopenen mit 50,5% eine geringe Mehrheit auf Seiten der regelmäßig aktiven Probanden. Die geringfügigen Unterschiede allerdings waren als nicht signifikant zu werten ($p=0,76$). Generell stellten sich, wie bereits im vorausgehenden Abschnitt dargelegt (3.7.1), die große Mehrheit mit 289 als nicht sarkopen und die Minderheit mit 82 Probanden als sarkopen dar. Bei der Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität innerhalb der dem Sarkopeniestatus nach eingeteilten Gruppen zeigt sich das Verhältnis ausgeglichen (s. **Tabelle 21**). Da sich aber das Verhältnis der Probandenzahlen bzgl. der Sarkopenieeinteilung in absoluten Zahlen deutlich auf Seiten der nicht Sarkopenen verschoben findet, fällt entsprechend die absolute Zahl der regelmäßig Aktiven mit 39 Probanden auf Seiten der Sarkopenen gegenüber den 143 regelmäßig Aktiven auf Seiten der nicht Sarkopenen auch ebenso geringer aus

Dieser Sachverhalt lässt sich auch im nachfolgenden Balkendiagramm beim Vergleich der beiden in ihrer Höhe sehr unterschiedlich ausfallenden in grün dargestellten Balken für die sarkopenen Probanden nachvollziehen (s. **Abbildung 25**). Darüber hinaus findet sich mit **Tabelle 21** nochmals eine übersichtliche Darstellung der soeben ausgeführten gruppierungsbezogenen Mehrheitsverhältnisse.

			Sport regelmäßig		Gesamt
			Nein	Ja	
Sarkopeniestatus (EWGSOP)	nicht sarkopen	Anzahl	146	143	289
		% innerhalb des Sarkopeniestatus (EWGSOP)	50,5%	49,5%	100,0%
	sarkopen	Anzahl	43	39	82
		% innerhalb des Sarkopeniestatus (EWGSOP)	52,4%	47,6%	100,0%
Gesamt		Anzahl	189	182	371
		% innerhalb des Sarkopeniestatus (EWGSOP)	50,9%	49,1%	100,0%

Tabelle 21: Tabellarische Übersicht der Mehrheitsverhältnisse in Bezug auf die regelmäßige sportliche Aktivität und den Sarkopeniestatus

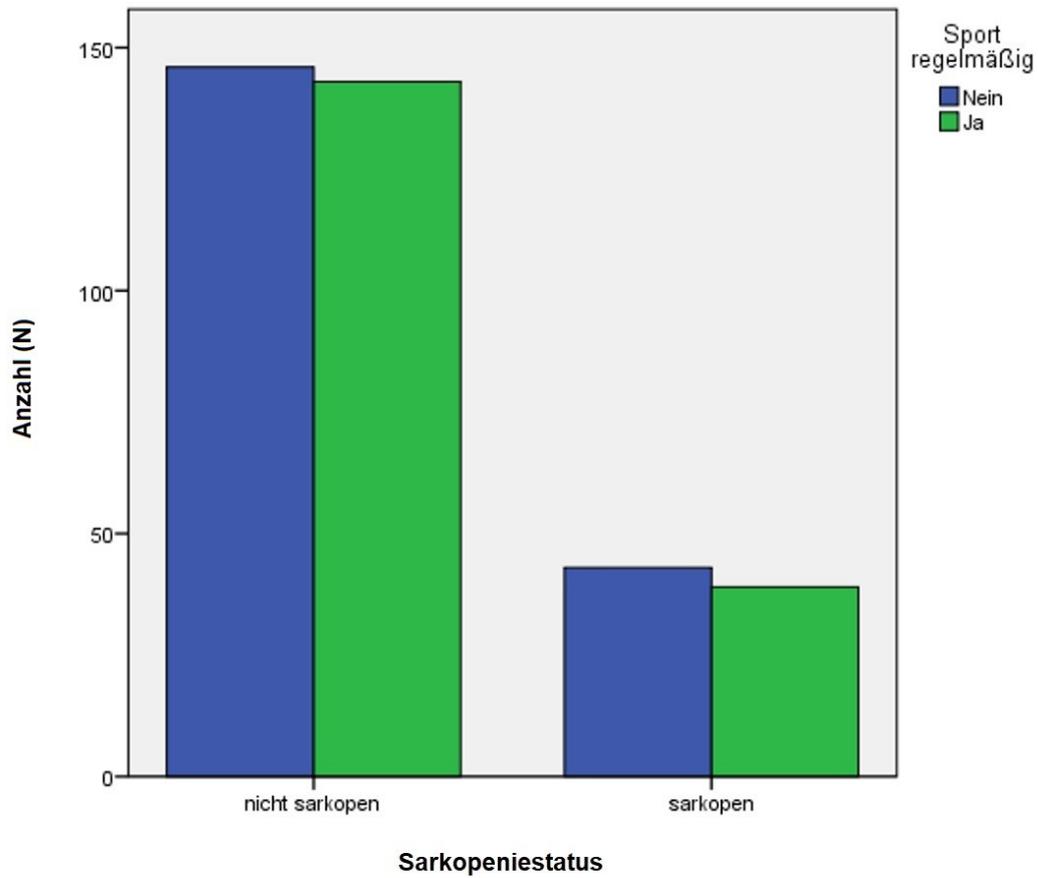


Abbildung 25: Balkendiagramm der Mehrheitsverhältnisse in Bezug auf die regelmäßige sportliche Aktivität und den Sarkopeniestatus nach der EWGSOP. Auf der X-Achse befindet sich die Kategorisierung der Probanden, sarkopene und nicht sarkopene, und auf der Y-Achse die Anzahl der Antworten auf die Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität in zweifarbiger Darstellung. N= Anzahl der Probanden

3.8.1 Sprungleistung in Abhängigkeit von Sport und Sarkopeniestatus

Im nachfolgenden Abschnitt soll auf die Ergebnisse der erzielten Sprungleistung (PP_r) eingegangen werden, welche sich aus den vorausgehend beschriebenen Gruppierungen ergab. Die dafür zugrundeliegenden Mittelwerte der Sprungleistung mit der sich beim Vergleich ergebenden Signifikanz sind in **Tabelle 22** dargestellt.

In Bezug auf den Einfluß von Sport auf die Sprungleistung (PP_r) zeigten sich zusätzlich zu der bestehenden PP_r -Differenz zwischen Sarkopenen und nicht Sarkopenen innerhalb dieser Klassifizierungen nochmals signifikante Unterschiede, abhängig davon, ob der entsprechende Proband angab, sportlich regelmäßig aktiv zu sein oder nicht.

So ergab sich bei den nicht regelmäßig Aktiven (Sport Nein) eine signifikant niedrigere durchschnittliche Sprungleistung (PP_r) als bei den Aktiven (Sport Ja). Dies sowohl in der Gruppe der Sarkopenen/„Kranken“ ($p=0,003$) als auch nicht Sarkopenen/„Gesunden“

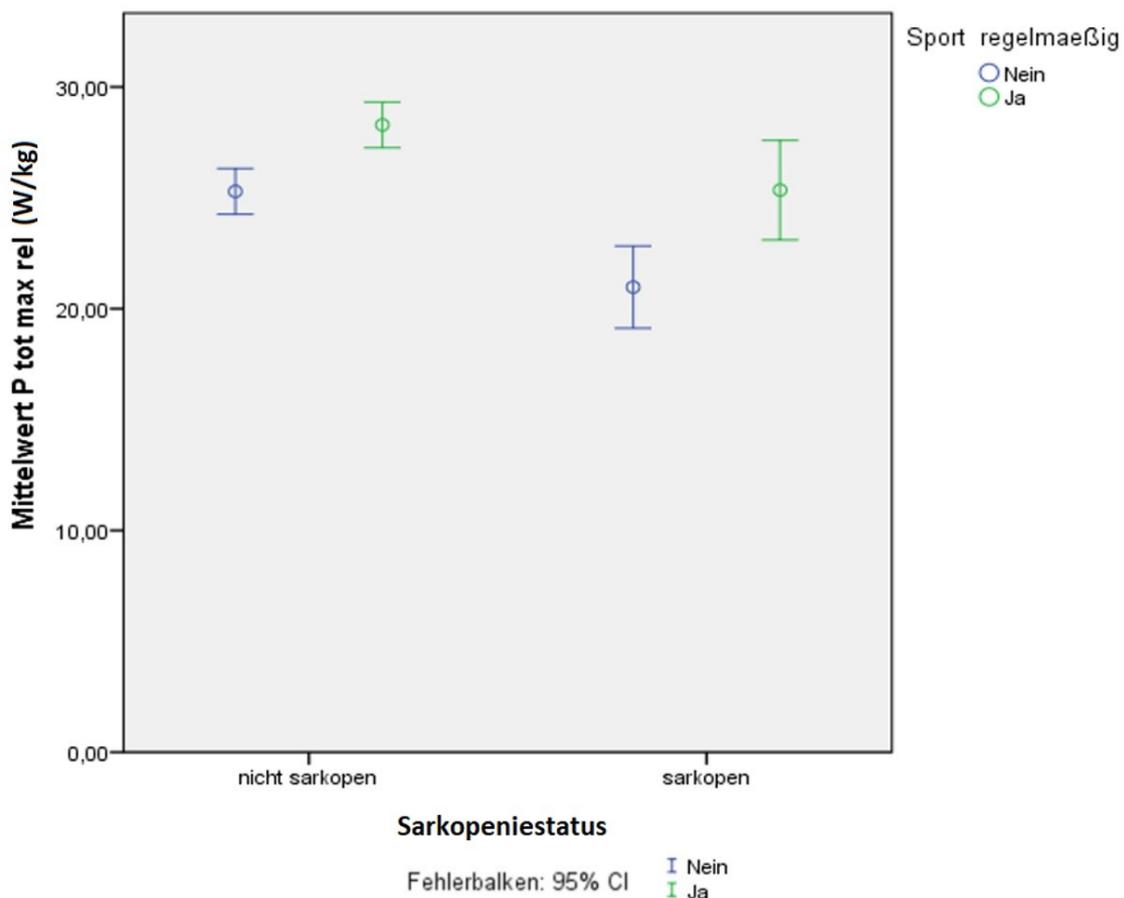


Abbildung 26: Grafische Darstellung der Mittelwerte für die erzielte Sprungleistung (PP_r), welche sich aus der Gruppierung nach der sportlichen Aktivität (farblich dargestellt) und dem Sarkopeniestatus (auf der X-Achse) ergab. In grün dargestellt finden sich die Mittelwerte der sportlich Aktiven (Sport Ja) sowie die entsprechenden 95%-Konfidenzintervalle (CI) und kongruent dazu in blau gezeichnet die der nicht regelmäßig Aktiven (Sport Nein.)

($p < 0,001$). Diese Beobachtung lässt sich auch durch **Abbildung 26** visualisieren, bei der die beiden in blau gezeichneten Konfidenzintervalle sowohl auf Seiten der Sarkopenen als auch nicht Sarkopenen deutlich unterhalb der in grün gezeichneten Konfidenzintervalle der Aktiven auszumachen sind. Somit zeigte sich mit regelmäßiger sportlicher Betätigung sowohl bei den „Kranken“ als auch „Gesunden“, gemessen an der Sprungleistung (PP_r), eine signifikant bessere neuromuskuläre Leistungsfähigkeit.

Darüber hinaus unterschieden sich die jeweils in blau gezeichneten Mittelwerte der PP_r in **Abbildung 26** in Abhängigkeit vom Sarkopeniestatus signifikant voneinander ($p < 0,001$). Selbiges ergab sich für die Mittelwerte der Aktiven, in grün dargestellt. Auch diese unterschieden sich in Abhängigkeit von ihrem Sarkopeniestatus signifikant voneinander ($p = 0,012$). Dabei lag die niedrigere Sprungleistung in beiden Fällen auf Seiten der Sarkopenen. Somit war gemessen an der PP_r in der Gruppe der Sarkopenen sowohl für die regelmäßig Aktiven als auch Inaktiven von einer signifikant reduzierten neuromuskulären Leistungsfähigkeit zu sprechen.

Sarkopene, regelmäßig aktive Probanden ($n=39$; $MW= 25,35$ W/kg) waren zwar nicht in der Lage, im Mittel eine Sprungleistung (PP_r) auf dem Niveau der „gesunden“ Aktiven ($n=143$; $28,29$ W/kg) zu erreichen, wohl aber die der „gesunden“ Inaktiven ($n=146$; $MW= 25,29$ W/kg). (s. **Abbildung 26** und **Tabelle 22**)

Nr.	Sarkopeniestatus	Sport regelmäßig	N	Mittelwert	SD	95%-Konfidenzintervall		Gruppennummer			
						Untergrenze	Obergrenze	1	2	3	4
1	nicht sarkopen	Nein	146	25,29	6,33	24,26	26,32	-	0,000	0,000	-
2		Ja	143	28,29	6,24	27,25	29,33	0,000	-	-	0,012
3	sarkopen	Nein	43	20,97	6,02	19,08	22,87	0,000	-	-	0,003
4		Ja	39	25,35	6,92	23,36	27,34	-	0,012	0,003	-

Tabelle 22: Tabellarische Übersicht der erzielten mittleren Sprungleistung (PP_r) in W/kg entsprechend der vorgenommenen Gruppierung nach Sarkopeniestatus und regelmäßiger sportlicher Aktivität. Darüber hinaus findet sich unter den Gruppennummern das entsprechende Signifikanzniveau der durchgeführten T-Tests. Unter SD findet sich die Standardabweichung des Mittelwertes der PP_r , ebenso im W/kg wieder.

4 Diskussion

4.1 Altersverteilung

Zunächst sollen an dieser Stelle die Ergebnisse in Bezug auf die Altersverteilung des hiesigen Probandenkollektivs sowie grundlegende Besonderheiten gegenüber bisherigen Studien aufgezeigt und diskutiert werden. Dabei wird vorab zunächst auf die bestehenden und zum Vergleich dienlichen Studien in Bezug auf die dortige Altersverteilung und das sich daraus ergebende Untersuchungskollektiv eingegangen, sowie an entsprechender Stelle Bezug zur hiesigen Altersverteilung genommen. Im nachfolgenden Abschnitt „4.2 Probanden sowie Ein- und Ausschlusskriterien“ werden grundlegende Unterschiede in Bezug auf die Rekrutierung, Probandenselektion und Zusammensetzung genauer ausgeführt, um grundlegende Unterschiede in den Ergebnissen der Sprunganalyse unter diesem maßgeblichen Aspekt diskutieren und differenzieren zu können.

Wie bereits eingehend postuliert, lag ein Kernaspekt der Studie darauf, Probanden im für die Sarkopenie relevanten Altersspektrum ab 65 Jahren und älter zu untersuchen. Insbesondere sollten dabei auch Probanden im hohen Lebensalter, sowie ein möglichst bevölkerungsrepräsentativeres Kollektiv, im Vergleich zu den bisherigen Studien, für die betreffende Altersspanne erfasst werden. Dazu diente in erster Linie die Rekrutierung innerhalb von zwei Würzburger Stadtteilen in Form eines Anschreibens an alle gemeldeten Einwohner betreffender Jahrgänge.

Dies steht in starkem Kontrast zur Rekrutierung einer für den Einsatz des JM im hohen Alter maßgeblichen Studien von Runge et al. 2004. Dort wurde im Sinne einer positiv-Selektion explizit nach „gesunden“ Probanden rekrutiert und selektiert und anhand dieses Probandenkollektivs der sogenannte Esslinger Fitness Index postuliert. Vorab formuliertes Ziel dieser Studie war damit allerdings auch, explizit lokomotorisch uneingeschränkte und gesunde Probanden über eine möglichst große Altersspanne einzuschließen. Diese wurde mit 18-88 Jahren beziffert, wobei es sich dabei aber um ein Mischkollektiv aus Männern und Frauen handelte. Die Anzahl der untersuchten Männer lag dabei mit 89 weit unter der der Frauen (n=169). Auch reichte die Altersspanne der Männer nur vom 18. bis zum 79. Lebensjahr. Der Median der Lebensjahre der Männer wurde mit 60 angegeben. [112] Entsprechend dem Median ist somit davon auszugehen, dass sich jenseits der 60 mit der Hälfte der Probandenzahl lediglich noch 45 Probanden wiederfanden. Somit handelt es sich bei dieser Untersuchung, wie die Autoren in ihrer Diskussion einleitend auch klarstellen, nicht

um eine populationsbasierte, geschweige denn um eine bevölkerungsrepräsentative Studie, sondern um ein hochselektiertes Kollektiv physisch fitter Probanden, an welchen die altersassoziierte Leistungsminderung ohne den Einfluss etwaiger Krankheiten, Behinderungen oder Einschränkungen untersucht werden sollte. [112] Auf diese Ergebnisse und die Unterschiede in Bezug auf die dort ebenso durchgeführte Bodenreaktionskraftanalyse in Relation zu den Ergebnissen dieser Arbeit soll im Verlauf an entsprechender Stelle der Diskussion noch detailliert eingegangen werden.

Eine weitere grundlegende Studie, deren postulierte Referenzwerte in Bezug auf die Sprungleistungsdaten mit der vorgelegten Arbeit im Verlauf diskutiert werden sollen, ist von Dietzel et al. aus dem Jahre 2013. Dabei wurde weniger stark nach fitten Probanden selektiert, folglich auch mit entsprechend weniger strengen Einschlusskriterien, aufgrund des Ziels, mehr Referenzdaten für ein bevölkerungsrepräsentativeres Kollektiv und mit ähnlicher Altersspanne wie Runge et al 2004 zu erheben. Hierfür wurde von allen Stadtteilen Berlins rekrutiert. [127] Dabei zeigt sich aber dieselbe Problematik in Bezug auf die Probandenzahl in den für die Sarkopenie relevanten älteren Jahrgängen. Insgesamt umfasste der männliche Anteil am Kollektiv bei Dietzel et al. [127] immerhin 353 Probanden, allerdings verteilen sich diese von der 3. Dekade aufwärts bis zu den über 80-jährigen. Zudem gilt zu bedenken, dass die relative Gesamtzahl gemessen an der Größe der Population, innerhalb derer man die Rekrutierung durchgeführt hatte, verhältnismäßig gering erscheint. Der Publikation ist zu entnehmen, dass im Alter zwischen 60 und 69 Jahren 57 Probanden untersucht wurden, wohingegen sich in der hiesigen Untersuchung alleine 106 Probanden nur im Alter zwischen 65 und 69 Jahren wiederfanden. In der 8. Dekade (70-79 Jahre) wird der Unterschied noch deutlicher. Hier stehen 56 Probanden den 260 Teilnehmern dieser Studie in der betreffenden Alterskategorie entgegen. Jenseits der 80 Jahre ist bei Dietzel et al. mit 29 Probanden zudem innerhalb der Studie eine relativ abnehmende Probandenzahl zu beobachten. [127] In der vorliegenden Arbeit lässt sich diesbezüglich auf immerhin allein 88 Probanden verweisen, welche ein Lebensalter zwischen 80 und 90 Jahren aufwiesen.

Auch im außereuropäischen Raum wurden Referenzstudien durchgeführt, um zu sehen, ob etwaige Unterschiede zu den bestehenden Ergebnissen von Runge et al. aus 2004 bestehen. So wurden in einer Querschnittsstudie in Japan von Tsubaki et al. aus dem Jahre 2009 insgesamt 410 physisch aktive Probanden ohne Einschränkungen in ihren täglichen Aktivitäten untersucht. Dabei lag die Altersspanne bei 7-79 Jahren und 210 der 410 Probanden waren Männer, 163 von ihnen zwischen 18-79 Jahre alt. Unter anderem wurden die entsprechenden

Ergebnisse der Bodenreaktionskraftanalyse mit dem in Runge et al. [112] postulierten EFI verglichen und es konnten keine nennenswerten Unterschiede erörtert werden. [124]

Auch in den USA gab es eine kleine Studie von 2014, die zumindest den Fokus mehr auf den Kernbereich der Sarkopenie legte und Probanden im Alter zwischen 55 und 75 Jahren untersucht hatte. Zwar wurde auch hier eine Sarkopenieeinteilung anhand der erhobenen SMI Werte vorgenommen, allerdings bestand das gesamte Untersuchungskollektiv aus lediglich 27 Männern und 33 Frauen. [125] Auf die genaueren Ergebnisse in Bezug auf die dort erhobenen Sprungleistungswerte soll im Verlauf an entsprechender Stelle in der Diskussion eingegangen werden.

Eine weitere recht aktuelle Studie aus dem Jahre 2015 von Siglinsky et al. wurde ebenso in den USA durchgeführt. Das entsprechende Probandenkollektiv umfasst wiederum eine große Altersspanne von 27 bis 97 Jahren. Die Teilnehmerzahl verteilte sich auf 213 Frauen sowie 119 Männern. Dabei setzte sich die Gesamtprobandenzahl aus vier verschiedenen Kollektiven verschiedener Studien zusammen. Des Weiteren wies jede dieser Studien inkonsistente Ein- und Ausschlusskriterien auf, die im nachfolgenden Diskussionsabschnitt 4.2 näher beleuchtet werden. [126]

Eine weitere Studie aus dem Jahre 2015 von Dietzel et al., für welche im konkreten Fall aus der Population Berlins rekrutiert wurde. Die Altersspanne lag hier mit 60 bis 85 Jahren näher an den Daten der vorliegenden Arbeit. Insgesamt wurden 293 Probanden, davon 146 Männer, einbezogen und die Sprungparameter und der Sarkopeniestatus anhand des SMIs untersucht, ebenso Unterschiede in Bezug auf den ADL-Score und das Sturzrisiko. [128]

Nach bestem Wissen handelt es sich bei der vorgelegten Studie mit 457 männlichen Probanden somit um die nach Teilnehmerzahl größte Untersuchung der Sprungkraftanalyse von Männern im Alter von 65 bis 90 Jahren.

4.2 Probanden sowie Ein und-Ausschlusskriterien

Bei den dieser Studie zugrundeliegenden Ein- bzw. Ausschlusskriterien (s. Abschnitt Material und Methoden) lag der Fokus darauf, einen möglichst breiten und repräsentativen Kreis an Personen zu berücksichtigen. Des Weiteren lag das Ziel darauf, möglichst alle Parameter der bestehenden Definitionskriterien der Sarkopenie [5] zu erfassen und damit eine möglichst große Sensitivität zu gewährleisten. Allerdings sollten dennoch Probanden ausgeschlossen werden, welche unweigerlich zu einer Verfälschung der Ergebnisse beigetragen hätten, wie beispielsweise Probanden, die vor weniger als drei Wochen operiert worden waren. Ein Einschluss entsprechender Probanden hätte die Validität der Sprunganalyse aus unserer Sicht gemindert. Darüber hinaus sollte ein möglichst sicherer Untersuchungsablauf für die Probanden gewährleistet werden. Entsprechend wurden die im Rahmen des Gesamtprojektes durchgeführten Untersuchungen auch in möglichst aufsteigender Schwierigkeit absolviert. Beispielsweise durchliefen die Probanden zunächst die SPPB, welche unter anderem Balance- und Standübungen sowie Ganggeschwindigkeitsmessungen beinhaltet. Erst nachfolgend wurde die neuromuskulär anspruchsvollere Sprunganalyse durchgeführt. Es gilt damit zu bedenken, dass aufgrund der Tatsache, dass der Beidbeinsprung i.d.R. am Ende der Untersuchung durchgeführt wurde, eine etwaige Ermüdung der Probanden zu submaximalen Ergebnissen der Sprunganalyse beigetragen haben könnte.

Mit den ausgeführten Besonderheiten sollen die Ergebnisse nachfolgend im Kontext mit den bisherigen Studien diskutiert werden. Dies dient dem Ziel, von der Methodik oder Probandenkonstellation abhängige Unterschiede aufgrund der bisherigen, sehr heterogenen und ausbaufähigen Datenlage von tatsächlichen Beobachtungen zu differenzieren.

Wie erwähnt, handelt es sich bei den Arbeiten von Runge, sowie Tsubaki et al. um Kollektive mit möglichst gesunden und fitten Probanden. [112, 124] Das formulierte Ziel der beiden Studien lag primär darauf, den Zusammenhang der Maximalleistung während des Beidbeinsprungs mit dem Alters zu untersuchen. [112, 116] Dabei sollten möglichst alle Faktoren eliminiert werden, welche potentiell den physiologisch anzunehmenden Verlust neuromuskulärer Leistungsfähigkeit beeinflussen könnten. [112, 124] So wurden beispielsweise Kriterien formuliert, die den Ausschluss von Personen vorsahen, die nicht in der Lage waren, mehr als 800m frei und ohne Hilfe zu gehen. Auch potentielle Studienteilnehmer, welche nicht in der Lage waren, problemlos ein Stockwerk, einen einbeinigen Sprung, oder den Chair-rise-Test in unter 10 Sekunde zu absolvieren, wurden

ausgeschlossen. [112, 124] Keines der genannten Kriterien wurde in der hiesigen Untersuchung als Ausschluss für die Teilnahme an der Sprunganalyse verwendet.

Dazu im Kontrast stehen die ähnlich wie hier weniger restriktiv formulierten Kriterien von Dietzel et al. 2013, bei denen ebenso ein möglichst bevölkerungsrepräsentatives Kollektiv untersucht werden sollte. [127] Somit stellt sich diese Untersuchung in Bezug auf das Probandenkollektiv auch als am ehesten geeignet dar, die nachfolgend eingehend diskutierten Ergebnisse der JM zu referenzieren. Ebenso galt dies für die ebenso von Dietzel et al. 2015 stammende, sich anschließende Untersuchung mit kongruent formulierten Ein- und Ausschlusskriterien.

Auch Singh et al. beschränkten sich auf nicht allzu umfangreiche Einschlusskriterien, wie die Rekrutierung 55-75-jähriger im häuslichen Umfeld der Metropolregion Oklahoma City lebender Probanden. Dennoch wurden dabei Einschränkungen gemacht, welche in deutlichem Kontrast zu den hiesigen stehen. So wurden Probanden, die innerhalb der vorrausgehenden sechs Monate eine dekompensierte Herzinsuffizienz, einen Herzinfarkt, oder Schlaganfall erlitten hatten, ausgeschlossen. Des Weiteren wurden auch alle Probanden ausgeschlossen, die in den letzten zehn Jahren Nikotinabusus zu verzeichnen hatten. [125] Damit wurden viele Probanden, welche gerade den zu untersuchenden Faktor der Multimorbidität und viele weitere Faktoren für einen verschlechterten Gesundheits- und Mobilitätszustand aufwiesen, vermutlich nicht ausreichend berücksichtigt.

In der Arbeit von Siglinsky et al. [126] handelt es sich um ein Kollektiv, welches sich aus den Teilnehmern von vier verschiedenen Studien mit unterschiedlichen Ein- und Ausschlusskriterien zusammensetzt, wobei eine Studie lediglich Frauen untersucht hatte. Die Zielsetzung der Untersuchung lag hier auf der Integration auch kranker bzw. funktionslimitierter Probanden. Allerdings wiesen die Autoren darauf hin, dass die älteren Studienteilnehmer sich, retrospektiv betrachtet, als auffällig wenig multimorbide darstellten. [126]

Die vorgelegte Studie stellt eine der wenigen dar, welche nicht nur ein nennenswert großes, sondern darüber hinaus auch bevölkerungsrepräsentativeres und untersuchungsrelevanteres Kollektiv aufweisen kann, da alle 2605 gemeldeten Einwohner der betreffenden Jahrgänge zweier Würzburger Stadtteile angeschrieben wurden. Unter anderem mit dem Aspekt der sozialen Vielschichtigkeit fiel die Wahl auf den Stadtteil Zellerau als ehemaliges Arbeiterviertel mit vielen Mietswohnungen. Das angrenzende Steinbachtal wurde als gehobenere und auch wohlhabendere Wohngegend daher nicht nur wegen der identischen

Postleitzahl mit in den Bereich der Zellerau eingeschlossen. Der zweite ausgewählte Stadtteil Frauenland stellt hingegen ein weitestgehend akademisch geprägtes Wohnviertel dar, das damit nicht nur aufgrund seiner geographischen Nähe zum König-Ludwig Haus (KLH) und der Universität eine der Wissenschaft näherstehende Bevölkerung repräsentiert. Ein Großteil des Universitätsgeländes grenzt an das Frauenland, das KLH befindet sich mitten in dessen Zentrum. Durch die Anwohnerschaft vieler ehemaliger Dozenten sowie Mitarbeiter der Universität waren das Grundbild, die Aufgeschlossenheit und die Resonanz bzgl. des KLHs und der durchgeführten epidemiologischen Studie grundsätzlich positiv. Um eine möglichst große und umfassende Bevölkerungsrepräsentation zu gewährleisten, erfasste die untersuchte Stichprobengröße 507 Männer. Damit wurden weit mehr als zwei Drittel (71,2%) der 707 an einer weiteren Studienteilnahme vor Ort interessierten Einwohner im Institut untersucht. Von den 507 Männern waren für 457 letztendlich auch valide Messergebnisse der Sprunganalyse des Beidbeinsprunges zu generieren.

4.3 Anthropometrie

In Bezug auf die anthropometrischen Daten sollen an dieser Stelle insbesondere die Ergebnisse in Bezug auf den BMI, SMI sowie der SM innerhalb des Probandenkollektives diskutiert werden. Dafür sollen, sofern vorhanden, entsprechende bisherige Studien als Referenz und zum Vergleich herangezogen werden. Darüber hinaus soll nachfolgend der Zusammenhang der genannten anthropometrischen Parameter zunächst unter dem Aspekt des hiesigen Probandenalters und mit den Ergebnissen der Sprunganalyse diskutiert werden.

4.3.1 Übergewicht unter dem Aspekt der JM

Das Körpergewicht der Probanden beim Beidbeinsprung spielt bei der Sprunganalyse eine fundamentale Rolle, da es vom Springenden im Rahmen der individuellen neuromuskulären Fähigkeiten gegen die Schwerkraft bewegt werden muss, weshalb in der Regel die körperrichtsadjustierte Maximalleistung und -kraft für den interindividuellen Vergleich herangezogen wird. [112] In Bezug auf das Körpergewicht wiederum ist die Relation zur Körpergröße in Form des BMI von Bedeutung für die Körperkonstitution. Dabei geht es weniger um die kontrovers diskutierte Aussagekraft des BMIs und der daraus abgeleiteten Klassifizierung in Bezug auf den Ernährungszustand sowie das assoziierte Risikoprofil für das metabolische Syndrom oder die allgemeine Morbidität und Mortalität. Vielmehr dient der Wert hier und in weiteren Studien zur besseren Erfassung und Umschreibung interindividueller Unterschiede.

Wie bereits in den Ergebnissen ausgeführt, lag der mittlere BMI der Kohorte bei $28,05 \text{ kg/m}^2$ (SD $\pm 3,92 \text{ kg/m}^2$). Die Werte zeigen sich im Einklang mit den erhobenen BMI Werten bei den als normal bzw. gesund und nicht sarkopen eingestufteten Probanden von Dietzel et al. aus 2015. In dieser Kohorte ergab sich bei den Männern ebenfalls im Mittel ein BMI von $28,2$ (SD $\pm 3,3 \text{ kg/m}^2$). [128] Auch Siglinsky et al. fanden im Mittel bei den Männern ($n=119$) einen BMI von $27,7 \text{ kg/m}^2$ (SD $\pm 5,57 \text{ kg/m}^2$). [126] So sind zwischen den genannten Studien in Bezug auf den BMI keine besonderen Auffälligkeiten auszumachen, welche etwaige Unterschiede der Ergebnisse der Sprunganalyse mitbegründen könnten. Wie bereits in vorausgehenden Abschnitten eingehend ausgeführt, handelt es sich in den besagten Studien auch weitestgehend um wenig selektierte, eher bevölkerungsrepräsentativere Probandenkollektive höherer Jahrgänge.

Dies steht im Kontrast zu den Ergebnissen bei Runge et al. aus 2004 ($n=89$) mit einem mittleren BMI von $25,1 \text{ kg/m}^2$ (SD $\pm 3,19 \text{ kg/m}^2$) bei den Männern. [112] Das aus der

gezielten Probandenselektion vermeintlich anzunehmende höhere Aktivitätsniveau könnte ein Grund für die niedrigeren BMI Werte sein. Zudem waren die Probanden deutlich jünger (Median = 60 Jahre), mit einer Altersspannweite von 18 Jahren und mehr.

In Zusammenschau der vorliegenden Ergebnisse mit den soeben ausgeführten bisherigen Studien ist zumindest anhand des BMI Mittelwertes von 28,05 (SD +/-3,92) keine relevante Abweichung zu sehen, die bei der weiteren Bewertung und Diskussion der Ergebnisse der Sprunganalyse im hiesigen Probandenkollektiv besonders berücksichtigt werden müsste.

Nach bestem Wissen gibt es bis dato keine Untersuchungen, insbesondere nicht in älteren Bevölkerungsschichten, bei der der BMI in Bezug auf die erzielte PP_r näher untersucht wurde. Insofern ist es bemerkenswert, dass die vorliegenden Daten einen hochsignifikanten negativen korrelativen Zusammenhang zwischen dem BMI und sowohl der Sprunghöhe ($r = -0,16$) als auch der V_{max} ($r = -0,18$), dem EFI ($r = -0,30$) und auch der bereits gewichtsadjustierten Leistungs- ($r = -0,23$) und Kraftmaxima ($r = -0,22$) aufzeigen. So kam es mit zunehmendem BMI zu einer Abnahme bei allen genannten Parametern der Sprunganalyse. Dabei bestand im hiesigen Kollektiv wohlbermerkt kein signifikanter korrelativer Zusammenhang zwischen dem Probandenalter und den BMI Werten. Darüber hinaus gab es keine signifikanten Änderungen der Zusammensetzung der BMI Kategorisierungen zwischen den verschiedenen Altersgruppen.

Somit ist davon auszugehen, dass das Alter zu keiner Scheinkorrelation des BMIs mit den Sprungparametern des JM geführt haben sollte. Eher das Gegenteil scheint der Fall zu sein. So konnte in der Regressionsanalyse der BMI alleine nur 5% der Variabilität ($r^2 = 0,05$) der PP_r Werte mit der linearen Regressionsgeraden erklären. In der multiplen linearen Regressionsanalyse konnte der BMI zusammen mit dem Alter den zu erklärenden Anteil von 29%, der alleine dem Alter zugeschrieben werden kann, um weitere 7% auf insgesamt 36% erhöhen. Somit sind im Zusammenhang mit dem BMI über das Alter hinaus Veränderungen der Sprungmaxima, entsprechend einem linearen Verlauf, um weitere 7% erklärbar bzw. mit der Höhe des BMI assoziiert. Darüber hinaus traten bei der durchgeführten Partialkorrelation zwischen dem BMI und der PP_r , bei der das Alter die Kontrollvariable darstellte, ein deutlich größer ausfallender negativer Koeffizient ($r = -0,33$) in Erscheinung.

Weitere Bestätigung dieses Aspektes findet sich bei der genaueren Betrachtung der anderen Korrelationen. So zeigt der Koeffizient zwischen BMI und PP_r mit -0,23 einen nach Cohen [137] schon als schwach bis mittel stark zu bezeichnenden korrelativen Zusammenhang auf. Zwischen dem BMI und dem erzielten EFI% Score fiel dieser noch deutlicher aus und war als

mittelstark zu werten ($r = -0,30$; $p < 0,001$). Da es sich bei dem EFI% Score bereits um einen alters- und geschlechtsnormten Vergleich mit einem anderen Referenzkollektiv handelt, werden die oben geschilderten Erkenntnisse in Bezug auf die Erhöhung der Varianzanteile durch die Kombination von BMI und Probandenalter als Prädiktoren der erzielten PP_r , auch durch diesen Zusammenhang bestätigt. So ist generell davon auszugehen, dass der BMI im vorliegenden Kollektiv im Zusammenhang mit schlechteren Sprungleistungsmaxima (PP_r) steht. So könnte Übergewicht (hoher BMI) einer der Faktoren sein, welcher zur Diskrepanz der von den hiesigen Probanden erzielten PP_r Werte zu denen der gleichaltrigen Probanden des Referenzkollektives beigetragen hat.

Mögliche Erklärungen dafür sind die bereits bei Runge et al. in Bezug auf ein zunehmendes Körpergewicht diskutierten, mit dem Alter einhergehende Veränderungen der Körperkonstitution. So wurde unter anderem von Runge et al. ein sich diesbezüglich mit dem Alter nicht absolut aber relativ erhöhender Anteil an Fett in Erwägung gezogen. Dadurch vergrößere sich die passive Masse des Probanden, die gegen die Schwerkraft bewegt werden muss, ohne aktiv an der dafür nötigen Erhöhung der Sprungleistung mitwirken zu können. [4, 67, 112, 138] Gerade im hiesigen Kollektiv handelte es sich mit einem Durchschnittsalter von 74,35 Jahren (SD \pm 5,94 Jahre) um besonders alte Probanden. Somit beträfe die Veränderung der Körperkonstitution, in Form der Zunahme von passiver Masse, diese Probanden in besonderem Maße. Das könnte nach obig ausgeführter Theorie die Beobachtung der deutlich abnehmenden Sprungparameter, insbesondere der PP_r ($r = -0,23$; $p < 0,001$) und des EFI ($-0,30$; $p < 0,001$), erklären.

Die Wertigkeit des BMI als Maß für die tatsächliche Körperkonstitution ist, wie bereits angedeutet, sicher diskussionswürdig. Für die hiesige Untersuchung und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse sollten die bereits erwähnten Limitationen bzgl. des BMIs allerdings weniger relevant sein. Der BMI dient in diesem Fall lediglich der explorativen Analyse möglicher bisher unterschätzter oder noch nicht zu Geltung gekommener Faktoren, die im Zusammenhang mit der Leistungsdiskrepanz von „gesunden“ Alten und dem hiesigen Kollektiv zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus kann der BMI anhand der gezeigten Daten keinesfalls in einem kausalen Zusammenhang mit den Sprungleistungsdaten gesehen werden. Er kann sich ebenso als Scheinkorrelationskoeffizient dargestellt haben, der zu einem gewissen Grad das Zusammenspiel komplexer pathophysiologischer Mechanismen wie Insulinresistenz, Proinflammation, oxidativer Stress, hormonelle Veränderungen sowie Bewegungsmangel widerspiegelt. Allesamt sind Veränderungen, die sowohl im Alterungsprozess wie auch im Kontext der Adipositas diskutiert werden. Dabei wurden diese

komplexen Mechanismen sowohl dem Muskelmasseverlust als auch dem Muskelkraft und -leistungsverlust zugerechnet. [69] Demnach wäre nicht nur von einer Zunahme der im Sprung passiv bewegten Masse in Form von Fett, Bindegewebe und Wasser auszugehen. Zusätzlich könnte ein Kraft- und Leistungsverlust der verbliebenen, aktiv bewegten Masse, in Form bspw. struktureller Defizite der Muskulatur, im Sinne eines Muskelqualitätsverlustes, zu einer zusätzlichen Minderung der Sprungparameter beigetragen haben. Dies könnten sich mitunter ebenso in einem erhöhten BMI manifestiert haben, welcher wiederum mit der Sarcopenic Obesity assoziiert ist.

Die vorliegenden Erkenntnisse können lediglich Indizien und eine Grundlage für genauere Analysen auch auf Ebene des mit der GRFP beobachteten Muskelleistungsverlustes darstellen. Darüber hinaus gilt es zu bedenken, dass bereits Janssen et al. in Bezug auf die Ergebnisse von Lautner et al. feststellten, dass sich der BMI aufgrund seiner Risikoerhöhung bei niedrigen und bei hohen Werten schlecht als kontinuierliche Variable oder Kovariable eignet. [8, 139] Da sich in unserem Kollektiv aber keine Probanden befanden, die als untergewichtig zu klassifizieren waren, wurde die erfolgte Analyse und die daraus resultierenden Ergebnisse für sinnvoll und vertretbar erachtet. [112]

4.3.2 Muskulatur und Muskelmasseanteil unter dem Aspekt der JM

Zunächst soll auf die Ergebnisse der per Bio-Impedanz-Analyse gemessenen Muskelmassewerte in Zusammenschau mit den Daten bisheriger Studien eingegangen werden. Dies ist vor allem deshalb relevant, weil die Muskelmasseparameter Teil der hier vorgenommenen EWGSOP-Sarkopenie-Einteilung sind. Anschließend werden die Beobachtungen in Bezug auf die Zusammenhänge zwischen den Muskelmasseparametern sowie das Probandenalter und die Kernvariablen der Sprunganalyse diskutiert.

Verglichen mit dem BMI ist der Vergleich der per BIA erhobenen Muskelmasseparameter mit bisherigen Studienergebnissen und Referenzstudien in Bezug auf die Sprunganalyse schwieriger. Begründet ist dies insbesondere durch die geringe Zahl der Arbeiten, bei der eine Sprunganalyse gepaart mit der Analyse der Muskelmasse zur Anwendung kam. So wurde zwar bei Dietzel et al. aus 2015 eine DXA-Messung durchgeführt [128] und eine entsprechende Einteilung nach Cut-off-Werten der Rosetta Studie durchgeführt [4], jedoch gibt es innerhalb der Publikation keine Angaben zu den mittleren Indexwerten des untersuchten Gesamtkollektivs, geschweige denn zu den Männern. Zum anderen handelt es sich bei den per DXA-Analyse erhobenen Werten um die „Appendicular Lean Mass“ (ALM)

und nicht die durch die BIA-Analyse erhobene absolute Muskelmasse (SM). Die gleiche Konstellation betrifft die US Studie von Siglinsky et al., bei der ebenso die Muskelmasse in Form einer DXA Analyse erhoben wurde. Im Mittel ergab sich für die männliche Kohorte (n=119) dort ein Index von $8,25 \text{ kg/m}^2$ (SD $\pm 1,35$). [126]

Aufgrund der diskutierten Problematik der Einordnung der Ergebnisse mit verwandten Studien sollen die hiesigen Ergebnisse der Muskelmasseparameter jedoch in Relation zu den Referenzdaten der amerikanischen NAHNES III Studie gestellt werden. Dadurch sollen etwaige grobe Abweichungen oder Auffälligkeiten gegenüber den zu erwartenden Ergebnissen aus bevölkerungsrepräsentativen Studien erkannt und evtl. nachfolgend bei der weiteren Diskussion der Sprungparameter berücksichtigt werden. Anhand des erwähnten US-Kollektives wurden zudem von Janssen et al. die entsprechenden Cut-off-Werte für den SMI bestimmt, die u.a. auch als Grundlage für vorgenommene Gruppeneinteilungen dieser Arbeit dienten. [8, 23] Die dort ebenso per BIA-Analyse bestimmte absolute Skelettmuskelmasse der betreffenden 2.223 Männer über 60 Jahren, im Rahmen der nationalen Gesundheits- und Ernährungsuntersuchung, ergab einen Mittelwert von $29,7 \text{ kg}$ (SD $\pm 1,18$). Für den Index wiederum ergab sich ein Mittel von $9,86 \text{ kg/m}^2$ (SD $\pm 1,18$) bei einem Durchschnittsalter von 70 Jahren. [23] Damit lagen die Werte der SM in der vorliegenden Arbeit mit einem Mittelwert von $30,98 \text{ kg}$ (SD $\pm 3,74$) sowie einem SMI von $10,22 \text{ kg/m}^2$ (SD $\pm 1,04$) nur geringfügig über denen der untersuchten US Population. Die Unterschiede erscheinen in Anbetracht von zu erwartenden ethnischen und kulturellen Unterschieden zwischen einer US-amerikanischen Population und dem europäischen Würzburger Kollektiv vernachlässigbar. Damit war davon auszugehen, dass die im hiesigen Kollektiv erhobenen Muskelmasseparameter von bisherigen vergleichbaren Studienkollektiven sich nicht grundlegend abweichend darstellen und folglich nicht die Hauptursache für etwaige Unterschiede in der Sprunganalyse begründen.

Nachfolgend sollen zunächst die beobachteten Zusammenhänge zwischen dem Probandenalter sowie Messungen der Muskelmasseparameter diskutiert werden. So konnte anhand des Korrelationskoeffizienten nach Pearson zunächst zwischen dem Probandenalter und der absoluten Skelettmuskelmasse ein mittlerer negativer Zusammenhang festgestellt werden ($r = -0,34$; $p < 0,001$). Dieser fiel im Zusammenhang mit der nach Körpergröße relativierten Muskelmasse (SMI) zwar geringer aus, blieb aber nach wie vor hochsignifikant bestehen ($r = -0,20$; $p < 0,001$).

In Bezug auf die Leistungsparameter konnten bei der Muskelmasse nur in Bezug auf die Sprunghöhe ($r=0,14$; $p<0,01$) und Maximalgeschwindigkeit ($r=0,11$; $p=0,02$) sehr schwache oder grenzwertig signifikante Korrelationen aufgedeckt werden. Beim SMI konnten weder nennenswerte noch signifikante korrelative Zusammenhänge gefunden werden. Insbesondere bestanden keine Anzeichen, dass mit zunehmender Muskelmasse bzw. höherem Muskelmasseindex von einer besseren Sprungleistung, Sprungkraft oder erreichten Maximalgeschwindigkeit auszugehen war. Somit scheint in der Sprunganalyse weder eine erhöhte absolute Skelettmuskelmasse (SM) noch ein erhöhter relativer Skelettmuskelmasseanteil (SMI) zu einer besseren Gesamtperformance in der Sprunganalyse zu führen. Wohlgermerkt beziehen sich diese Erkenntnisse auf die Sprunganalyse des Gesamtkollektives ($N=420$) als Ganzes betrachtet und lassen damit eine Aussage über die explizite untersuchte Altersspanne der Männer von 65-90 Jahren zu. Insbesondere mit dem Probandenalter zeigten sich aber in den Ergebnissen deutliche Zusammenhänge der Sprungparameter (siehe Ergebnisse von Abschnitt 3.5 Alter unter dem Aspekt der Sprunganalyse), welche an späterer Stelle noch ausführlich diskutiert werden (s. Diskussionsabschnitt 4.4 Diskussion Kernvariablen JM).

Damit spielt das Lebensalter bei der Interpretation und Diskussion der Ergebnisse eine wesentliche Rolle. Anhand der untersuchten Partialkorrelation, in der das Alter als Kontrollvariable diente, konnten signifikante, wenn auch schwache Zusammenhänge zwischen dem Skelettmuskelmasseanteil (SMI) und vereinzelt Kernvariablen der JM gefunden werden. Allerdings beschränkten sich diese zum einen auf die PP_r ($r=-0,13$; $p=0,01$) sowie auf die V_{max} ($r=-0,13$; $p=0,01$) und zum anderen waren die Zusammenhänge negativ. Dagegen war der Zusammenhang zwischen dem SMI und der körpergewichtsrelativierten Maximalkraft des Beidbeinsprunges nicht signifikant ($r=-0,08$; $p=0,08$). (s. Ergebnisse: 3.4.2.2) Damit war im Probandenkollektiv auch altersunabhängig und entgegen den Erwartungen bei einem hohen Muskelmasseanteil nicht von einer nachweisbar besseren Sprungperformance bzw. Sprungleistung auszugehen. Eher lag das Gegenteil vor. Probanden mit einem hohen Anteil an Skelettmuskelmasse zeigten eher eine schlechtere Sprungleistung pro Kilogramm Körpergewicht und auch eine niedrigere Maximalgeschwindigkeit.

Dies steht im Kontrast zu Ergebnissen anderer Leistungstests wie der Handkraftmessung oder Knie Dynamometrie, bei denen ein extrinsischer Widerstand überwunden werden muss. Hier zeigten sich sowohl mit höherer Muskelmasse als auch Skelettmuskelmasseindex zunächst durchaus positiv korrelierende Kraft- und Leistungsparameter. (s. dazu auch Einleitung Abschnitt 1.2) Für die so gemessenen Kraft und Leistungskomponenten zeigte sich jedoch in

bemerkenswerter Weise in groß angelegten longitudinalen Studien ein weitaus deutlicherer Zusammenhang mit der Häufigkeit von Hospitalisierung, körperlichen Einschränkung und Mortalität, als dies im Zusammenhang mit der Muskelmasse der Fall war [26, 140], obwohl die Muskelmasse positiv mit den Kraft- und Leistungsparametern korrelierte

Eine der Erklärungen für die aufgezeigten konträren Beobachtungen in der Sprunganalyse in Bezug auf die Muskelmasse könnte in der Methodik bzw. Bestimmung und Referenzierung des Muskelmasseanteils begründet sein. Zwar gibt der SMI eine präzisere Umschreibung der Körperkonstitution und des Muskelmasseanteils als die absolute Skelettmuskelmasse alleine ab, jedoch wäre eine beispielsweise prozentuale Referenzierung der Skelettmuskelmasse an der Gesamtkörpermasse womöglich noch zielführender.

Ein weiterer Aspekt liegt darin, dass sich sowohl mit der SM als auch dem SMI im untersuchten Kollektiv deutliche positive korrelative Zusammenhänge mit anderen anthropometrischen Daten zeigten. So ging eine große BM auch mit einer hohen SM bzw. ein hoher SMI auch mit einem hohen BMI einher. Dies ist prinzipiell nicht verwunderlich. Die Muskulatur ist letztlich verantwortlich für die Leistungsabgabe und hat prinzipiell damit positive Auswirkungen auf die Sprungleistung. Nachdem übergewichtige Probanden aber schlechtere Kenndaten in der Sprunganalyse erzielen, wie in vorgelegter Studie ausgeführt (s. 4.3.1), zeigen sich in den Daten somit jedoch womöglich gegenläufige Effekte. So ist denkbar und naheliegend, dass sich die mit der JM durch die Schwerkraft zum Tragen kommenden Masse-Effekte (BMI) die prinzipiell sprungleistungsförderlichen Effekte eines hohen SMIs zu einem gewissen Grad egalalisieren. Die gewichtsadjustierte Sprungleistung bemisst und spiegelt damit im wesentlichen am ehesten die Funktionalität und Qualität der Muskulatur für den individuellen Probanden wieder.

Dies gilt insbesondere für die Sprunganalyse, bei der entgegen bisheriger Messsysteme das intrinsisch individuelle Körpergewicht von der Skelettmuskelmasse gegen die Schwerkraft bewegt werden muss. Die aktive, die Bewegung ausführende Masse der Muskulatur muss nicht nur seinen eigenen Masseanteil gegen die Schwerkraft bewegen, sondern darüber hinaus auch den übrigen Anteil passiver Masse in Form von Wasser, Fett, Bindegewebe und Knochen. Dabei kommt einem präzisen Wissen über die Körperkonstitution und folglich dem Wissen über das Verhältnis dieser beiden Masseanteile zueinander hier eine maßgebliche Bedeutung zu. Die interindividuellen Unterschiede in der Sprunganalyse zwischen Probanden im Alter sowie unter dem Aspekt der Sarkopenie ließen sich so besser als bisher umschreiben und verstehen. Auch wenn dem Muskelmasse bzw. dem Muskelmasseanteil in der

Sprunganalyse eine maßgebliche Bedeutung zukommt, gibt die vorliegende Studie mit den Ergebnissen weitere Hinweise darauf, dass sich im Alter und für die Sarkopenie nicht zwangsläufig die Muskelmasse bzw. der Muskelmasseanteil für die Muskelleistung determinierend darstellt. Vielmehr erhärten sich die Hinweise darauf, dass insbesondere auch die Qualität der vorhandenen Muskulatur im Sinne der Dynapenie maßgeblich mitentscheidend sind und die JM sich dafür als Messsystem potentiell gut zu eignen scheint. (s. Diskussionsabschnitt 4.8 Bewertung der JM in der Sarkopeniediagnostik) Zur Bestätigung und Überprüfung der sich mit den vorhandenen und hier diskutierten Ergebnissen abzeichnenden Beobachtung in Bezug auf die anthropometrischen Daten wäre eine Studie oder Analyse im Matched Pairs Design eine Option. Gleichaltrige Probanden mit ähnlichem Muskelmasseanteil sowie idealer Weise auch BMI sollten dabei auf ihre Performance in der Sprunganalyse bzw. Sprungleistung hin untersucht werden. Sich dabei aufzeigende signifikante Unterschiede in der JM würden die Hinweise auf die Bedeutung der Muskelqualität auch in der Sprunganalyse weiter bekräftigen.

Nach bestem Wissen gibt es bisher, abgesehen von Runge et al. und Siglinsky et al., keine Ergebnisse, die den Zusammenhang zwischen Messungen der Muskelmasse und den erzielten Sprungleistungsparametern näher untersucht haben. [112, 126] Darüber hinaus wurde zwar bei Dietzel et al. die ASM per DXA Analyse für die nachfolgende Sarkopenieeinteilung bestimmt, allerdings bestand dort keine Ergebnisdarstellung, welche die Zusammenhänge in Bezug auf das Gesamtkollektiv berücksichtigte. [128] Auch bei Siglinsky et al. kam die DXA Messung zum Einsatz. Dort konnte zunächst zwischen der ALM und dem Alter ebenso ein negativer, signifikant korrelativer Zusammenhang gefunden werden. Dieser fiel allerdings mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = -0,5$ deutlicher aus als der in der hiesigen Population ermittelte ($r = -0,20$; $p < 0,001$). Dies und die damit auch differierenden Bestimmtheitsmaße könnten mitunter erheblich durch die bei Siglinsky et al. deutlich größere untersuchte Altersspanne begründet sein. [126] Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, dass den Muskelmassemessungen mittels DXA vs. BIA unterschiedliche physikalische Parameter zugrunde liegen. Die Ermittlung des SMI der hiesigen Studie ergab sich demnach aus der Bio-Impedanz-Analyse, während der bei Siglinsky et al. verwendeten ALM und der von Dietzel et al. verwendeten ASM eine DXA Messung zugrunde lag. Unter diesen Aspekten sind auch die nachfolgenden Zusammenhänge zu betrachten. So ergab sich bei Siglinsky et al. darüber hinaus für die PP_T , V_{max} sowie h_{max} ein mittlerer, positiv korrelativer Zusammenhang mit dem SMI von 0,37 bzw. angegeben als r^2 von 0,14. [126] Dies steht in Kontrast zu den hiesigen Ergebnissen, bei denen keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden konnten.

Auf den im Vergleich zur vorliegenden Kohorte ($n= 420$) bei Siglinsky et al. mit $n= 122$ deutlich geringeren Anteil männlicher Studienteilnehmer wurde in vorausgehenden Abschnitten bereits umfassend eingegangen. Darüber hinaus verminderte sich insbesondere die Zahl derer, welche in die für die Sarkopenie besonders relevante Altersspanne fallen würden. Die prinzipiellen Ergebnisse bzgl. eines Rückgangs der Muskelmasse mit dem Alter, wie dies für die ALM in den genannten Studien vorbeschrieben ist, konnte in der vorgelegten Studie für den SMI bestätigt werden. Für den reinen korrelativen Zusammenhang zwischen dem Muskelmasseindex und den Kernparametern der JM ist entsprechend unserer Ergebnisse in Bezug auf die limitierte Altersspanne von keinem signifikanten Zusammenhang auszugehen. Allerdings konnte entsprechend der Partialkorrelation nach Adjustierung für das Alter durchaus ein positiver, wenn auch schwacher, korrelativer Zusammenhang gefunden werden ($r= -0,14$; $p<0,05$). Dahingehend sind sicher weitere Studien mit umfassenderen Probandenzahlen ab der 7. Dekade nötig, einschließlich entsprechender DXA Messungen, um die Zusammenhänge zu klären und etwaige durch die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden zu begründende Differenzen auszuschließen.

Eine noch deutlicher abweichendere Quantifizierungsmöglichkeit der Muskelmasse nutzten Runge et al. So wurde die Muskelmasse über den Wadenmuskelquerschnitt der Probanden mithilfe einer pqCT Bildgebung bestimmt. Für die absolute erzielte Muskelleistungsspitze der Männer ergab sich dort eine laut Runge et al. zunächst mittelstarke Korrelation ($r= 0,34$; $p<0,01$). Mit dem Alter allerdings konnten keine signifikanten Korrelationskoeffizienten in Bezug auf den Wadenmuskelquerschnitt gefunden werden. Darüber hinaus wurde die maximale Sprungleistung in Bezug auf den Wadenmuskelquerschnitt bestimmt. Nachfolgend wurde diese gegen das Alter aufgetragen, wobei sich ein sehr deutlicher korrelativer Zusammenhang aufzeigte ($r= -0,81$; $p<0,01$). [112] Allerdings bleibt bei Runge et al. sowohl die entsprechende Validität dieser Ergebnisse in Bezug auf die am Sprung beteiligte Gesamtmuskulatur offen als auch eine ausgeführte umfassende Diskussion der diesbezüglichen Ergebnisse aus. Die vergleichende Einordnung dieser Ergebnisse sowohl mit den vorliegenden Daten als auch den Arbeiten von Siglinsky et al. ist entsprechend schwierig. [126]

4.4 Diskussion Kernvariablen JM

4.4.1 Alter und Leistungsparameter JM allgemein

Bei den im Fokus der Untersuchung stehenden Kernvariablen der Sprunganalyse wie der Sprunghöhe, den Sprungleistungsparametern, der Sprungkraft, der Geschwindigkeit, der Tiefe der Ausholbewegung und dem EFI zeigten sich anhand der durchgeführten Korrelationen mit dem Alter durchwegs hochsignifikante negative Koeffizienten. (s. Ergebnisse 3.5, **Tabelle 10**) Dies steht prinzipiell in Einklang mit bisherigen Studienergebnissen. [112, 126, 130]

So sprechen z. B. auch Runge et al. von einem durchwegs negativen korrelativen Zusammenhang zwischen dem Alter und den näher untersuchten Messungen der Bodenreaktionskraftanalyse des Beidbeinsprunges und somit einem altersassoziierten Rückgang der Kernparameter in der JM, sowohl für die absoluten wie auch die gewichtsadjustierten Werte der Maximalkraft sowie Maximalleistung. Dabei stellen Runge et al. fest, dass die korrelativen Zusammenhänge mit dem Alter in Bezug auf die Variablen der Leistung deutlicher ausfielen als für die Kraftparameter. So lagen die Korrelationskoeffizienten dort für die absolute Maximalkraft bei -0,61 und die relative bei -0,66. Für die Maximalleistung wurden Koeffizienten von -0,80 für die absolute und -0,86 für die gewichtsbezogene Variable verzeichnet. Die Zusammenhänge waren alle als hochsignifikant zu werten ($p < 0,001$). [112]

In dem von uns untersuchten Kollektiv zeigten sich ebenfalls hochsignifikante Zusammenhänge zwischen dem Alter und der Maximalkraft ($r = -0,27$; $p < 0,001$) sowie der gewichtsadjustierten Maximalkraft ($r = -0,14$; $p < 0,001$). Für die Maximalleistung ließen sich hier entsprechende Koeffizienten von -0,60 (P tot max) und -0,54 für die gewichtsadjustierte Leistungsspitze (PP_T) erheben. Besonders stark ausgeprägte negative korrelative Zusammenhänge fanden sich dabei insbesondere auch bei der Sprunghöhe ($r = -0,54$; $p < 0,001$) und der Maximalgeschwindigkeit ($r = -0,54$; $p < 0,001$). Ebenso negative, wenn auch schwächer ausgeprägte Zusammenhänge ergaben sich darüber hinaus für die Ausholtiefe ($r = -0,31$; $p < 0,001$) und den EFI ($r = -0,11$; $p < 0,001$). Das Bestimmtheitsmaß für die gewichtsadjustierte Sprungleistung belief sich anhand des Alters somit auf rund 29% ($r^2 = 0,29$). In der Arbeit von Runge et al. ließen sich demgegenüber 74% ($r = -0,86$; $r^2 = 0,74$) der Variabilität der gewichtsrelativen Maximalleistung alleine mit dem linearen Zusammenhang zum Alters erklären. [112] Trotz damit deutlich differierender Bestimmtheitsmaße durch das Probandenalter alleine ist dennoch nach wie vor auch im hiesigen Probandenkollektiv von

einer deutlichen altersassoziierten Abnahme der Kernparameter der Sprunganalyse zu sprechen, auf welche in nachfolgenden Abschnitten noch genauer und umfassender eingegangen wird.

Dagegen ist bei Siglinsky et al. nur der Korrelationskoeffizient für die gewichtsbezogene Maximalleistung und das Alter zu entnehmen ($r = -0,78$; $r^2 = 0,61$). Dieser fiel schon niedriger als in der Studie von Runge et al. aus, stellt sich aber nach wie vor deutlicher dar, als in der vorliegenden Arbeit PP_r ($r = -0,54$). So lassen sich bei Siglinsky et al. mit 61% ($r^2 = 0,61$) schon 13% weniger der altersassoziierten Variabilität erklären. Der Wert liegt aber ebenfalls noch deutlich über den 29% ($r^2 = 0,29$) Bestimmtheitsmaß, das die lineare Regressionsanalyse mit dem Alter alleine für die hiesigen Probanden lieferte. [126]

Beim Vergleich der Stärke der Korrelationskoeffizienten zwischen den Studien gilt zunächst zu berücksichtigen, dass sich diese sowohl in ihrer Altersspanne der männlichen Probandenzahl als auch in der Zusammensetzung erheblich voneinander unterscheiden. So umfassen die Arbeiten von Runge et al. ($n = 89$; 18-79 Jahre) sowie Siglinsky et al. ($n = 119$; 27-96 Jahre) jeweils Männer mit einer breiteren Altersspanne bei gleichzeitig weniger Probanden als die vorliegende Arbeit ($n = 457$; 65-90 Jahre). Des Weiteren unterscheiden sich die Ein- und Ausschlusskriterien und die folglich daraus resultierende Zusammensetzung des Untersuchungskollektivs deutlich voneinander (s. 4.2). Im Hauptfokus der bisherigen Untersuchungen zur Quantifizierung und Untersuchung der neuromuskulären Veränderungen im Alter mithilfe der Bodenreaktionskraftanalyse steht die gewichtsbezogene Maximalleistung. [112, 116, 117, 119, 120] Laut Rittweger et al. besteht gerade in der interindividuellen Variabilität der Leistungsparameter beim s2lj, insbesondere für die PP_r , der Vorteil für die Quantifizierung altersassoziiert neuromuskulärer Eigenschaften. [116] Demzufolge wäre aber zu erwarten, dass sich ein nach möglichst gesunden Probanden selektiertes Kollektiv, wie es bei Runge et al. der Fall war [112], deutlich homogener darstellt. So läge die Vermutung nahe, dass es bzgl. der Variabilität der Sprunganalyse in den jeweiligen Jahrgängen zu deutlichen Einschränkungen kommt. Über das Alter hinausgehende Faktoren, wie beispielsweise Multimorbidität und Inaktivität, die in der Literatur mit dem Muskelleistungsverlust assoziiert werden, bleiben dabei womöglich unberücksichtigt und tragen im hiesigen, diesbezüglich heterogeneren Kollektiv mitunter gerade zu einer größeren interindividuellen Variabilität der Sprungleistungsparameter bei. Vor diesem Hintergrund dieser Variabilität wäre die schwächere Korrelation der Sprungleistungsparameter mit dem Alter nicht überraschend. Umgekehrt geben diese Daten einen Hinweis auf die Bedeutung dieser assoziierten Faktoren.

Ebenso bedingt durch die in der vorgelegten Arbeit weit gefassten Einschlusskriterien sind gegenüber Vergleichsstudien auch deutlichere und mehr extremere Werte zu erwarten. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson wird u.a. stark von Extremwerten beeinflusst. Dies stellt sich als weiterer Erklärungsansatz dafür dar, dass sich die Deutlichkeit der Korrelation zwischen Alter und den Variablen der Sprunganalyse, insbesondere der Sprungleistung, bei den Studien mitunter so unterschiedlich darstellt. Allerdings sollten sich Extremwerte bzw. Ausreißer unter Anbetracht der hiesigen 457 Probanden aus einer Altersspannweite von 25 Jahren gegenüber den aus einer weit größeren Altersspanne von 70 Jahren gewonnenen Daten von nur 89 Probanden bei Runge et al ausgleichen.

Bei Siglinsky et al. gelten zwar schon weniger selektive Kriterien in Bezug auf den Probandeneinschluss bzw. Ausschluss. Bei der Diskussion ihrer Ergebnisse stellten Siglinsky et al. bereits fest, dass die Probanden sich dennoch auffallend wenig multimorbide darstellten, obwohl keine positive Selektion nach Gesunden vorgenommen werden sollte. Auch hier ist in Bezug auf die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit von einer größeren Heterogenität auszugehen als im Probandenkollektiv von Runge et al., dabei aber immer noch geringer einzuschätzen als im hiesigen Kollektiv. Dies würde sich kongruent zum soeben diskutierten Erklärungsansatz zeigen, welcher geringer ausfallende Korrelationskoeffizienten zumindest partiell auf einer unterschiedlichen Heterogenität der Kollektive begründet. So fiel der Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter und der gewichtsadjustierten Sprungleistung bei Siglinsky et al. mit $-0,78$ bereits geringer aus als bei Runge et al. ($r = -0,86$), war aber dennoch deutlicher als für die hiesige Untersuchung ($r = -0,54$).

Nichtsdestotrotz könnte es sich letztlich natürlich auch um ein rein lokales, nur die Würzburger Männer betreffendes oder auch regionales Phänomen handeln. Damit könnten unterschiedliche Lebensumstände, das Aktivitätsniveau, Freizeitverhalten, Gesundheitsbewusstsein oder auch ethnische Voraussetzungen zu den Abweichungen des Ausmaßes des Zusammenhangs zwischen dem Alter an sich und den Sprungparametern vorliegen. Weitere große Probandenzahlen umfassende Vergleichsstudien in weiteren Stadtteilen Würzburgs oder auch in anderen Städten Deutschlands und Europas wären in der entsprechenden Altersspanne (65-90 Jahre) und mit entsprechendem Probandeneinschluss nötig, um die hier mehr im Rahmen einer Pilotstudie gewonnenen Beobachtungen zu klären, welche mitunter durch die genannten Faktoren herbeigeführte Heterogenität bzw. Einschränkung der Variabilität und Ausreißer der Kohorten erklärt wurden. Darüber hinaus muss bedacht werden, dass es sich ebenso wie in den vorausgehenden und hier im Zusammenhang diskutierten Studien bei allen bisher um Querschnittstudien gehandelt hat.

Kausale Zusammenhänge können damit noch nicht aufgedeckt werden. Es ergeben sich lediglich Hinweise auf in longitudinalen Studien genauer zu prüfende und zu untersuchende Effekte der Multimorbidität und Mobilitätslimitierung auf die Leistungsfähigkeit unter dem Aspekt der Sprunganalyse.

4.4.2 Alter und Muskelleistung

Nachfolgend sollen die Ergebnisse zur Sprungleistung vom hiesigen Probandenkollektiv sowohl quantitativ als auch insbesondere unter dem Aspekt des Alters im Einzelnen genauer beleuchtet und diskutiert werden. Bei der hiesigen Untersuchung ergaben sich für den korrelativen Zusammenhang zwischen dem Alter der Probanden und der gewichtsadjustierten Maximalleistung ein Koeffizient nach Pearson von $-0,54$ ($p < 0,001$), wobei der Zusammenhang zur nicht gewichtsadjustierten absoluten Maximalleistung mit $-0,60$ ($p < 0,001$) noch stärker ausgeprägt war. Damit stellt sich der negativ korrelative, im Sinne der Pearson Korrelation lineare Zusammenhang zusammen mit der h_{\max} ($r = -0,54$; $p < 0,001$) und V_{\max} ($r = -0,54$; $p < 0,05$) am deutlichsten dar. (s. dazu auch Ergebnisse 3.5, **Tabelle 10**)

Muskelleistung quantitativ

An dieser Stelle sollen die Ergebnisse zu den erzielten Muskelleistungswerten in der hier durchgeführten Sprunganalyse quantitativ im Kontext mit den bisherigen Studienergebnissen dargestellt und die sich etwaig aufzeigenden Diskrepanzen der Ergebnisse zwischen den Studien umfassend diskutiert werden.

Für das männliche Kollektiv in der 7. und 8. Lebensdekade fanden sich in unserer Kohorte jeweils 106 bzw. 263 Probanden wieder. Dabei ließ sich für die 7. Dekade ein Mittelwert von $29,79$ W/kg (SD $\pm 5,89$) bzw. $25,51$ W/kg (SD $\pm 6,04$) für die 8. Dekade ermitteln. In der hiesigen 9. Dekade ($n=88$) wurde ein MW von $20,19$ W/kg (SD $\pm 5,40$) erzielt.

Demgegenüber lagen die Werte in der Arbeit von Tsubaki et al. ($n=210$) für die sich mit der hiesigen Studie überschneidenden 7. ($n=36$) und 8. ($n=29$) Dekade bei einer im Mittel erzielten körperrichtsrelativierten Sprungleistung (PP_r) von $35,7$ W/kg (SD $\pm 6,8$) bzw. $31,7$ W/kg (SD $\pm 6,3$). Diese stehen in deutlichen Kontrast zu den entsprechenden Untersuchungsergebnissen für das hiesige Kollektiv ($n=457$). So liegen die Differenzen in beiden vergleichbaren Dekaden mit $5,91$ W/kg in der 7. bzw. $6,19$ W/kg in der 8. deutlich unter denen von Tsubaki et al., wobei dort für die 9. Dekade keine Daten vorlagen. Bei dem in Japan untersuchten Kollektiv wurden möglichst wenig eingeschränkte, gesunde und fitte Probanden mit dem primären Ziel selektiert, die Applikation und entsprechend aufgestellten

Referenzwerte von Runge et al. an einem asiatischen Kollektiv zu messen. Man kam zu dem Ergebnis, dass sich keine relevanten Abweichungen zwischen den beiden Kollektiven ergaben. Wie schon im Zusammenhang mit der Arbeit von Runge et al. diskutiert, ist es insofern keine Überraschung, sondern eher eine Bestätigung der hier formulierten Hypothese (s. 1.7), dass insbesondere die gewichtsadjustierte Maximalleistung im Alter bei einem nicht vorselektierten bevölkerungsrepräsentativen Kollektiv niedriger ausfiel. Weitere Vergleichsdaten in Bezug auf die Leistungsparameter in der JM lieferten Dietzel et al. Bei den in Berlin untersuchten Männern (n= 353) ergaben sich für die 7.-9. Dekade folgende Unterschiede. Für die dort untersuchten 57 Männer der 7. Dekade belief sich die körpergewichtsrelativierte Maximalleistung auf 35,2 W/kg (SD +/-6,1), wohingegen bei den 106 Würzburger Männern innerhalb der betreffenden Dekade 29,79 W/kg (SD+/- 5,89) zu verzeichnen sind. Zwar liegen die Würzburger damit über 5 W/kg unter den Leistungsmaxima der Berliner, allerdings ist der Mittelwert innerhalb der 7. Dekade der Würzburger mit 67,10 Jahren (SD +/- 1,38) deutlich höher, als der der Berliner mit 64,0 Jahren (SD +/- 2,6). [127] Dies liegt mitunter daran, dass die 7. Dekade der Würzburger aufgrund der erst bei 65 Jahren beginnenden Einschlusskriterien ausschließlich aus Probanden im Alter von 65 und 69 Jahren gebildet wird. Aufgrund des beschriebenen negativen korrelativen Zusammenhangs von Alter und Maximalleistung sind die bestehenden Differenzen aufgrund der durchschnittlich älteren Probanden bei den Würzburgern zu relativieren. [112] In Bezug auf die Mittelwerte der 8. Dekade, welche bei Dietzel et al. 56 Männer inkludierte, betrug die PP_r auf 27,8 W/kg (SD+/-5,9). Demgegenüber steht im vorliegenden Kollektiv eine Sprungleistung von 25,50 W/kg (SD+/-6,04), die sich aus der Analyse von 263 in dieser Altersgruppe untersuchten Männern ergab. Die Differenz von 2,3 W/kg scheint zunächst vernachlässigbar, allerdings handelt es sich hierbei um körpergewichtsrelativierte Angaben. Damit multipliziert sich eine zunächst als gering erscheinende Differenz mit dem Körpergewicht der Probanden. Der relative Unterschied von 8,3%, gemessen am Mittelwert der Berliner, bleibt jedoch gleich. Für die älteste zu vergleichende, 9. Dekade konnten die betroffenen 29 Berliner Männer auf einen Mittelwert von 26,1 W/kg (SD+/-4,2) verweisen. Bei den hier in dieser Altersspanne untersuchten 88 Würzburger Männern konnte dabei ein Mittelwert von 20,19 W/kg (SD+/- 5,40) erzielt werden. Mit einer relativen Abweichung von 22,6% liegt der Mittelwert der hiesig untersuchten Würzburger am deutlichsten unter den Berliner Referenzwerten von Dietzel et al. So war zwar insgesamt von einer deutlich geringeren Sprungleistung der hiesigen Probanden im Vergleich von Dietzel et al. zu sprechen, wobei sich mit zunehmendem Alter und insbesondere der höchsten Altersdekade die deutlichsten Defizite

aufzeigen ließen. Wohlbemerkt handelt es sich hierbei um einen Vergleich der Mittelwerte, welcher sich aus einer ganzen Dekade ergab. Dies liegt darin begründet, dass sich die Referenzdaten von Dietzel et al. aufgrund der starken Limitierung der Probandenzahl auf dekadenweise Angaben beschränkten. [127] Da die hiesigen Ergebnisse einen deutlichen Zusammenhang des BMIs auch über das Alter hinaus auf die PP_r aufzeigen konnten, wurde auch nach Unterschieden in Bezug auf den BMI der zu vergleichenden Dekaden gesucht. Es bestanden aber weder in der 7. ($28,0 \text{ kg/m}^2 \text{ SD } +3,9$) noch 8. ($27,9 \text{ kg/m}^2 \text{ SD } +3,3$) Dekade Unterschiede zu hiesig ermittelten BMIs ($28,17 \text{ kg/m}^2 \text{ SD } +3,98$ bzw. $28,31 \text{ kg/m}^2 \text{ SD } +4,19$). Zwar zeigt sich in der 9. Dekade eine Differenz des BMI von $1,1 \text{ kg/m}^2$, bei der Dietzel et al. den geringeren BMI verzeichnen ($26,1 \text{ kg/m}^2 \text{ SD } +3,4$), diese scheint aber zu gering, um die gefundenen Unterschiede alleinig zu begründen ($27,11 \text{ kg/m}^2 \text{ SD } +2,84$). Dies setzt aber voraus, dass kongruent zu den hier aufgezeigten Effekten (s. 4.3.1) de facto auch in der Kohorte von Dietzel et al. ein hoher BMI mit schlechterer Sprungleistung assoziiert war.

Dabei geht aus der bei Dietzel et al. publizierten Beschreibung der Methodik in Bezug auf die letztendlich für die weiteren Analysen extrahierten Werte unterschiedlicher Variablen allerdings nicht ganz klar hervor, ob hier von den drei durchgeführten Sprüngen der „Beste“ ausgewählt wurde, von welchem dann nachfolgend alle Werte für die Variablen extrahiert wurden. Wenn ja, dann bleibt zudem offen, nach welchem Kriterium der „Beste“ bewertet wurde. Sollte dies ebenfalls entsprechend der höchsten erzielten gewichtsadjustierten Sprungleistung erfolgt sein, ließen sich die aufgezeigten Differenzen zur hiesigen Studie nicht in der ausgeführten Methodik der Datenselektion begründen. Wenn allerdings nach der Sprunghöhe oder anderen Kriterien selektiert wurde, wäre eher von geringeren Sprungleistungsergebnissen bei Dietzel et al. auszugehen. Diese liegen allerdings ohnehin bereits über den hiesigen. Ebenso und umso wahrscheinlicher erfolgte, der Beschreibung nach zu urteilen, für jede einzelne Variable die Extraktion des Wertes individuell aus einem der drei Sprünge. Somit würden bei Probanden die Werte der unterschiedlichen Variablen nicht zwangsläufig ein und demselben Sprung entstammen. Das wäre beim intraindividuellen Vergleich der Variablen grundlegend problematisch, da diese in engem Zusammenhang zueinanderstehen und in Abhängigkeit von Art und Ausführung des jeweiligen Sprunges stark variieren können. Die reine Analyse bspw. des Zusammenhanges zwischen Alter und Muskelleistung des Kollektivs oder auch der interindividuelle Vergleich der Muskelleistung von Probanden hingegen wäre dennoch unproblematisch.

So sollte dies für die sich hier auf die nur Altersdekaden-abhängig beschränkende Analyse der gewichtsadjustierten Sprungleistung keine Rolle spielen bzw. die Differenz der PP_r zur

hiesigen Studie nicht begründen können. Insofern sind in der Methodik selbst für die geringer ausfallenden Sprungleistungsmaxima der Würzburger Kohorte gegenüber den untersuchten Berlinern keine grundlegenden Ursachen zu erörtern. Allerdings lassen sich die Unterschiede möglicherweise damit begründen, dass Dietzel et al., entgegen der vorgelegten Studie, auch den Ausschluss von Probanden mit künstlicher Gelenkendoprothetik, vorhandenen Metallimplantaten und Gehhilfen vorsah. Damit wäre von einer Unterrepräsentation potentiell mobilitätslimitierter Probanden auszugehen, welche folglich zu geringeren Sprungleistungswerten geführt hätte. Weiter ließe sich damit auch die mit aufsteigendem Alter weiter zunehmende Diskrepanz der Sprungleistung zwischen beiden Studien begründen. Mit zunehmendem Alter nimmt insbesondere der potentielle Anteil der unberücksichtigt gebliebenen mobilitätslimitierten Probanden zu. Letztendlich können aber auch hier regionale Unterschiede zwischen den Berlinern und Würzburgern, wie Art und Umfang des Aktivitätsniveaus, Freizeitverhaltens, etc. Mitursache für die ausgeführten und diskutierten Differenzen sein. Weitere Studien wären für eine breitere Datenbasis in Deutschland aber auch Europa nötig.

Um die in dieser Studie von den Würzburger Männer erzielten Maximalleistungswerte in Bezug auf das Körpergewicht (PP_r), sowohl absolut als auch insbesondere relativ betrachtet zueinander, mit weiteren bestehenden Studienergebnissen einordnen zu können, wurde, sofern publiziert, die lineare Regressionsgerade zu Hilfe genommen. Zur graphischen Einordnung und Darstellung der etwaigen Unterschiede der besagten Geraden zueinander dient **Abbildung 27**.

Wir vergleichen zunächst die Studienergebnisse von Runge et al. als Grundlage bzw. die dort bemessene lineare Regressionsgerade ($y = 77,4 - 0,62x$) für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Alter der Probanden und der gewichtsadjustierten Maximalleistung. Errechnet man anhand der entsprechenden Funktion, in gleicher Art und Weise, wie dies im Ergebnisteil (s. 3.5) für unsere Daten durchgeführt und geschildert wurde, den Initialwert ($x=65$) und definierten Endpunkt ($x=90$) für das Esslinger Kollektiv bzw. das von Runge et al., erhielt man Leistungswerte von 37,1 bzw. 21,6 W/kg. Wohlgermerkt stellt das Errechnen des Endpunktes bei 90 Jahren für das Kollektiv bei Runge et al. eine deutliche Extrapolation dar, da das männliche Kollektiv nur Probanden bis 79 Jahre umfasste. Strenggenommen wäre damit keine Aussage über diesen für Runge et al. „blinden“ Bereich zulässig. Wie auch dem hiesigen Ergebnisteil (3.5.2) zu entnehmen ist, liegen die Würzburger Männer ($y = 70,12 - 0,60x$) mit einer PP_r von 31,12 W/kg ($x=65$) und 16,12 W/kg ($x=90$) hier deutlich unter den Esslinger Spitzenwerten. In Anbetracht der Tatsache, dass es sich beim

Esslinger Kollektiv explizit um ein möglichst gesundes und nicht bevölkerungsrepräsentatives Kollektiv handelte, während das hiesig untersuchte womöglich mitunter aufgrund der deutlich weniger strengen Ausschlusskriterien sowie Rekrutierung deutlich niedrigere Werte erzielte, scheint dies wenig überraschend. Vielmehr scheint sich zu bestätigen, dass in einem bevölkerungsrepräsentativen Kollektiv die Sprungleistung deutlich unterhalb der Werte von fitten und gesunden Vergleichsprobanden liegt, wie sie bei Runge et al. untersucht wurden.

Anhand der annähernd gleichen Steigung in beiden Regressionsgeraden lässt sich bereits erahnen, dass sich über die Altersspanne von 65 bis 90 Jahren die absolute Differenz zwischen den Daten von Runge et al. und unserem Würzburger Kollektiv annähernd gleich verhält. (s. **Abbildung 27**) So büßen die Esslinger (15,5 W/kg) als auch die Würzburger Probanden (15,00 W/kg) über 25 Jahre in vergleichbarem Ausmaß an Sprungleistung ein. Gemessen an den unterschiedlich ausfallenden Initialwerten, ausgehend vom 65. Lebensjahr, bedeutet dies allerdings bis zum 90. Lebensjahr einen relativen Leistungsverlust von 41,78 % bei Runge et al. bzw. 48,20% bei den in Würzburg untersuchten Männern. [112] Damit lässt sich die Hypothese, dass der altersassoziierte Rückgang der Sprungleistung in einem Kollektiv der Normalbevölkerung stärker ausfällt als in einem gesunden, fitten Kollektiv, nur partiell bestätigen. Auch wenn sich die Leistungsmaxima der Würzburger deutlich unter denen der Esslinger einordnen, bleibt die Rate der Veränderung mit 0,60 W/kg/Jahr bei den Würzburgern nahezu identisch mit dem Verlust von 0,62 W/kg/Jahr der Esslinger. [112] Relativ wirken sich diese Veränderungen aufgrund der deutlich niedrigeren Ausgangswerte natürlich intensiver bei den Würzburgern aus (-48,20%). In **Abbildung 27** findet sich die lineare Regressionsgerade von Runge et al. ($y = 77,4 - 0,62x$) in grün dargestellt, auch noch einmal als Referenzgerade zur in dieser Untersuchung ermittelten und in rot eingezeichneten Regressionsgeraden ($y = 70,12 - 0,60x$).

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen Siglinsky et al. in ihrer Arbeit an einer US-amerikanischen Population. Dabei setzte sich das Gesamtkollektiv (27-96 Jahre) wohlgermerkt aus vier, die männliche Subgruppe (n=119) aus drei unterschiedlichen Studien zusammen. Die untersuchte Altersspanne ist mit 27-96 Jahren mit der von Runge et al. vergleichbar. [112, 126] Auch hier wurde mithilfe der Linearen Regressionsanalyse zwischen Alter und gewichtsrelativer Maximalleistung (PP_r) eine lineare Regressionsgerade ($y = 56,63 - 0,45x$) ermittelt. [126] Dabei zeigte sich zunächst durch Einsetzen der entsprechenden Werte für x bei 65 Jahren eine Sprungleistung von 27,38 W/kg, die sogar nochmal unter der im vorgestellten Kollektiv ermittelten Leistung (31,12 W/kg) und annähernd 10W/kg unter den Esslinger Werten lag. Beim definierten Endpunkt von 90 Jahren ergab sich so eine

Sprungleistung von 16,13 W/kg, welche fast identisch mit unseren Ergebnissen ist (16,12 W/kg). [112, 126] Die Leistungseinbuße innerhalb der amerikanischen Kohorte betrug damit absolut 11,26 W/kg im Zeitraum von 65 bis 90 Jahren. Gemessen am dortigen studieninternen Initialwert (27,38 W/kg) ist damit ein relativer Rückgang von 42,15% zu verzeichnen. Damit zeigten sich bei Siglinsky et al. gegenüber den Würzburgern noch deutlich geringere Sprungleistungsparameter. Allerdings ergab sich anhand der Untersuchungen eine deutlich flachere Steigung und damit jährliche Abnahme der PP_r von nur 0,45 W/kg. So erklärt sich, warum beim bestimmten Endpunkt von 90 Jahren die Defizite der Würzburger und Amerikaner in gleichem Maße unter denen der „gesunden“ Esslinger lagen. Das lässt sich auch grafisch in **Abbildung 27** anhand des Schnittpunktes zwischen den beiden in schwarz (Siglinsky et al.) und rot (Würzburger Kollektiv) dargestellten Regressionsgeraden ermitteln. In Bezug auf die Steigung der linearen Regressionsgeraden gilt bei Siglinsky et al. allerdings zu bedenken, dass diese zwar einer vergleichbaren Altersspanne von 27-96 Jahren wie bei Runge et al. (18-79 Jahre) entstammte, hierbei aber eine US-amerikanische Population mit anderen Ausgangsvoraussetzungen (s. 4.2) untersucht wurde. Ihre auch gegenüber Runge et al. deutlich flacher ausfallende Steigung der diesbezüglichen Regressionsgeraden erklären sich Siglinsky et al. mit einer schon bei den jüngeren Probanden niedrigeren erzielten Ausgangssprungleistung. Dennoch war das dortige Bestimmtheitsmaß vergleichbar mit anderen Studien. So zeigten laut Siglinsky et al. schon mehrere Studien, dass die junge Bevölkerung der USA, gegenüber den älteren Generationen, mehr Übergewicht und Bewegungsmangel aufwies. [126, 141] Damit wäre der mit dem Alter weniger deutlichere Rückgang der Sprungleistung nicht zwangsläufig nur darauf zurückzuführen, dass es im hohen Alter zu geringer ausgeprägten Sprungleistungsverlusten, als in anderen Studien kam. Vielmehr könnten ganz wesentlich die niedrigeren Ausgangswerte in den jüngeren untersuchten Jahrgängen den differierenden Verlauf der Regressionsgeraden erklären. [126] So lag die Sprungleistung absolut gesehen, wie soeben beschrieben am Kreuzungspunkt der roten und schwarzen Geraden in **Abbildung 27** ersichtlich, nicht wesentlich unter denen der hiesigen Probanden.

Allerdings scheint die Aussagekraft der Regressionsgerade bei Siglinsky et al. unter nachfolgend ausgeführten Aspekten fraglich. Während Tsubaki et al. bereits die Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse von Runge et al. in Japan bestätigen konnten, gibt es nach unserem Wissen keine vergleichbare Untersuchung einer US-amerikanischen oder nordamerikanischen Population. Wie Siglinsky et al. bereits selbst feststellen, handelt es sich bei ihrer Studie um die zu diesem Zeitpunkt größte in den USA, die unter anderem den

linearen Zusammenhang des Alters auf die Sprungleistung untersucht hat. Sie verweisen darauf, dass bei ihnen deutlich weniger restriktive Ausschlusskriterien verwendet wurden und eine direkte Vergleichbarkeit ihrer Ergebnisse zur Sprungleistung mit denen von Runge et al. damit nur eingeschränkt gegeben ist bzw. bei der Diskussion berücksichtigt werden muss.

[126] Eine ausreichend große Studie, welche ein US-Kollektiv mit vergleichbar restriktiven Kriterien wie bei Runge oder Tsubaki et al. [112, 124] für gesunde, fitte alte Probanden umfasste, wäre nötig, um die Ergebnisse von Siglinsky et al. zunächst besser innerhalb der USA einordnen, interpretieren und diskutieren zu können. Nachfolgend ließen sich dann die Beobachtungen qualifizierter mit den deutlich umfangreicheren Daten der diskutierten Studien vergleichen, um daraus letztendlich genauere Erkenntnisse über den Sprungleistungsverlauf im Alter, insbesondere bei kranken und mobilitätslimitierten Probanden, zu gewinnen. [112, 124, 127-129]

Trotz der sehr unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten aus den verschiedenen Kollektiven, in Folge unterschiedlicher Auswahl der Probanden und untersuchter Altersspannen, ist es bemerkenswert, dass der Verlauf der sich daraus ergebenden Regressionsgeraden sehr ähnlich ausfällt. (s. **Abbildung 27**) Zwar liegt die hiesige Regressionsgerade (rot) deutlich unter der von Runge et al. (grün), dennoch verlaufen beide beinahe exakt parallel zueinander. Die Hintergründe der daraus abzuleitenden, deutlich niedrigeren Sprungleistungswerte wurden eingehend diskutiert. Obwohl die Steigung der Regressionsgeraden im hiesigen Kollektiv ausschließlich anhand der 65 bis 90-Jährigen ermittelt wurde, gleicht sie sehr gut derer, die bei Runge et al. anhand von lediglich 89 gesunden Männern über eine deutlich weitere Alterspanne von 18-79 Jahren erhoben wurde. Damit ließe sich die Hypothese, dass die im hohen Alter hinzukommenden Risikofaktoren zu

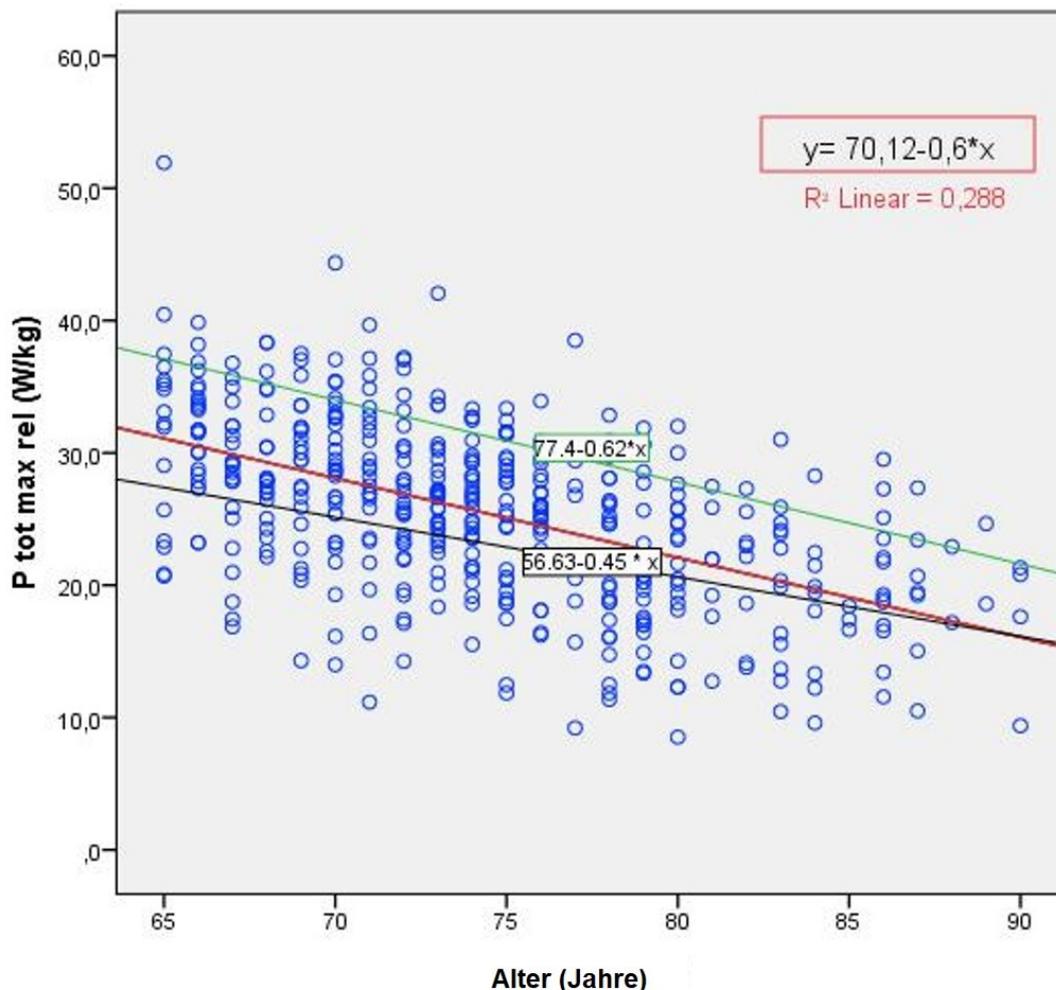


Abbildung 27: Hier zeigen sich die in unterschiedlichen Studien ermittelten und hier diskutierten Regressionsgeraden, aufgetragen in einem einfachen Streudiagramm der in dieser Studie gemessenen PPr (blaue Datenpunkte). Die sich daraus ergebende lineare Regressionsgerade ist in rot eingezeichnet. Darüber hinaus befindet sich darüber, annähernd parallel dazu verlaufend, die 2004 von Runge et al. an einem gesunden Referenzkollektiv ermittelte Gerade (grün). Unterhalb der roten befindet sich die Regressionsgerade von Siglinsky et al. (schwarz). Sie zeigt einen deutlich flacheren Verlauf und bildet bei ca. 90 Jahren einen Schnittpunkt mit der roten Gerade.

einem überproportionalen Leistungsverlust führen, anhand der durchgeführten Untersuchung nicht bestätigen. (1.7)

Allerdings zeigte sich zwischen dem Alter und dem erzielten EFI% Score dieses Studienkollektives ein schwach negativer korrelativer Zusammenhang ($r = -0,11$; $p < 0,05$). Beim EFI% Score handelt es sich um eine Angabe darüber, wie viel Prozent des als 50. Perzentile / Median definierten Wertes vom jeweiligen Probanden in Bezug auf das Lebensalter erreicht wurde. Wie in der Einleitung zur GRFP eingehend ausgeführt, basiert dies auf den erzielten Maximalleistungswerten eines gesunden Referenzkollektives, genormt nach Alter und Geschlecht (s. 1.6.1.2 Variablen der JM beim s2lj). Durch den sich aufzeigenden negativen Zusammenhang wäre von einer mit den höheren Jahrgängen zunehmenden Diskrepanz der EFI Perzentile zu der hier erzielten PP_r auszugehen. Würden die PP_r Werte der Probanden lediglich absolut ohne Änderung der Proportionalität zueinander niedriger ausfallen, dürfte kein signifikanter korrelativer Zusammenhang bestehen. Dies war aber der Fall, wenn auch nur schwach ($r = -0,11$; $p < 0,05$). Konnten die 65-Jährigen des hiesigen Kollektives im Mittel noch einen EFI%-Score von 82,90% erreichen, waren es bei 90 Jahren nur noch 74,40% und damit 8,50 EFI% Punkte weniger. (s. Ergebnisse 3.5.6 Alter und der Esslinger Fitness Index (EFI)) Insbesondere in den hohen Jahrgängen vergrößerte sich damit die ohnehin schon bestehende deutliche Diskrepanz zu den Referenzwerten der Sprungleistung. Die Annahme liegt nahe, dass eine altersbedingte Zunahme des Anteils multimorbider und mobilitätslimitierter Probanden in einem Studiensetup wie dem hiesigen zur Leistungsdiskrepanz in der Sprunganalyse gegenüber Vergleichsgruppen geführt hat, welche einer gezielten Positiv-Selektion nach gesunden, fitten Probanden unterlagen. Umgekehrt formuliert, schlossen die Kriterien des Referenzkollektivs gerade mit zunehmendem Alter diejenigen aus, welche aufgrund zunehmender Multimorbidität und Mobilitätslimitierung für eine potentiell niedrigere Sprungleistung verantwortlich gewesen wären. Nichtsdestotrotz lag das aus der hiesigen linearen Regressionsanalyse hervorgehende Bestimmtheitsmaß ($r^2=0,013$) bei lediglich 1,3 %. Somit hat der sich andeutende und oben ausgeführte Trend, dass mit zunehmendem Alter die Diskrepanz zwischen den hiesigen PP_r und den Referenzwerten auch ansteigt, eine eingeschränkte Aussagekraft. Die einleitend formulierte Hypothese, es würde im Alter zu einem deutlichen überproportionalen Rückgang der Sprungleistung (PP_r) kommen, kann damit nicht bestätigt werden. Dennoch waren die Beobachtungen signifikant und geben Anlass für nachfolgende Studien, beispielsweise durch Isolierung der Faktoren Multimorbidität und Mobilitätslimitierung im Alter, die mit der Sprungleistung assoziierten und zu beobachtenden Effekte näher zu untersuchen.

Generell ist anzumerken, dass wir die Teilnahmewilligkeit der Probanden nicht beeinflussen konnten. So wäre denkbar, dass gerade die Personen, die möglicherweise zu deutlich schlechteren Sprungleistungswerten und einer entsprechend steiler abfallenden Regressionsgeraden beigetragen hätten, nicht an der Studie teilgenommen haben. Gründe dafür könnten die begleitenden Lebensumstände wie Krankheit, Progress chronischer Erkrankungen und eine entsprechende Multimorbidität im allgemeinen Sinne, gerade mit zunehmendem Alter, sein. [9] Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass auch für die GRFP die Erfassung der besonders Leistungseingeschränkten ab einem gewissen Punkt limitiert ist. So wurden hier nur Probanden erfasst, welche auch in der Lage waren, einen Beidbeinsprung mit verantwortbarem Verletzungsrisiko sowie zumutbarer Belastung zu absolvieren. Darüber hinaus konnten aus logistischen und organisatorischen Gründen nicht alle teilnahmewilligen Probanden vor Ort untersucht und im Studienkollektiv erfasst werden. Die telefonische Kontaktaufnahme erfolgte innerhalb der Liste der eingegangenen Zusagen möglichst randomisiert.

Wie schon postuliert, sind weitere Querschnittstudien in der sarkopenierelevanten Population in unterschiedlichen geographischen Regionen nötig, sowie darüber hinaus insbesondere groß angelegte und langfristige longitudinale Studien, um den interindividuellen Verlauf der Muskelleistungsfähigkeit sowie die Relevanz der sich mit dem Alter häufenden zusätzlichen leistungsdeterminierenden Faktoren genauer aufzuklären.

4.4.3 Alter und Sprungkraft

Im Vergleich zu den Daten von Runge et al., bei denen sich die Koeffizienten der gewichtsrelativen ($r = -0,66$, $p < 0,001$) und der absoluten Maximalkraft ($r = -0,61$, $p < 0,001$) nur marginal unterscheiden, zeigt sich, dass der Unterschied des absoluten ($r = -0,27$) zum relativen ($r = -0,14$) Korrelationskoeffizienten im Zusammenhang mit dem Lebensalter in der vorliegenden Population deutlicher ausfällt. Kann man bei einem Koeffizienten von $-0,27$ ($p < 0,001$) für die absolute Sprungkraft noch von einem schwachen bis mittleren korrelativen Zusammenhang ausgehen, muss man bei der F tot max rel ($r = -0,14$; $p = 0,01$) von einem schwachen bis nicht vorhandenen linearen korrelativen Zusammenhang mit dem Alter sprechen. Konnte man so zunächst davon ausgehen, dass mit zunehmendem Alter eine Abnahme der erzielten maximalen Sprungkraft im hiesigen Kollektiv zu verzeichnen war, konnte man durch Adjustierung mit dem jeweiligen Körpergewicht der Probanden zeigen, dass dieser Zusammenhang am ehesten auf eine ebenso mit dem Alter einhergehende Abnahme des Körpergewichtes ($r = -0,19$; $p < 0,001$) zurückzuführen war. Die durch eine

geringere Körpermasse automatisch resultierende, geringere auf die GRFP einwirkende Gewichtskraft scheint infolgedessen maßgeblich verantwortlich für den sich zunächst aufzeigenden negativen korrelativen Zusammenhang zwischen Alter und Maximalkraft ($r = -0,27$; $p < 0,001$) zu sein. Gänzlich relativiert die Gewichtsadjustierung den altersassoziierten Maximalkraftverlust jedoch nicht. So bleibt ein schwach negativer signifikant korrelativer Zusammenhang zwischen Alter und $F_{\text{tot max rel}}$ bestehen ($r = -0,14$; $p = 0,01$). Damit ist letztendlich von einem altersassoziierten leichten Verlust der erzielten Maximalkraft während der Absprungphase auszugehen, welcher sich nicht allein durch Veränderungen des Körpergewichtes begründen lässt.

Wohlbemerkt besteht im hiesig untersuchten Kollektiv aber keine altersassoziierte Tendenz zur Untergewichtigkeit. Bei altersassoziiierter signifikanter Abnahme der Körpergröße ($r = -0,26$; $p < 0,001$) zeigte sich auch eine gleichzeitige Minderung des Körpergewichts ($r = -0,19$; $p < 0,001$). Das Verhältnis von Größe und Gewicht zueinander, wie im Zusammenhang mit dem BMI im Abschnitt 3.4.2.1 ausgeführt, bleibt somit relativ gleich und unterliegt im hiesigen Kollektiv keinen signifikanten Änderungen mit zunehmendem Alter ($r = -0,090$; $p = 0,06$).

Letztlich lassen sich so die Unterschiede der Korrelationskoeffizienten innerhalb der untersuchten Kohorte, je nach Adjustierung mit oder ohne Körpergewicht, weitestgehend klären. Warum es bei Runge et al. zu keinen wesentlichen Unterschieden zwischen den entsprechenden Koeffizienten kam, ist am ehesten mit der dort wesentlich breiteren Altersspanne (18-79 Jahre) zu begründen. Darüber hinaus und auch gerade deshalb stehen die dortigen Ergebnisse in Bezug auf die Sprungkraft auch in anderem Zusammenhang zu der mit dem Alter alternierenden Anthropometrie des dortig untersuchten männlichen Kollektivs. So verzeichneten Runge et al. [112] in ihrer Kohorte entgegen den hiesigen Beobachtungen eine signifikante altersassoziierte Zunahme des BMIs ($r = 0,36$; $p < 0,01$), primär durch Abnahme der Körpergröße ($r = -0,47$; $p < 0,01$) bei gleichbleibendem Körpergewicht. Ein Vergleich zu den hier dargelegten Ergebnissen der Sprunganalyseparameter und der Diskussion diesbezüglich fällt entsprechend schwer.

Sprungkraft quantitativ

Auch bei Dietzel et al. 2013 zeigen sich sowohl für alle dort durchgeführten neuromuskulären Performancetests als auch insbesondere für die körpergewichtsrelativierte Sprungleistung (PP_r), ebenso für die Sprungkraft ($F_{\text{tot max rel}}$) und auch für die Geschwindigkeit (V_{max}) negative korrelative Zusammenhänge mit dem Alter. In der bisherigen Literatur sind wenige

Erkenntnisse über die gemessene Maximalkraft während der Absprunghase vorhanden. Dietzel et al. stellten fest, dass es beim untersuchten Kollektiv zwischen der 3. und 9. Dekade, bemessen am jeweiligen Mittelwert, zu einem relativen Rückgang der gewichtsadjustierten Sprungkraft um 20% kam. Dabei ist allerdings die gewählte Altersspanne mit 60 Jahren sehr weit. Zudem bemaß sich der Wert am Gesamtkollektiv von Männern und Frauen. Damit bleiben etwaige geschlechterabhängige Faktoren unberücksichtigt. [127] Stellt man diese Ergebnisse in Relation zu den hiesigen Erkenntnissen, bei denen anhand der linearen Regressionsgerade die Differenz zwischen dem 65. und 90. Lebensjahr bei Männern ermittelt wurde, ergab sich hier für die $F_{tot\ max\ rel}$ ein Rückgang von lediglich 8%. Dabei gilt zu bedenken, dass der Initialwert, an dem der relative Rückgang bemessen wurde, deutlich von den Daten von Dietzel et al. differiert. So stellten Dietzel et al. bereits fest, dass es erst ab der 5. Dekade zu einer signifikanten Reduktion der gewichtsadjustierten Sprungkraft kam. Von da an ist anhand der publizierten Mittelwerte für die betreffenden Dekaden allerdings kaum noch ein Rückgang der erreichten Maximalkraft zu verzeichnen. [127] Somit lässt sich diese Erkenntnis in der hiesigen Untersuchung zunächst bestätigen.

In Zusammenschau mit der Literatur in Bezug auf die Veränderung der Sprungkraft mit dem Alter während des s2lj lassen die vorliegenden Daten darauf schließen, dass es nach einem frühen Rückgang, wie er in Dietzel et al. 2013 beschrieben wurde [127], nachfolgend zu einem weniger stark ausgeprägten Rückgang im höheren Alter (65-90 Jahre) kommt. Dies ließe sich mit den Erkenntnissen zur altersassoziierten linearen Regression der Kraft in dem hier untersuchten Kollektiv und den sich daraus ergebenden Mittelwerten für $F_{tot\ max\ rel}$ feststellen.

Bei der erzielten körperrgewichtadjustierten Maximalkraft im Beidbeinsprung handelt es sich, wie bereits erwähnt, nicht um die entscheidende Determinante zur Quantifizierung neuromuskulärer Leistungsfähigkeit im Alter. [112, 116, 117, 119, 120] Vielmehr ergibt sich die Muskelleistung aus dem Produkt von Kraft und Geschwindigkeit. [111] Damit wäre davon auszugehen, dass die Komponente der Kraft, welche mit dem s2lj quantifiziert wurde, im hohen Alter (>65 Jahre) zu einem womöglich weniger bedeutenden Anteil zum Rückgang der Sprungleistung beiträgt und die Veränderung der Geschwindigkeit bzw. in diesem Fall der bestimmten Maximalgeschwindigkeit im Alter eine zentrale Rolle zukommt. (s. 4.4.5) Wohlbemerkt lässt sich mit der erzielten gewichtsrelativierten Maximalkraft während der Absprunghase des untersuchten s2lj nicht auch zwangsläufig auf die Maximalkraft schließen, die der Proband in der Lage ist zu leisten. So stellen auch Dietzel et al. schon fest, dass der Vergleich zwischen der gemessenen Maximalkraft in der Sprunganalyse mit

Messungen, welche einer isometrischen oder isokinetischen Muskelkontraktion entstammten, nicht optimal erscheint. [127] Auf diesen Aspekt soll noch einmal nach erfolgter Diskussion der Maximalgeschwindigkeit eingegangen werden.

4.4.4 Alter und Maximalgeschwindigkeit

Bei der hiesigen Untersuchung konnte bzgl. der erreichten Maximalgeschwindigkeit (V_{\max}) während der Absprungphase ein deutlicher negativ korrelativer Zusammenhang mit dem Alter der Probanden ermittelt werden ($r = -0,54$; $p < 0,001$). Anhand der linearen Regressionsgeraden ließ sich bei einem Initialwert von 2,01 m/s mit 65 Jahren und 1,26 m/s bei den 90-Jährigen der Rückgang auf über 37,3 % bemessen. Auch in anderen Studien zeigte sich ein Rückgang der mithilfe der JM bestimmten V_{\max} . So beschrieben Dietzel et al. einen Rückgang um 30-40%. Allerdings bemisst sich dieser erneut an der Differenz der Mittelwerte zwischen der 3. und 9. Dekade. Die absoluten und zum Vergleich stehenden Mittelwerte für die entsprechenden Dekaden 7., 8. und 9. Grades lagen in der hiesigen Untersuchung unter denen von Dietzel et al. [127]

4.4.5 Alter und das Zusammenspiel von Sprungkraft und -geschwindigkeit

Wie bereits dargelegt, erfolgt die Quantifizierung der neuromuskulären Leistungsfähigkeit nach aktuellem Stand der Wissenschaft [112, 116, 117] anhand der Leistung als Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit. Den bestehenden Erkenntnissen der Sprunganalyse nach kommt es zu einem vermeintlich deutlicheren Rückgang der Maximalgeschwindigkeit (V_{\max}) mit dem Alter. Gleichzeitig besteht eine verhältnismäßig moderate Abnahme der erreichten gewichtsadjustierten Maximalkraft ($F_{\text{tot max rel}}$). Die Assoziation liegt nahe, dass die Geschwindigkeit maßgeblich verantwortlich sein könnte für den mit der Sprunganalyse beobachteten Rückgang der PP_r mit zunehmendem Alter.

So stellten bereits Sayers et al. in ihrer Untersuchung fest, dass sich bei Männern ein deutlich höherer Zusammenhang der Kontraktionsgeschwindigkeit mit der Ganggeschwindigkeit, welche hier als indirektes Maß der Muskelleistung diene, beobachten ließ, als dies für die Kraftkomponente feststellbar war. Dabei entstammen die Daten einem beidbeinig ausgeführten einmaligen Stemmen von Gewichten. [142]

Auch Pojednic et al. kommen bei ihren sehr ähnlichen Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass der Geschwindigkeit der Bewegung eine im hohen Alter bedeutendere Rolle als Determinante der Muskelleistung zukommt. Auch bringen Pojednic et al. die Erkenntnisse von Clark et al.,

dass im Alter die Messung dynamischer Muskelfunktionen sensitiver ausfallen als isometrischen Messungen, in Zusammenhang mit ihren Erkenntnissen. So sehen sie diese in Kontext mit einer verlängerten Rekrutierungszeit, verlangsamten neuromuskulären Kopplung sowie Straffung der entsprechenden kraftleitenden Sehnen und Bänder. Bei Messsystemen für die isometrische Muskelkontraktion spielt der Faktor Zeit und die Geschwindigkeit der Kontraktionsausführung gegenüber dynamischen Messungen eine untergeordnete Rolle. Bei der Analyse des Beidbeinsprungs mit der GRFP handelt es sich um eine sehr dynamische Messung. Die soeben ausgeführten altersabhängig zunehmenden zeitabhängigen Faktoren verlangsamen und limitieren die Geschwindigkeit der Bewegungsausführung. Der gravierende altersabhängige Rückgang wesentlicher Sprungleistungsparameter ließe sich damit erklären. So könnte darin auch eine Ursache liegen, dass sich die ermittelten Geschwindigkeitsdefizite im durchgeführten dynamischen Beidbeinsprung in bisherigen, isometrische Kontraktionen untersuchenden Studien desmaskiert haben, da die Zeit und damit Geschwindigkeit der Bewegungsausführung im Alter womöglich erheblich abnimmt, was aber erst dynamische Messungen in ihrem ganzen Ausmaß erfassen. [65, 131, 143]

Es gilt aber zu bedenken, dass die hier während des s2lj gemessene Maximalgeschwindigkeit und gewichtsadjustierte Kraft nicht das zwangsläufige Maximum darstellen, das ein Proband in der Lage wäre zu leisten. [132, 144] Vielmehr handelt es sich um ein möglichst optimales Verhältnis zwischen beiden, um eine maximale Leistung und, entsprechend des formulierten Ziels, eine maximale Höhe zu erreichen. Bei der so bemessenen Maximalleistung handelt es sich also um eine relevante Größe für die Fähigkeit des Bewegungsapparates, den im Alltag auf das Körpergewicht wirkenden Gravitationskräften standzuhalten. [127]

Damit können unsere Daten in Bezug auf das Verhältnis der Abnahme von Geschwindigkeit und Kraft in einem bevölkerungsrepräsentativen Kollektiv beim Beidbeinsprung die bisherigen Beobachtungen, dass die Muskelleistung früher und stärker abnimmt, als die Kraftkomponente [145], weiter stützen und für die JM bestätigen. Es ließ sich für die untersuchte Altersspanne (65-90 Jahre) eine gleichbleibende bis leicht abnehmende Maximalkraft (8,31 %) bei gleichzeitig deutlich abnehmender Maximalleistung (48,20%) sowie Maximalgeschwindigkeit (37,31%) nachweisen. Da die Abnahme der Kraftkomponente in Bezug auf das Maximum deutlich geringer ausfällt als die der Maximalgeschwindigkeit, ist von einem überproportionalen Anteil dieser an den Einbußen der Muskelleistung beim Beidbeinsprung auszugehen. Dabei darf allerdings nicht außer Acht gelassen werden, dass die hier gemessene Maximalgeschwindigkeit nicht mit der Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskulatur gleichzusetzen ist. Jedoch stehen diese in engem Zusammenhang miteinander.

[112, 125, 144] Sowohl Runge et al. als auch Dietzel et al. stellten bereits die Verbindung zwischen ihren Ergebnissen der erbachten Maximalleistung in der JM und Erkenntnissen zur altersabhängigen Modifikation der Muskelmorphologie her, auf welche nachfolgend auch unter weiteren spezifischeren Aspekten eingegangen werden soll. [112, 127]

So ließen sich damit die bisherigen Erkenntnisse zum deutlicheren Faserverlust der schnell kontrahierenden Typ II-Fasern gegenüber den Typ I-Fasern [60, 61, 146] in Kontext setzen mit den hiesigen Beobachtungen zur altersabhängigen deutlicheren Abnahme der Maximalgeschwindigkeit gegenüber der Maximalkraft. Dies erkannten bereits De Vito et al. als auch Maden-Wilkinson et al. im Zusammenhang mit der V_{\max} . [132, 144]

Ergänzend zu berücksichtigen sind in diesem Kontext Erkenntnisse zur Veränderungen der neuromuskulären Kopplung und der motorischen Einheit. Die vorliegenden Daten deuten auf einen progressiven Verlust von kleinen motorischen Einheiten und deren Umstrukturierung in größere Gruppen hin. Dies trägt unter anderem zu einer Minderung der koordinativen Fähigkeiten bei. [63] Mutmaßlich lässt sich mit nachlassender inter- sowie intramuskulärer Koordination selbst bei gleichbleibenden strukturellen Voraussetzungen in der Praxis nicht die gleiche Maximalleistung erreichen, insbesondere in einem neuromuskulär komplexen Bewegungsablauf, wie dies beim s2lj der Fall ist. [112]

Eine weitere in diesem Zusammenhang stehende Beobachtung stellt die von Hook et al. dar. Diese konnten mit zunehmendem Alter in vitro eine Verlangsamung des Zusammenspiels von Aktin und Myosin nachweisen. Daraus resultierte eine verlangsamte Kontraktionsgeschwindigkeit. Die Ursachen dieser Modifikation des Myosins sind noch ungeklärt. Eine in dieser Arbeit diskutierte Hypothese stellt die posttranslationale Modifikation des Myosins dar. Konkret werden Veränderungen der Glykosylierung, der Nitrierung und oxidativer Stress als mögliche Modifikatoren benannt. [147] Insofern könnten die Erkenntnisse von Hook et al. Teil der Erklärung sein, für die in vivo gemessene Verlangsamung der Kontraktionsgeschwindigkeit bzw. die verminderte Geschwindigkeit in der Bewegungsausführung.

Eine ganz andere Perspektive werfen die Untersuchungen von Narici et al. auf, bei welchen mittels Ultraschalluntersuchungen im Alter eine vermehrte Elongation und eine Zunahme der Elastizität der Achillessehne nachgewiesen werden konnte. [148, 149] Mit einer solch nachlassenden und zu vermutenden Abnahme der Steifigkeit, käme es bei an sich gleichbleibender Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskulatur zu einer vermeintlich niedriger

erscheinenden Geschwindigkeit der eigentlichen Bewegungsausführung und der entsprechenden Messung im s2lj. [127]

Die eben diskutierten Aspekte sind mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht singular verantwortlich für die gemessenen Leistungseinbußen mit zunehmendem Alter. Vielmehr stehen diese wahrscheinlich in engem Zusammenhang miteinander und tragen gemeinsam im Zusammenspiel zum multifaktoriell bedingten Prozess des Alterns der Muskulatur und damit der Entstehung einer Sarkopenie bei. Die deutlich unterschiedlich stark ausfallenden Korrelationskoeffizienten zwischen dem Probandenalter und der Maximalgeschwindigkeit ($r = -0,54$, $p < 0,001$) sowie der Maximalkraft ($r = -0,14$; $p = 0,01$) geben Hinweis auf die sich gegenüber Kraft abzeichnende Überproportionalität der Geschwindigkeit an der Produktbildung der Maximalleistung. Unsere Erkenntnisse lassen in Bezug auf die unterschiedlich deutlich ausfallenden Zusammenhänge der die Muskelleistung bestimmenden Multiplikatoren in dem für die Erforschung der Sarkopenie besonders konkreten Bereich jedoch keine kausalen Aussagen zu. So handelt es sich bei der Maximalgeschwindigkeit weder um die Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskulatur selbst, noch können die kausalen pathophysiologischen Hintergründe einer mutmaßlich für die reduzierte Maximalgeschwindigkeit verantwortlich gemachten verminderten Kontraktionsgeschwindigkeit bewiesen werden. Allerdings geben die Daten Anlass zu genaueren Untersuchungen der Verhältnisse von Kraft und Geschwindigkeit zueinander bei dem mit dem Alter beobachteten Rückgang der Muskelleistung. Weitere Studien und tiefgreifende Untersuchungen zur Kontraktionsgeschwindigkeit und Geschwindigkeit bei der Quantifizierung maximaler Muskelleistungsfähigkeit im Alter in Bezug auf den Beidbeinsprung sind nötig, um genauere und eventuell auch ursächliche Zusammenhänge zu untersuchen. Diese scheinen unter Anbetracht der bisherigen Ergebnisse vielversprechend, um die interindividuelle Variabilität der Muskelleistung in der JM weiter aufzuklären. [131] Im Idealfall führt dies nicht nur zu einem besseren Verständnis, wie genau sich die Leistungsabhängigkeit darstellt, sondern es lassen sich folglich auch potentielle neue und spezifischere Interventionsansätze, mit Fokussierung auf Geschwindigkeit und Kontraktionsgeschwindigkeit, identifizieren.

Um noch präziser zu validieren, müsste so nicht nur die zeitversetzt auftretende Maximalkraft und Maximalgeschwindigkeit analysiert werden, sondern vor allem auch die zum Zeitpunkt der Maximalleistung (t_P in **Abbildung 28**) exakt auftretende Kraft ($F_{tot\ max\ rel_{tP}}$) und Geschwindigkeit (V_{tP}). Diese Variablen werden laut Leonardo Handbuch [2] allerdings intern verarbeitet, jedoch für den Anwender nach unserer Kenntnis bisher nicht zugänglich gemacht.

Die Problematik erkannten bereits De Vito et al. und untersuchten diesbezügliche Zusammenhänge an einem weiblichen, älteren Kollektiv in Italien (50-75 Jahre; n=52). Sie beobachteten bereits 1998, dass die zum Zeitpunkt des Leistungsmaximum auftretende Geschwindigkeit sich als der determinierende Faktor der Leistung zeigte. Allerdings handelte es sich dabei um die Untersuchung der Gesamtleistung, ohne dabei nach dem Körpergewicht zu relativieren. Darüber hinaus wurden hier zunächst vermeintlich nur gesunde alte Frauen



Abbildung 28: Beispielhafter exakter zeitlicher Verlauf der intern in der Leonardo GRFP verarbeiteten, ausgewerteten und analysierten Messparameter des Beidbeinsprunges. [2]. t_0 = Beginn des Sprungablaufs, t_1 =Umschlagpunkt von Ausholphase zur Absprungphase, t_2 = Zeitpunkt maximaler Ausholtiefe, t_F = Zeitpunkt der absoluten Maximalkraft ($F_{tot max}$), t_P = Zeitpunkt der absoluten Maximalleistung ($P_{tot max}$), t_3 = Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit (V_{max}), $t_{off 1}$ = Zeitpunkt des Abhebens, t_4 = Zeitpunkt maximaler Höhe (h_{max}), $t_{on 1}$ = Zeitpunkt der Landung, t_5 = Umschlagpunkt von Dezelerationsphase der Landung zur Stabilisierungsphase, t_{settle} = Zeitpunkt des Wiedererreichens der Ruhephase. Die Druckgenehmigung und Bildrechte für die verwendete Abbildung wurden eingeholt.

untersucht. Aufgrund der sich nach heutigem Stand zeigenden deutlichen Einflussfaktoren des Geschlechtes sind weitere Untersuchungen dieser Art in größerem Umfang sowie auch in longitudinalem Studiendesign nötig, um diese Erkenntnisse weiter zu erörtern. [112, 132]

Eine Untersuchung des m1lj könnte zusätzlich Hinweise zu der theoretisch im s2lj bei den Probanden noch zur Verfügung stehenden Maximalkraft geben. Bei dieser Sprungform wird zwar kein effizienter Sprung mit dem Ziel maximaler Höhe und Leistung durchgeführt, jedoch lässt sich durch das wiederholte kraftvolle Springen auf einem Bein (s. Ausführung des m1lj in Abschnitt 1.6.2) die Maximalkraft, die der Körper in der Lage ist aufzubringen, am ehesten provozieren und bemessen. Mit dieser Erkenntnis ließe sich nachfolgend ermitteln, welcher Anteil der theoretisch individuell noch zur Verfügung stehenden Kraft beim beidbeinigen Sprung des selbigen Probanden auch tatsächlich eingesetzt wird, um die individuelle maximale Leistung im s2lj zu erzielen. Ggf. ergibt sich daraus, dass die Kraft auch hier konstant bleibt oder nur marginal mit dem Alter abnimmt. Damit würden sich die

Hinweise erhärten, dass mit zunehmendem Alter die Geschwindigkeit der Bewegungsausführung, insbesondere die Kontraktionsgeschwindigkeit, den determinierenden Faktor der Maximalleistung darstellt. Ein Versuch der Aufzeichnung eines ebenso absolvierten Einbeinsprungs am hiesigen Kollektiv wurde unternommen, konnte allerdings anders als der Beidbeinsprung von vielen Probanden nicht durchgeführt werden. Gründe waren die Angabe von Schmerzen oder von der Software der GRFP nicht als valide bewertete Messungen. Aufgrund des dadurch sehr stark dezimierten und nicht mehr repräsentativen Untersuchungskollektivs einerseits und dem damit assoziierten Risiko für die Probanden andererseits wurde auf diese Untersuchung verzichtet.

4.4.6 Sprunghöhe und Ausholtiefe

Aufgrund der beim JM anzuwendenden physikalischen Grundsätze steht die errechnete Höhe des Massenschwerpunktes (h_{\max}) des Springenden in direktem Zusammenhang mit der maximalen potentiellen Energie. Diese wiederum ist gleich der maximalen während der Absprunghase erzeugten kinetische Energie ($h_{\max}=E_{\text{pot}}=E_{\text{kin}}$). Die maximale kinetische Energie berechnet sich dann aus der besagten V_{\max} . ($E_{\text{kin}}=1/2 \cdot m \cdot v^2$)

Die alleinige Betrachtung der erzielten Sprunghöhe hat nach aktuellem Stand der Wissenschaft eine eingeschränkte Validität bzgl. der neuromuskulären Gesamtpformance. [117] Allerdings steht der Rückgang der PP_r in starkem Zusammenhang mit der V_{\max} . Diese wiederum steht in engem Zusammenhang mit der h_{\max} . Entsprechend der sich aus unseren Daten in Zusammenschau mit bestehenden Untersuchungen ergebenden Fragen über die genauen Zusammenhänge des Muskelleistungsverlustes sollen an dieser Stelle auch die erzielte h_{\max} im Alter umfassender untersucht werden.

Obwohl die erzielte maximale Sprunghöhe bei einigen Studien als Auswahlkriterium des besten Sprungs diente, sind nur in wenigen Arbeiten die genauen Daten über den mit dem Alter beobachteten Rückgang der Sprunghöhe ausgeführt.

In vorliegenden Daten zeigt sich ein linearer Rückgang der Sprunghöhe mit dem Alter ($r = -0,54$; $p < 0,001$), analog zu den Ergebnissen von Siglinsky et al. ($r = -0,76$; $p < 0,001$). Somit ließen sich hier rund 29% der Variabilität mit dem Alter als alleinige unabhängige Variable mit einer linearen Regressionsgeraden erklären. Zwischen dem 65. und 90. Lebensjahr kommt es ausgehend von einer Sprunghöhe bei 26,9 cm zu einem deutlichen Rückgang um 16,2 cm auf nur noch 10,6 cm. Damit handelt es sich hier innerhalb der Zeitspanne von nur 25 Jahren um einen relativen Rückgang um insgesamt 39,8% bzw. durchschnittlich 0,65cm / Jahr. Der

Rückgang, der bei Siglinsky et al. anhand der Regressionsgeraden ($y = 0,56 - 0,004x$) zu bemessen war, fiel ähnlich, wenn auch weniger deutlich aus (0,4 cm/Jahr). Die absolute Sprunghöhe der entsprechend zum Vergleich stehenden Jahrgänge lag in dieser Untersuchung, ebenso wie auch die anderen Sprungparameter, über den hiesigen Werten. [126] Auf die Hintergründe, bedingt durch die sehr unterschiedlichen Studienkollektive und untersuchten Zeitspannen, aus denen sich die Daten ergaben, wurde bereits vorab eingehend eingegangen. (s. Diskussionsabschnitte 4.1 Altersverteilung sowie 4.2)

Salles et al. konnten zeigen, dass sich zwar die gewichtsadjustierte Sprungleistung (PP_r) von Probanden robuster zeigt, sowohl gegenüber Veränderungen der Tiefe der Ausholbewegung als auch gegenüber dem willentlichen Einsatz. Die Sprunghöhe (h_{max}) hingegen zeigte sich anfällig gegenüber einer Modulation dieser beiden Faktoren. [117]

Hinsichtlich der mit dem Alter rückläufigen Sprunggeschwindigkeit als wesentliche Determinante der Sprungleistung besteht auch noch Klärungsbedarf in Bezug auf die sich mit dem Alter womöglich verändernden Sprungstrategien. So steht die V_{max} in engem Zusammenhang mit der Sprunghöhe. Die Sprunghöhe ist aber, ebenso wie die V_{max} , abhängig bzw. modulierbar durch die Tiefe der dem Sprung vorausgehenden Ausholbewegung. So konnten Salles et. al für junge gesunde Probanden die Abhängigkeit der Sprunghöhe und Sprungkraft von Faktoren wie der Ausholtiefe sowie dem willentlichen Einsatz nachweisen. Die PP_r blieb davon relativ unbeeinflusst. [117] Differenzierte Studien dieser Art über eine sich mit dem Alter eventuell verändernde Sprungstrategie, allen voran primär messbar an der dem Sprung vorausgehenden Tiefe der Ausholbewegung, gab es nach bestem Wissen bisher nicht. Mit den Erkenntnissen von Salles et al. zu den Einflüssen unterschiedlicher Sprungstrategien auf die gemessenen Parameter im Beidbeinsprung müsste aber auch die Tiefe der Ausholbewegung sowie die in Folge auftretende Kraftentfaltung und damit Beschleunigung unter diesem Aspekt noch näher untersucht werden.

Die vorliegenden Daten wiesen einen deutlichen negativ korrelativen Zusammenhang der Tiefe der Ausholbewegung mit zunehmendem Alter ($r = -0,32$; $p < 0,001$) auf. So ist von einer dem Sprung vorausgehenden, weniger tiefen Ausholbewegung bei Probanden höheren Alters auszugehen. In diesem Fall handelte es sich ebenso um einen linearen Zusammenhang. So betrug die Abnahme der Ausholtiefe ausgehend vom 65. Lebensjahr (21 cm) bis zum 90. Lebensjahr (10 cm) insgesamt 11 cm und damit über 50%. Das Bestimmtheitsmaß des linearen Modells belief sich allerdings auf nur 10% ($r^2 = 0,10$). Aufgrund der noch nicht ausreichenden Studienlage eventueller Abhängigkeiten der V_{max} und nachfolgend auch der PP_r von einer

Änderung der Sprungstrategie in den die Sarkopenie insbesondere betreffenden Altersgruppen scheint eine genauere Untersuchung diesbezüglich ratsam und nötig. Dies ist unter anderem auch zur Klärung eines im Alter evtl. bestehenden Ursache-Wirkung Problems zwischen der Ausholtiefe sowie der Sprunggeschwindigkeit und damit folglich auch der Sprungleistung erforderlich.

4.5 Sport

An dieser Stelle sollen zunächst die Ergebnisse der Sprungleistungsparameter des Beidbeinsprunges in Bezug auf die regelmäßige sportliche Betätigung diskutiert werden. Anschließend werden die Ergebnisse in Bezug auf die erzielten Sprungparameter der JM entsprechend ihrer Gruppierung nach der sportlichen Aktivität diskutiert.

Insgesamt zeigt sich bei den 420 von 457 erhaltenen Antworten eine annähernd gleiche Verteilung mit 48,8% bei den nicht Sporttreibenden, gegenüber 51,2% bei den regelmäßig Sporttreibenden. Zwar ließen sich zwischen den Befragten nach Altersdekaden Unterschiede feststellen, allerdings waren diese insgesamt nicht statistisch signifikant. (s. Ergebnisse 3.6.1 Sport regelmäßig) Damit kann man anhand der Ergebnisse der Befragung, entgegen der Erwartung, zunächst nicht von einer substantiellen Abnahme der regelmäßigen sportlichen Aktivität mit höherem Lebensalter sprechen.

Wohlbermerkt handelt es sich hierbei allerdings um Ergebnisse, die auf der persönlichen und individuellen Selbsteinschätzung der Befragten basierten. Darüber hinaus muss in Erwägung gezogen werden, dass es mitunter Probanden gab, die zwar sportlich aktiv sind, sich allerdings mit der Formulierung der Regelmäßigkeit nicht identifizieren konnten. Allerdings lag die Absicht der Befragung für die nachfolgende Kategorisierung auch darin, explizit diejenigen zu erfassen, welche nicht nur körperlich aktiv sind, sondern dieses Kriterium auch mit einer gewissen Regelmäßigkeit erfüllen. So konnten Rogers et al. beispielweise nachweisen, dass sich die positiven Effekte von Sport auf den Metabolismus bei Senior Master-Athleten schon nach kurzer Zeit der Karenz wieder normalisierten. [150] Eine gewisse Regelmäßigkeit der sportlichen Aktivität ist somit vielversprechender, auch eine bessere, assoziierte Sprungleistung in der JM nachzuweisen. Des Weiteren kommt der hiesigen Studie eine primär explorative Zielsetzung zu, d.h. es ging primär nicht um die genau Erfassung der sich womöglich mit dem Alter ändernden Gewohnheiten der körperlichen Aktivität, sondern darum zu untersuchen, ob und inwieweit sich mit der JM gemessene Sprungleistungsparameter entsprechend der vorgenommenen Charakterisierung signifikant voneinander differenzieren lassen. Die entsprechenden Ergebnisse dazu sollen nachfolgend diskutiert werden.

Sowohl für das mittlere Alter als auch den BMI konnten erwartungsgemäß auf Seiten der Inaktiven höhere Werte nachgewiesen werden. Diese zeigten sich entsprechend signifikant, auch wenn die mittlere Altersdifferenz lediglich zwei Jahre und der BMI nur um 1,4 Indexpunkte differierte. Die erhöhten BMI Werte bei den Inaktiven könnten in erster Linie

auf eine Lifestyle-bedingte Übergewichtigkeit zurückzuführen sein. Bei gleicher oder verminderter Körpergröße kann sich dieser auch durch eine vermehrte Muskelmasse erhöht zeigen. Da es sich im konkreten Fall um Probanden fortgeschrittenen Alters handelt, wäre aber am ehesten von einer Gewichtszunahme durch Körperfett auszugehen. Der höhere Altersdurchschnitt auf Seiten der Inaktiven ließe sich in einem mit dem Alter abnehmenden Interesse an körperlicher Bewegung zum einen durch altersassoziiert zunehmende Mobilitätslimitierung, Multimorbidität und körperliche Beschwerden erklären, wengleich die Frage nach Ursache und Wirkung hier offenbleibt.

Weiterführend zeigte sich sowohl mit zunehmendem Alter, als auch höherem BMI eine deutliche Abnahme der Kernparameter des Beidbeinsprungs. Aus diesem Grund wurde ebenso eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt, um den zusätzlich zum Alter und BMI hinaus beitragenden erklärenden Varianzanteil zu bemessen. Zunächst soll aber auf die Differenz der Kernvariablen der JM in Bezug auf das nach der sportlichen Aktivität eingeteilte Gesamtkollektiv eingegangen werden.

Dabei konnte für die Kernparameter der Sprunganalyse in fast allen Variablen erwartungsgemäß ein signifikant positiver Mittelwert bei den regelmäßig sportlich aktiven Probanden erhoben werden. In erster Linie ist dabei die im Fokus stehende PP_r zu nennen, welche sich mit einer mittleren Differenz von 3,29 W/kg signifikant unterschied. Damit erzielten die Aktiven rund 14% bessere Sprungleistungen als die Inaktiven. So konnte allein mit der einfach formulierten Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität und der Selbsteinschätzung der Probanden schon eine mit der GRFP messbare signifikante Differenz der körperrgewichtsjustierten Maximalsprungleistung detektiert werden. Obgleich diese natürlich nicht zwangsläufig in kausalem Zusammenhang stehen muss, ist dennoch festzustellen, dass, gemessen an diesem Kriterium, nachweisbare Differenzen bestanden. Darüber hinaus lag die Maximalgeschwindigkeit bei den Aktiven mit einer Differenz von 11% über dem Mittelwert der Inaktiven. Dahingegen konnte für die körperrgewichtsjustierte Maximalkraft keine statistisch signifikante Differenz bei der Einteilung nach der sportlichen Aktivität festgestellt werden. Obwohl sich bei den regelmäßig sportlichen Aktiven in allen untersuchten Kernparametern PP_r , V_{max} und EFI signifikant höhere Werte mithilfe der JM nachweisen ließen, zeigte sich die körperrgewichtsjustierte Maximalkraft davon ausgenommen. So stellt sich auch hier eine Parallele zur vorab ausgeführten kaum vorhandenen Änderung der Sprungkraft mit dem Alter bei gleichzeitig erheblichem Rückgang der übrigen Kernleistungsparameter dar. Diese Erkenntnis ist ebenso mit der vorausgehenden Diskussion (s. 4.4.5 Alter und das Zusammenspiel von Sprungkraft und -geschwindigkeit)

über die zentrale Rolle der Geschwindigkeitskomponente an der Sprungleistung mit fortschreitendem Alter in Einklang zu bringen. So scheint entgegen der Maximalgeschwindigkeit die Maximalkraft keinen nennenswerten Anteil an der bei sportlich regelmäßig aktiven älteren Probanden beobachteten, erhöhten PP_T zu haben. Auch hier tragen die Ergebnisse zur Hypothese bei, dass der diskriminierende Faktor für die unterschiedlich ausfallende Maximalleistung in der JM die Geschwindigkeitskomponente darstellt.

Darüber hinaus deutet der signifikant höhere EFI% Score um 7,40 EFI% bei den Aktiven bereits auf über das Alter hinaus bestehende positive Effekte regelmäßiger sportlicher Aktivität hin. Diesbezüglich gibt die dekadeweise Analyse weitergehenden Aufschluss (s. Ergebnisse, 3.6.2 Die Sprunganalyse in Abhängigkeit von Sport, *Abbildung 18*). So ließ sich mit der sportlichen Aktivität zwar von der 7. bis einschließlich der 9. Dekade ein höherer Mittelwert verzeichnen, signifikant war die Differenz allerdings nur für die 8. und 9. Dekade. Damit ließ sich zumindest anhand der selbsteingeschätzten, regelmäßigen sportlichen Aktivität, besonders in den höheren Jahrgängen, eine deutlich bessere assoziierte PP_T mit der JM erfassen.

Dabei sind die einleitend bereits erwähnten signifikant differierenden Mittelwerte von Alter und BMI zwischen den beiden Gruppen unterschiedlicher sportlicher Aktivität nicht außer Acht zu lassen. Zwar zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den SMI zwischen den Gruppen unterschiedlicher sportlicher Aktivität. Damit ist von einem gleichen und vergleichbaren Anteil des Skelettmuskelmasseanteils in Bezug auf die Körpergröße auszugehen. Der BMI zeigte sich bei den Inaktiven jedoch leicht erhöht, was, den Erkenntnissen aus 4.3.1 folgend, bedacht werden muss.

So konnte die durchgeführte lineare Regressionsanalyse im schrittweisen Verfahren den Anteil der zu erklärenden Variabilität durch die Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität über das Alter hinaus um zunächst 2,5 % erhöhen. Zusätzlich zum Alter und zum individuellen BMI fiel sie allerdings auf 1%. Dabei scheint nicht verwunderlich, dass der Variabilitätsanteil von Sport regelmäßig bei Hinzunahme des BMIs verringert wird. So stehen regelmäßige Bewegung und Übergewichtigkeit, bemessen in Form des individuellen BMIs, in nicht unwesentlichem Zusammenhang zueinander. Es scheint jedoch zunächst überraschend, dass sich das Variabilitätsmaß durch die Differenzierung nach der sportlichen Aktivität und Berücksichtigung von Alter und BMI lediglich im einstelligen Bereich bewegte. So zeigen sportlich aktive Probanden innerhalb der Kohorte zwar signifikant bessere Sprungleistungen und daraus schließend auch eine bessere neuromuskuläre Leistungsfähigkeit, jedoch ist der

Unterschied zu den Inaktiven gleichen Alters über die gesamte Altersspanne mit 2,5% bzw. 1% Mehrleistung auffallend gering.

Dies spricht jedoch mitunter für die sich mehrenden Hinweise, dass viele verschiedene Faktoren sowie deren Zusammenspiel die Differenz des absoluten Verlaufs zwischen der in diesem Gesamtkollektiv erhobenen linearen Regressionsgeraden und der von gesunden fitten Probanden, wie beispielsweise von Runge et al., bedingen. [112] Auf die sich zeigenden Unterschiede bezüglich der gruppenspezifischen Regressionsgeraden und in Bezug auf die Ergebnisse von Runge et al. [112], wird nachfolgend anhand der grafischen Darstellung (*Abbildung 29*) eingegangen.

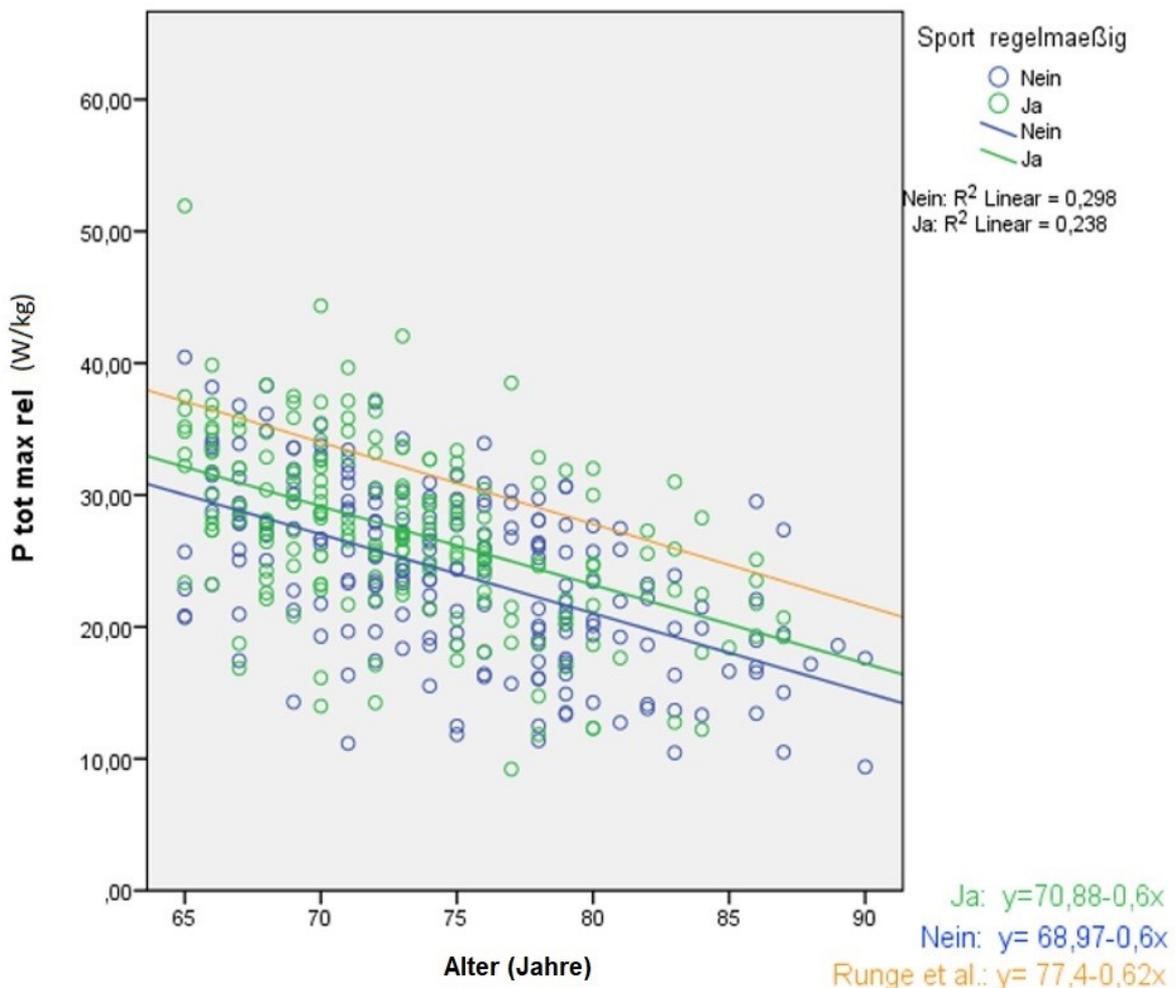


Abbildung 29: Es sind die jeweiligen linearen Regressionsgeraden der sich jeweils aus den nach „Sport regelmäßig“ kategorisiert ergebenden Kollektiven und der gemessenen PPr gegen das Alter aufgetragen dargestellt. Dabei stellt die grüne Gerade die derjenigen dar, welche die Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität mit „ja“ beantwortet hatte, in blau die derer, die mit „nein“ geantwortet hatten. In orange als Referenzlinie eingezeichnet ist die am männlichen gesunden fitten Gesamtkollektiv erhobene lineare Regressionsgerade von Runge et al. dargestellt.

Bei Bemessung der linearen Regressionsgerade nur am Kollektiv derer, die angegeben hatten, regelmäßig Sport auszuüben (grün), verlief diese zunächst deutlich oberhalb der Regressionsgerade der weniger Aktiven (blau) innerhalb der hiesigen Kohorte. Auch wenn die der Aktiven parallel zur Gerade von Runge et al. (gelb) verlief und den Abstand verringert, zeigen sich dennoch die Absolutwerte deutlich vom Verlauf der von Runge et al. ermittelten Regressionsgeraden entfernt.

Damit lässt sich feststellen, dass insbesondere im hohen Alter Sport in deutlichem Zusammenhang zu einer besseren Sprungleistung und damit auch neuromuskulären Performance steht. So lassen sich innerhalb einer bevölkerungsrepräsentativen Kohorte über die gesamte untersuchte Altersspanne die Aktiven von den Inaktiven mithilfe der JM anhand ihrer Sprungleistung differenzieren. Probanden eines bevölkerungsrepräsentativen Kollektivs innerhalb einer sarkopenierelevanten Altersspanne können trotz regelmäßiger sportlicher Aktivität dennoch bei weitem nicht das neuromuskuläre Leistungsniveau des gesunden, fitten Referenzkollektivs von Runge et al. erreichen. Über das Aktivitätsniveau hinausgehend unterscheidet sich das Referenzkollektiv von Runge et al., aber auch durch die positive Selektion nach einem guten Gesundheitsstatus, ungeachtet etwaiger damit einhergehender Kofaktoren. Regelmäßige sportliche Aktivität alleine kann damit die neuromuskuläre Leistungsdifferenz des hiesig untersuchten Würzburger Kollektivs zu den Referenzwerten von Runge et al. nur partiell erklären. Sie scheint damit aber ein wichtiger, über die allgemeine Morbidität und Multimorbidität hinausgehend weiter zu untersuchender Faktor zu sein, um die Unterschiede zwischen den über die Altersspanne ermittelten Differenzen der neuromuskulären Performance beider Kollektive aufzuklären und besser zu verstehen. Die JM stellt sich dafür als ein potentiell zielführendes und hilfreiches Messinstrument dar.

Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass die Geraden zwischen den sich in ihrem Aktivitätslevel differenzierenden Gruppen parallel zueinander verliefen. Damit scheint, zumindest in Bezug auf den linearen Regress in Form der Steigung, der Verlauf über die untersuchte Altersspanne der gewichtsrelativierten Maximalleistung, unabhängig von der regelmäßigen körperlichen Aktivität über das Alter abzunehmen. So konnte anhand der hiesigen Daten kein Unterschied in Bezug auf die Höhe des mit dem Alter beobachteten relativen Niederganges der PPr anhand des interindividuellen Aktivitätsniveaus beobachtet werden. Probanden des hiesigen Gesamtkollektivs gleichen Alters wiesen zwar in Assoziation mit regelmäßiger sportlicher Aktivität eine bessere neuromuskuläre Leistungsfähigkeit auf, allerdings ließen sich weder der generelle Progress der mit dem Alter abnehmenden Leistungsfähigkeit (PPr) noch dessen Ausmaß (Steigung) vermindern. Jedoch lässt sich

sagen, dass durch den absolut höheren Verlauf folglich regelmäßig sportlich aktive Probanden noch die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit (PPr) aufweisen können, welche inaktive Probanden schon einige Jahre zuvor unterschreiten. Beispielsweise wird das Leistungsniveau eines inaktiven 75-jährigen des hiesigen Kollektives (23,97W/kg) von einem hingegen Aktiven erst im Alter von 78,2 Jahren erreicht. Auch wenn sich der Verlust der neuromuskulären Leistungsfähigkeit trotz regelmäßiger sportlicher Aktivität als unaufhaltsam erweist, lässt er sich damit aber immerhin um einige Jahre hinauszögern.

Über diesen Aspekt hinausgehend ist die Steigung beider hiesig ermittelten Geraden (-0,60) annähernd gleich mit der von Runge et al. (-0,62), obwohl die untersuchte Altersspanne dort deutlich größer ausfiel und es sich um möglichst gesunde und fitte Studienteilnehmer handelte. [112] Darüber hinaus scheint die gewichtsadjustierte Maximalleistung über die Altersspanne von 18 bis 90 Jahre einem linearen Modell folgend abzunehmen. Unsere Daten wiesen darauf hin, dass das Ausmaß der Abnahme trotz deutlicher Unterschiede zwischen den Kollektiven konstant blieb. Der absolute Verlauf der Regressionsgeraden scheint allerdings, wie bereits erwähnt und diskutiert, zu variieren. Nach der sich daraus ergebenden bisherigen Datenlage bestehender und der vorliegenden Untersuchung scheinen Faktoren wie die hier konkret untersuchte regelmäßige sportliche Aktivität zu keiner Veränderung der Verhältnisse im Sinne der Linearität oder der Steigung des beobachteten altersassoziierten neuromuskulären Leistungsverlustes zu führen. Der Zeitpunkt des Eintretens bzw. das Alter des Unterschreitens konkreter Sprungleistungswerte zeigt sich allerdings modulierbar. In Zusammenschau mit den Ergebnissen von Runge et al. gelten diese Erkenntnisse über die gesamte Altersspanne von 18 bis 90 Jahren.

Generell zeichnet sich ab, dass die höhere Sprungleistung im Alter mitunter maßgeblich auch durch regelmäßige sportliche Aktivität bedingt wird und bereits anhand der simplen Differenzierung durch die Beantwortung der Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität mit der JM erfasst werden kann. Genauere Befragungen, höhere Fallzahlen und Erörterung von Art und Umfang der regelmäßigen sportlichen Aktivität sind nötig, um die Sensitivität der Messung durch die JM weiter zu überprüfen. Generell ist hervorzuheben, dass es sich sowohl bei der hiesigen, als auch den vorausgehenden und in diesem Kontext diskutierten Studien um Querschnittsstudien handelte. Die Aussagekraft auf den individuellen Einfluss und Verlauf verschiedener Faktoren auf die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit ist damit eingeschränkt. Allerdings lag die primäre Zielsetzung bzw. Fragestellung auch zunächst darin, ob sich überhaupt Unterschiede mithilfe der JM identifizieren ließen und welches Ausmaß diese hatten. Weiterführende longitudinale Untersuchungen als auch

Interventionsstudien wären nötig, die bisher nur im Rahmen von Querschnittsstudien angedeuteten Erkenntnisse zu überprüfen. Dabei verspricht die Sprunganalyse, eine wertvolle und sensitive Analysemöglichkeit zum besseren und genaueren Verständnis der mit dem Alter fortschreitenden Funktionseinbußen und den spezifischen Unterschieden zwischen älteren aktiven und inaktiven Probanden zu sein. So ließen sich entsprechende Trainingseffekte sowie die entsprechende Messbarkeit derselben mithilfe der JM detektieren. Dies alles unterstützt das mittel- bis langfristige Ziel, insbesondere für die betreffenden Zielgruppen nachweislich effektive, frühzeitige und auch spezifischere Interventions- bzw. Trainingsstrategien zum Erhalt der neuromuskulären Leistungsfähigkeit zu identifizieren.

4.6 Sarkopenie

An dieser Stelle sollen die Ergebnisse der Sprunganalyse in Bezug auf nach der EWGSOP empfohlenen Einteilung für Sarkopenie diskutiert werden. Wie bereits im Ergebnisteil geschildert, wurde von den beiden zur Auswahl stehenden Cut-off Werten für die Muskelmasse der höhere ($10,75 \text{ kg/m}^2$) von beiden verwendet. Damit schließt dieser rein am SMI gemessen nach Janssen et al. auch die als moderat sarkopen zu bezeichnenden Probanden in dem von der EWGSOP formulierten Gesamtalgorithmus mit ein. Nur zwei Probanden des hiesig untersuchten Kollektivs hätten den Cut-off ($8,5 \text{ kg/m}^2$) der von Janssen et al. als schwer sarkopen bezeichneten Probanden unterschritten. [8, 23]

Aufgrund einzelner fehlender, fehlerhafter oder kontraindizierter BIA Messungen konnte bei 41 der 457 Probanden keine Einteilung nach dem Sarkopeniestatus erfolgen. Die Bestimmung der Muskelmasse mithilfe einer DXA Messung war aufgrund der komplexen und strikten Strahlenschutzbestimmungen sowie der logistischen Umsetzbarkeit bei den hohen Probandenzahlen nicht möglich. Von den verbliebenen 416 Probanden konnten 96 als sarkopen identifiziert werden, was einem prozentualen Anteil von 23,1% entsprach. Laut Janssen et al. stellt die Muskelmassebestimmung durch die BIA Analyse unter Berücksichtigung der Anpassungsformel trotz gewisser Limitierung eine probate Methode dar. [23]

Singh et. al. konnten in ihrem nur 27 männliche Probanden zwischen 55 und 75 Jahren umfassenden Kollektiv nur 4 Probanden als sarkopen identifizieren (15%). [125] Dabei wurde allerdings die Einteilung nach dem Muskelmasseindex (ASM/m^2) vorgenommen. Der entsprechende Cut-off Wert von $<7,26 \text{ kg/m}^2$ wurde der Rosetta Studie entnommen. [4, 125] Die Bestimmung der appendikulären Skelettmuskelmasse (ASM) erfolgte dort entsprechend einer DXA Messung. [125] Wohlgermerkt ist die dort so bestimmte appendikuläre Skelettmuskelmasse nicht mit der mittels BIA gemessenen absoluten Skelettmuskelmasse gleichzusetzen. Folglich lassen sich auch die Cut-off-Werte nicht direkt vergleichen.

Auch bei Dietzel et al. wurde diese Sarkopenieeinteilung vorgenommen. Demnach wurden dort 15,1% der Probanden als sarkopen eingeordnet. Absolut lag die Zahl der Sarkopenen mit 22 von 146 allerdings schon weit über denen von Singh et al.

Siglinsky et al. hingegen nahmen sogar drei verschiedene postulierte Kategorisierungsalgorithmen für die Sarkopenie vor, darunter auch der in der hiesigen Studie angewendete der EWGSOP. Dabei wurden bei Siglinsky et al. 20,3% der 119 männlichen Probanden im Alter von 27-96 Jahren als sarkopen identifiziert. [126] Dies ist mit dem

hiesigen relativen Anteil von 23,1% vergleichbar. Er liegt sogar noch über dem von Siglinsky et al., welche, ebenso wie in der hier vorliegenden Studie, weniger strikte Einschlusskriterien formuliert hatten, um möglichst die besonders stark von defizitärer neuromuskulärer Leistungsfähigkeit betroffenen Probanden zu erfassen. Auch die Kriterien der „Foundation for the National Institutes of Health“ (FNIH) wurden von Siglinsky auf das selbige Kollektiv angewendet, wodurch 10,8% der Männer als sarkopen zu bezeichnen waren. Bei der erfolgten Einteilung nach der IWG waren es hingegen nur noch 7,4%. [6, 7, 126]

Die Vergleichbarkeit bei unterschiedlichen Einteilungskriterien fällt schwer. Allerdings liegt der relative Anteil in einem ähnlichen Rahmen wie der von Siglinsky et al. und stellt unter den bestehenden und gelisteten Sprungstudien den relativ gesehen größten dar. [126] Dies scheint nicht zwangsläufig verwunderlich, da die hiesige Studie das explizite Ziel hatte, möglichst auch neuromuskulär defizitäre Probanden einzuschließen. Vielmehr spricht dies für eine Bestätigung der Absicht. Darüber hinaus wurden bei den Würzburger Männern Probanden von 65 bis 90 Jahren untersucht. Der relative Anteil der als sarkopen einzustufenden Probanden erhöht sich entsprechend allein dadurch, dass in den höheren Jahrgängen eine größere Prävalenz der Sarkopenie besteht. [4] Da beispielsweise Siglinsky et al. auch deutlich jüngere Jahrgänge miterfasst hatten (27-96 Jahre) vermindert sich der relative Anteil Sarkopener entsprechend. [126] In absoluten Zahlen allerdings stellt die hiesige Studie mit 96 Probanden das mit Abstand größte, als sarkopen einzustufende Kollektiv dar, bei dem eine Sprunganalyse durchgeführt wurde.

Kongruent zu der großangelegten Studie von Baumgartner et al. in New Mexico zeigte sich auch anhand der Darstellung (*Abbildung 21*) der relativen Anteile innerhalb der einzelnen Altersgruppierungen, dass der Anteil der als sarkopen zu bezeichnenden Probanden mit steigendem Alter zunimmt. Galten bei den unter 70-Jährigen noch 10% als sarkopen, waren es bei den hiesigen Studienteilnehmern in der Gruppe der 75- bis 79-jährigen schon mehr als ein Viertel (25,3%), um bei den über 85-Jährigen mit 69,2% gar mehr als zwei Drittel auszumachen.

Folglich ist nicht verwunderlich, dass die als sarkopen einzustufenden Probanden zunächst auch ein hochsignifikant höheres Durchschnittsalter (78,18 Jahre; SD +/- 6,42) als die gesunden aufwiesen (72,79 Jahre; SD +/- 5,07 Jahre). Konkordant zu den BMI Werten sowohl bei Siglinsky et al. als auch Dietzel et. al konnte auch hier bei den Sarkopenen ein signifikant niedrigerer BMI nachgewiesen werden ($p < 0,01$). Wobei die Differenz hier (1,34 kg/m²) weniger deutlich ausfiel, als dies bei Dietzel et al. (3,8 kg/m²) der Fall gewesen war.

Dabei war der mittlere BMI der Gesunden annähernd identisch mit dem der Gesunden bei Dietzel et al. ($28,2 \text{ kg/m}^2$). So war die größere Differenz in einem erheblich niedrigeren BMI der sarkopenen Probanden bei Dietzel et al. ($24,4 \text{ kg/m}^2$) zu begründen. Ursache der Abweichungen liegt womöglich in den unterschiedlichen Sarkopenieeinteilungen. Bei Siglinsky et al. liegen über die PP_r hinausgehend leider keine zur Referenzierung für die hiesigen Ergebnisse dienenden Mittelwerte für die vorgenommenen Gruppierungen vor. [126]

In Bezug auf die Kernvariablen der durchgeführten JM konnte erneut für alle Parameter, ausgenommen für die körperrgewichtsrelativierte Maximalkraft, signifikant voneinander differierende Mittelwerte nachgewiesen werden. So ließen sich bei den sarkopenen Probanden sowohl für die PP_r , V_{\max} , h_{\max} als auch den EFI niedrigere Werte bestimmen. Bei der Maximalkraft zeigten sich weder nennenswerte Unterschiede, noch waren diese signifikant. Sehr deutlich fiel unter anderem das Delta bei der körperrgewichtsrelativierten Maximalleistung aus. Hier erreichten die Sarkopenen mit im Mittel $22,73 \text{ W/kg}$ (SD $\pm 6,67$) $3,96 \text{ W/kg}$ (14,8%) weniger Sprungleistung als die Gesunden mit $26,69 \text{ W/kg}$ (SD $\pm 6,30$). Allerdings auch bei der Sprunghöhe war ein relativer Verlust von 24,3% (4,4 cm) und von 14,8% (0,22 m/s) bei der Maximalgeschwindigkeit zu messen. Somit reiht sich die Sprungleistung diesbezüglich in der Mitte ein. Zwar fällt das Delta für die Sprungleistung geringer aus als für die Sprunghöhe, jedoch größer als für die Maximalgeschwindigkeit. Die Sprunghöhe hat aber in Bezug auf die Erkenntnisse von Salles et al. [117] in Kombination mit den hier dargelegten und in Abschnitt 3.5.5 diskutierten Erkenntnissen weniger Aussagekraft für die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit unter dem Gesichtspunkt der Sarkopeniediagnostik selbst.

Bei Siglinsky et al. lag der erzielte Mittelwert der gesunden Probanden mit $20,3 \text{ W/kg}$ unter dem der in dieser Studie als gesund bezeichneten Probandengruppe. Die dort ebenso nach dem von der EWGSOP postulierten Algorithmus als sarkopen zu bezeichnenden Probanden konnten hingegen einen um 16,1% darunterliegenden Mittelwert verzeichnen. Allerdings liegt nicht nur der Mittelwert der Gesunden ($20,3 \text{ W/kg}$) bereits unter dem Mittelwert der hier als gesund Bezeichneten ($26,69 \text{ W/kg}$), sondern er ist darüber hinaus sogar niedriger als der Mittelwert der hiesigen Sarkopenen ($22,73 \text{ W/kg}$). Primär ist ein erheblicher Anteil dessen mit hoher Sicherheit darauf zurückzuführen, dass der Mittelwert von Siglinsky et al. aus dem beide Geschlechter umfassenden Gesamtkollektiv beruhte. So erzielten auch bei Siglinsky et al. die Frauen insbesondere in der PP_r signifikant deutlich niedrigere Werte. Die entsprechenden Sprungleistungswerte der als sarkopen einzustufenden Frauen lagen höchstwahrscheinlich unter denen der dort sarkopenen Männer. Darüber hinaus ist die Zahl

der in diesem Falle zum Mittelwert beitragenden Frauen mit 213 beinahe doppelt so hoch, wie die Anzahl der Männer (119). So wird die Sprungleistung sowohl der Kranken als auch Gesunden deutlich nach unten gedrückt. Allerdings können auch lokale und regionale Unterschiede zwischen der untersuchten US Population und den hiesigen Würzburgern mitverantwortlich sein. Isolierte Mittelwerte, getrennt nach dem Geschlecht wurden dort entsprechend nicht publiziert. Die direkte Vergleichbarkeit ist daher eingeschränkt. Darüber hinaus wiesen die dort als sarkopen Klassifizierten ebenso signifikant niedrigere Werte für die V_{\max} und h_{\max} auf, wohingegen auch hier für die körpergewichtsrelativierte Maximalkraft keine signifikanten Unterschiede gefunden werden konnten.

Bei Dietzel et al. hingegen wurden die konkreten Mittelwerte der PP_r , V_{\max} , h_{\max} , sowie des EFI getrennt nach Geschlecht publiziert. Die 22 dort als sarkopen einzustufenden Männer wiesen für alle soeben genannten Parameter signifikant niedrigere Durchschnittswerte auf. Dies steht im Einklang sowohl mit den Ergebnissen von Siglinsky et al. als auch den unsrigen, obwohl unterschiedliche Einteilungsalgorithmen verwendet wurden. Allerdings lagen sowohl die Mittelwerte der Gesunden als auch Kranken über den hiesigen. Dies ist womöglich in der bereits in vorausgehenden Abschnitten eingehend dargelegten und diskutierten, bei Dietzel et al. erfolgten Erfassung weniger neuromuskulär defizitärer Probanden zurückzuführen. Dafür sprechen auch die erzielten EFI Werte, sowohl der gesunden als auch kranken Probanden bei Dietzel et. al, welche für beide Gruppen deutlich über den hiesig erzielten lagen. Selbst die gesunden Probanden dieses Kollektives erreichten im Mittel (80,60 EFI%) nicht die Sprungleistung, die noch bei den als sarkopen eingestufteten Probanden bei Dietzel et al. erzielt wurde (84,7 EFI%). Das Delta zwischen den als krank und gesund zu wertenden Studienteilnehmern für die PP_r fällt bei Dietzel et al. darüber hinaus mit 5,8 W/kg und damit -18,5% ähnlich deutlich wie das hiesig ermittelte von 3,96 W/kg (-14,8%) aus. Darüber hinaus zeigte sich auch bei Dietzel et al. ein signifikantes Defizit von rund -10,5% bei der V_{\max} . Beim hiesigen Kollektiv belief sich das Defizit auf 0,22 m/s bzw. -12,9%. Publierte Werte für die körpergewichtsrelativierte Maximalkraft lagen nicht vor. [128]

Beispielhaft zeigt sich bei der Diskussion der bisherigen Ergebnisse, wie wenige bis kaum vorhandene Daten für die Kernvariablen der JM in Bezug auf die verschiedenen Sarkopenieeinteilungen vorliegen. Die hiesige Studie liefert dafür wertvolle und umfassende Daten zur Sprunganalyse in dem mit Abstand größten erfassten männlichen, als sarkopen zu wertenden Kollektiv. Dabei zeigt sich, dass sich nach der EWGSOP formulierten Einteilung deutliche und signifikante Defizite in allen Kernparametern der JM, allen voran der PP_r ,

nachweisen lassen. Darüber hinaus konnte trotz dieser deutlichen bestehenden Defizite bei den Sarkopenen kongruent zu den Ergebnissen von Siglinsky et al. kein signifikanter Unterschied in der erzielten körperrgewichtrelativierten Maximalkraft gefunden werden. Bei der V_{\max} hingegen schon. [126] Erneut weist dies auf die womöglich determinierende Rolle der Geschwindigkeitskomponente für das Erreichen maximaler Leistung hin. Weitere, große Probandenkollektive erfassende Sprunganalysen sind nötig, die nachweislich differierende Sprungleistung in denen nach der Sarkopenie charakterisierten Gruppen zu bestätigen und zu präzisieren

Bereits die erhobenen signifikanten Differenzen des erzielten mittleren EFI zwischen den beiden Gruppen, sowohl bei Dietzel et al. als auch bei den hiesigen Daten, sprechen für einen über das Alter hinausgehenden Leistungsverlust bei Sarkopenen. Allerdings konnte bei der vorgenommenen Gruppeneinteilung in jeweils 5-Jahres Abschnitten im hiesigen Kollektiv nur in der höchsten Altersgruppe (>85 Jahre) bei den Sarkopenen ein im Mittel signifikant niedrigeres Sprungleistungsmaximum nachgewiesen werden. Nach erfolgter Einteilung in Altersdekaden war die Differenz zumindest in der 8. sowie 9. Dekade nur schwach signifikant ($p=0,039$; $p=0,045$). So bestätigen die Daten zwar die Hypothese, dass die als sarkopen einzustufende Probanden über das Alter hinaus signifikant niedrigere Sprungleistungsmaxima erzielten, jedoch ließ sich dies nur für die über 85-jährigen sowie zusammenfassend für die Probanden innerhalb der 8. und 9. Dekade bestätigen. Diese Studie ist nach bestem Wissen die erste und einzige, welche nach relativer Adjustierung für das Alter auf signifikante Abweichungen bei den als sarkopen zu wertenden Probanden untersucht hat. Dies liegt mitunter darin begründet, dass die einzigen Studien mit ähnlichem Aufbau eine nicht ausreichende Zahl an sarkopenen Probanden vorweisen konnten, um eine weitere Untergruppierung dieser vorzunehmen. Jedoch hat die hiesige Untersuchung diesbezüglich damit zunächst mehr explorativen Charakter. Umfassendere Studien mit der JM, welche möglichst viele als sarkopen zu wertende Probanden erfassen, sind nötig, die sich hier bereits andeutenden Sprungleistungsdifferenzen in den Altersgruppen zu verifizieren und zu konkretisieren.

Die diskutierten Ergebnisse wecken die Erwartung, dass die JM sich eventuell sogar besser in der Diagnostik eignet als etablierte Systeme, wie bspw. die Ganggeschwindigkeit (s. auch 4.8.1). Dabei zeigt sie sich vielversprechend zur Bemessung eines Grenzwertes, der mit einem ebenso erhöhten Risiko für das Erleiden einer Sarkopenie bzw. der damit bisher assoziierten Risikofaktoren einhergeht. Nachfolgend wird sich die JM, sofern die umfassenderen Ergebnisse hierfür vorliegen, an bereits etablierten, in der Sarkopeniediagnostik zur

Anwendung kommenden Diagnostiktools und den zugrundeliegenden Cut-off-Werte unter verschiedensten Aspekten messen und vergleichen lassen müssen.

4.7 Sarkopenie und Sport

Innerhalb der sowohl Sarkopenen als auch als gesund geltenden Probanden wurde nach der Beantwortung der Frage nach der regelmäßigen sportlichen Betätigung gefragt. Dabei zeigte sich entgegen der Erwartung, dass sarkopene Probanden häufiger zu den nicht regelmäßig sportlich Aktiven gehören würden, keine Signifikanz. Zwar waren es sowohl bei den Gesunden als auch Sarkopenen geringfügig mehr, die angegeben hatten, inaktiv zu sein, allerdings waren diese Abweichungen statistisch nicht signifikant.

Von besonderem und eigentlichem Interesse sind dabei jedoch die Ergebnisse der sich aus der Untergruppierung ergebenden Sprungleistungsmaxima. So wiesen in der Gruppe der Sporttreibenden entsprechend der Selbsteinschätzung die als nicht sarkopen Eingestuften eine signifikant höhere PPr auf als die sarkopen Eingestuften. Damit ist trotz regelmäßiger sportlicher Aktivität von einer niedrigeren Sprungleistung (PPr) bei den Sarkopenen auszugehen und folglich von einer geringeren neuromuskulären Leistungsfähigkeit. [112] Jedoch erreicht die Gruppe der Aktiven (MW=25,35 W/kg), trotz Erfüllung der Sarkopeniekriterien, den annähernd gleichen Mittelwert der gesunden Inaktiven (MW= 25,29 W/kg). Darüber hinaus liegt die im Schnitt erzielte PPr der aktiven Sarkopenen signifikant über den als krank und inaktiv Bewerteten. Dahinter könnte entsprechend ein sich positiv auf die Sprungleistung auswirkender Effekt der regelmäßigen sportlichen Aktivität in der Gruppe der Sarkopenen stecken. Die Erkenntnisse haben diesbezüglich im Sinne des zuvor formulierten Ziels der Studie ebenso mehr explorativen Charakter und lassen keine kausalen Ableitungen zu. Longitudinale Studienergebnisse mit der Quantifizierung der neuromuskulären Leistungsfähigkeit mit der JM innerhalb eines als sarkopen zu klassifizierenden, umfassenden Kollektivs sind nötig und vielversprechend. Mit den hiesigen Ergebnissen lässt sich zunächst die Quantifizierungsmöglichkeit dieser Differenzen mit der JM nachweisen. Dies unterstreicht erneut die Sensitivität und das Potential, das in der JM liegt. Die JM scheint damit ein vielseitiges und vielversprechendes Messinstrument zu sein, um auch Art, Umfang und Effekt möglicher Trainingsinterventionen für von Sarkopenie betroffenen Individuen zu messen. Sie kann langfristig sowohl zur Verbesserung der Quantifizierungs- und auch Diagnostikmöglichkeit der Sarkopenie sowie zum Verständnis der neuromuskulären Veränderungen mit dem Alter beitragen.

4.8 Bewertung der JM in der Sarkopeniediagnostik

Nach der bereits in vorausgehenden Abschnitten ausgiebig dargelegten Diskussion verschiedenster Aspekte der JM und ihrer Parameter im Rahmen der Quantifizierung neuromuskulärer Leistungsfähigkeit auf die Bewertung und Eignung der verschiedenen Kernvariablen soll an dieser Stelle insbesondere für die Sarkopeniediagnostik eingegangen werden. Es war zwar nicht primäre Aufgabenstellung und Zielsetzung der vorgelegten Studie, die JM in Bezug auf Ihre Durchführbarkeit, Validität und Anwendbarkeit zu bisherigen Testsystemen zu vergleichen, sondern vor allem in Bezug auf ihre klinische Anwendbarkeit und Validität für die Sarkopeniediagnostik im Allgemeinen, aber letztlich auch der Sarkopenie selbst, zu bewerten. Mit der hier durchgeführten Analyse und Bewertungen der verschiedenen Parameter der JM für die Sarkopenie bietet sich jedoch ein partieller Vergleich der JM mit bisherigen in der Sarkopeniediagnostik etablierten Messsystemen und Parametern an. Dabei geht es im Nachfolgenden zum einen um die zentrale Frage, wie die JM insbesondere auf Basis der hier gewonnenen Erkenntnisse, aber auch in der Zusammenschau bisheriger Studien im klinischen Setting für die Sarkopeniediagnostik zu bewerten ist, und zum anderen, welche Variablen sich unter diesem Gesichtspunkt am besten eignen und warum.

4.8.1 Allgemeine Bewertung

Allgemein gilt anhand der vorliegenden Studienergebnisse zunächst festzustellen, dass sich die JM als sehr sicheres und weitestgehend valide durchführbares Messinstrument auch im klinischen Setting darstellt. So wurden über 500 Probanden einer bevölkerungsrepräsentativen Kohorte in Haushalten lebender Männer fortgeschrittenen Alters mit folglich auch potentiell höherem Risiko für Verletzungen und Zwischenfälle untersucht. Bis auf wenige Ausnahmen sind auch tatsächlich alle von ihnen gesprungen. Es konnte zwar nicht von jedem, aber mit 457 Probanden von einem erheblichen Anteil, mindestens eine valide Messung durchgeführt bzw. von der gerätespezifischen Software als solche gewertet werden. Die GRFP zeichnete in Summe sogar 843 Sprünge auf, da fast jeder Proband mehrere Sprünge absolviert hat. Zählt man die der eigentlichen Messung vorausgehenden Probesprünge noch dazu, beläuft sich die Gesamtzahl auf über 1000. Mit 795 der 843 durch die JM erfassten Sprünge wurden dabei fast alle von der Software als valide und verwertbar befunden. Trotz der erheblichen Anzahl an Sprüngen mit dem kommunizierten Ziel, eine maximale Höhe zu erreichen, kam es zu keinen

Stürzen, Verletzungen, Frakturen oder sonstigen Zwischenfällen bei der Durchführung der Sprunganalyse mit der JM auf einer GRFP.

Dennoch weist die JM, ebenso wie der s2lj, in ihrer klinischen Anwendbarkeit ihre Grenzen auf. So bleiben bettlägerige, stark mobilitätseingeschränkte und bzw. oder sturzgefährdete Probanden mit anzunehmenden sehr schlechten JM Parametern, nicht, oder zumindest untererfasst. Die in dieser Studie untersuchten Probanden lebten weitestgehend selbstständig oder mit Hilfe in eigenen Haushalten und mussten allein aufgrund einer zu gewährleistenden Probandensicherheit zumindest gewisse Grundvoraussetzungen in Bezug auf die Ein- und Ausschlusskriterien erfüllen. So gingen dem s2lj neben der klinischen Untersuchung auch Stand- und Balanceübungen voraus (mehr dazu s. Material und Methoden 2.6 Studienablauf).

Im Vergleich zur JM ist mit der Handkraft- und Muskelmassemessung auch die Untersuchung der obig ausgeführten, unerfasst gebliebenen Probanden grundsätzlich möglich.

Handkraftdynamometrie und BIA sind im klinischen Setting selbst bei Bettlägerigen durchführbar. Bei der Handkraftdynamometrie handelt es sich allerdings insbesondere um ein Messverfahren für die Muskelkraft und bei der BIA um die Messung der Muskelmasse. Beide erfassen bisher relevante Diagnosekriterien, weshalb sie auch ihre Berücksichtigung in dem hier angewendeten Algorithmus der EWGSOP für die Sarkopenie fanden. Beim dritten dort angewandten Kriterium, welches am ehesten die Muskelleistung bemisst, handelt es sich um die Ganggeschwindigkeit. In den Fällen weitreichender Immobilisierung oder Bettlägerigkeit lässt sich eine Bestimmung der Ganggeschwindigkeit aber ebenso schlecht oder nur eingeschränkt durchführen. Sie erscheint zunächst jedoch trotzdem einfacher bzw. bis zu einem umfassenderen Grad der Immobilisierung durchführbar, im Vergleich zu einem s2lj auf einer GRFP. Allerdings wäre eventuell bereits ein „kleiner“ Sprung auf der GRFP, mehr im Sinne eines Hüpfens mit dem Versuch maximaler Leistung, bereits ausreichend. So konnten die Ergebnisse dieser Arbeit in Bezug auf die mit dem Alter abnehmende Ausholtiefe und in Zusammenschau mit den Ergebnissen von Salles et al. [117] zeigen, dass zum Bemessen der gewichtsadjustierten Maximalleistung während des s2lj weder zwangsläufig eine ausufernde Ausholbewegung noch das Erzielen besonders großer Sprunghöhe zwingend erforderlich ist. (s. Abschnitt 4.4.6 der Diskussion). Ob sich dies jedoch auch für eine ältere Probandengruppe bestätigen lässt und bis zu welchem Grad der Mobilitätseinschränkung und Ausmaß eines Sprunges diese Beobachtungen Bestand haben, bleibt zu untersuchen.

Die hier dargelegten Ergebnisse konnten einen ersten Grundstein dafür legen, um aufzuzeigen, dass sich die JM mithilfe einer GRFP auch für wenig selektionierte, möglichst

bevölkerungsrepräsentativ erfasste Männer fortgeschrittenen Alters sicher und bis auf wenige Ausnahmen als durchführbar erweist und darüber hinaus verwertbare Daten liefert. Somit stellt sich auch die Frage, ob sich die Quantifizierung neuromuskulärer Leistungsfähigkeit, vornehmlich in Bezug auf die Bemessung von im Alltag maximal abrufbarer Muskelleistung bzw. Funktion, für ein Probandenspektrum als relevant zeigt, bei dem das Ausgangslevel nicht einmal für eine valide Messung ausreicht. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese nicht mit der JM erfassbare Probandengruppe auch mit Intervention tatsächlich ein solches Ausmaß von Mobilität und Standsicherheit wiedererlangt, das eine nachfolgende Messung erlauben würde, erscheint gering.

Im Vergleich ist die Bestimmung der Ganggeschwindigkeit eine der JM am ehesten nahekommende Diagnostikmöglichkeit. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen spezifische, aus dieser Arbeit hervorgehende Ergebnisse, die die Vorteile der JM, sowohl im Hinblick auf die Methodik, als auch auf die bereits im Abschnitt 1.6 der Einleitung adressierten Zielparameter unterstreichen. So wurden im hier untersuchten Kollektiv unter Anwendung des Algorithmus der EWGSOP zur Sarkopenieeinteilung, zunächst über die Grundvoraussetzung eines geringen SMIs ($\leq 10,75 \text{ kg/m}^2$) hinaus, lediglich drei Probanden durch eine zusätzlich verminderte Ganggeschwindigkeit ($< 0,8 \text{ m/s}$) für sarkopen befunden. Alle verbleibenden 93 der 96 von 416 als potentiell sarkopen Klassifizierbaren qualifizierten sich in der vorgelegten Studie allein über die Kombination einer verminderten Muskelmasse ($\text{SMI} < 10,75 \text{ kg/m}^2$) und Handkraft ($< 30 \text{ kg}$). Ausgesprochen bemerkenswert ist in diesem Kontext eine weitere mit dieser Studie gemachte Beobachtung. Obwohl die insbesondere muskelleistungsquantifizierende Variable des EWGSOP Algorithmus bzw. der Cut-off von $< 0,8 \text{ m/s}$ Ganggeschwindigkeit für die Sarkopenieeinstufung ganz offensichtlich nicht zur Identifizierung von sarkopenen Probanden beigetragen hat, ließen sich mit der JM auf Seiten der sarkopenen Kohorte entgegen den nicht sarkopenen deutlich und signifikant geringer ausgeprägte Leistungsparameter der JM nachweisen. Das betrifft insbesondere die gewichtsadjustierte Sprungleistung sowie die Maximalgeschwindigkeit. Die JM, besonders die somit ermittelte PPr, scheint damit vielversprechend zu sein, um ein Muskelleistungsdefizit im Vergleich zu etablierten Messsystemen generell zu erfassen. Sie verspricht, das Spektrum der zu erfassenden Muskelleistung im Sinne einer neuromuskulären- sowie Maximalleistungsbestimmung zu erweitern, darüber hinaus potentiell sehr sensitiv zu sein und damit möglicherweise in der Lage, Defizite bereits in früheren Jahren zu detektieren. Letztlich zeigt sie sich unter diesen Aspekten insbesondere für die klinische Anwendung in der Sarkopeniediagnostik geeignet.

Die hiesigen Ergebnisse in Bezug auf die anthropometrischen Daten und Muskelmasseparameter erweisen sich insbesondere mit den Erkenntnissen in Einklang, die von der größeren Bedeutung des Muskelqualitätsverlustes statt des Muskelmasseverlustes im Alter sprechen (s. Diskussionsabschnitt 4.3.2). Die JM im Allgemeinen sowie insbesondere die gewichtsadjustierte Sprungleistung stellt sich damit als geeignete Möglichkeit der Bemessung der Muskelqualität sowohl im hohen Alter an sich als auch ihrer diesbezüglichen altersassoziierten Abnahme dar.

4.8.2 Welche Parameter konkret und warum?

Für die Quantifizierung neuromuskulärer Leistungsfähigkeit und damit letztendlich auch Validität der Sprunganalyse in der Sarkopeniediagnostik zeigte sich die gewichtsadjustierte Sprungleistung bisher am vielversprechendsten. So zeigte sie bisher den deutlichsten linearen altersassoziierten Regress. Eine hohe interindividuelle Variabilität ermöglicht die gleichzeitige Erfassung der beiden Faktoren Kraft und Geschwindigkeit, berücksichtigt dabei das gegen die Schwerkraft zu bewegendes Körpergewicht und gibt damit ein vielversprechendes Abbild von tatsächlich alltagsrelevant brauchbarer neuromuskulärer Qualifikation und Möglichkeit der Quantifizierung dieser. Darüber hinaus hat sie sich in Bezug auf die Methodik im Sinne eines Inter-Rater-Fehlers als auch Wiederholungsfehlers bewährt. Des Weiteren zeigt sie sich gegenüber der Maximalsprungkraft und -höhe weniger anfällig gegenüber Änderungen des willentlichen Einsatzes als auch der Tiefe der Ausholbewegung (s. Einleitungsabschnitt 1.6).

Auch in der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die gewichtsadjustierte Sprungleistung zusammen mit der Maximalgeschwindigkeit und -höhe den deutlichsten hochsignifikanten Rückgang mit dem Alter aufweist, dies insbesondere in einem für die Sarkopenie relevanten Kollektiv. Da sich die Sprungleistung aus dem Produkt von Kraft und Geschwindigkeit ergibt, erfasst sie bis zu einem gewissen Grad die Maximalgeschwindigkeit, welche sich durch ihren ebenso deutlichen Rückgang mit in den Fokus der Untersuchung drängt. Auch die Sprungkraft findet so ihre Berücksichtigung. Zwar ergaben sich in der vorliegenden Studie keine Hinweise auf eine übermäßige Abnahme der Maximalkraft, in vorausgehenden Studien jedoch durchaus. Die Maximalgeschwindigkeit isoliert für sich unter Vernachlässigung der Maximalkraft zur Diagnostik heranzuziehen, erscheint damit hingegen wenig zielführend.

Die Sprunghöhe steht dafür wiederum in engem Zusammenhang mit der Sprunggeschwindigkeit. Die Maximalhöhe stellte sich darüber hinaus, entgegen der gewichtsadjustierten Maximalleistung, bereits in einer Studie von Salles et al. [117] stark anfällig gegenüber Änderungen des willentlichen Einsatzes und der Tiefe der Ausholbewegung dar. Für beide Faktoren ist in einem für die Sarkopeniediagnostik relevanten Untersuchungskollektiv, wie dem vorliegenden, eine besonders zur Geltung kommende Rolle anzunehmen. Zwar lässt sich das Ausmaß des willentlichen Einsatzes schwer messen, die Ausholtiefe hingegen schon. So ist auf die bereits in Abschnitt 4.4.6 diskutierten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zum signifikanten und deutlichen Regress der Ausholtiefe mit dem Alter zu verweisen. Die Aussagekraft der Sprunghöhe hat damit eine eingeschränkte, bzw. bis zur Klärung des Sachverhaltes im hohen Alter fragliche Aussagekraft für die Quantifizierung neuromuskulärer Leistungsfähigkeit, zumindest im Sinne der Sarkopeniediagnostik.

In der vorgelegten Studie konnte mittels JM darüber hinaus insbesondere im Alter ein deutliches Missverhältnis der produktbildenden Faktoren in Form der Maximalgeschwindigkeit und Maximalkraft ermittelt werden. Zur Klärung sich hier klinisch möglicherweise messbar machender Pathomechanismen, welche sich in vitro bereits in Form einer verminderten Muskelkontraktionsgeschwindigkeit abzeichneten, müssten genauere und auf dieses Problem fokussierte Studien mittels der JM folgen. Dabei sind insbesondere die genauen Parameterwerte von Kraft und Geschwindigkeit zum exakten Zeitpunkt des Leistungsmaximums von entscheidender Bedeutung sowie die Untersuchung und Herleitung des naheliegenden aber nicht zwangsläufig bestehenden Zusammenhangs und Beziehung zwischen Sprunggeschwindigkeit und Kontraktionsgeschwindigkeit. (s. 4.4.5) Dabei unterstreichen die diesbezüglichen Ergebnisse die Bedeutung der gewichtsadjustierten Maximalleistung mittels JM zur Quantifizierung neuromuskulärer Leistungsfähigkeit im Alter und damit letztlich auch nicht nur ihrer Validität in der Sarkopeniediagnostik, sondern auch das in ihr liegende Potential für das genaue Verständnis ihrer zugrundeliegenden Pathomechanismen.

Des Weiteren konnte in der vorliegenden Studie gezeigt werden, dass allen voran für die gewichtsadjustierte Sprungleistung deutliche und signifikante Unterschiede in Abhängigkeit vom Sarkopeniestatus als auch Aktivitätsniveau vorliegen. So wiesen Sarkopene eine verminderte Sprungleistung nicht Sarkopenen gegenüber auf. Bei nicht regelmäßig sportlich Aktiven ließ sich im Vergleich zu regelmäßig Aktiven selbige Beobachtung machen. Es bestehen weitere interessante den Ergebnissen zu entnehmende Subgruppeneffekte, für die aber auf die entsprechende Diskussion in Abschnitt 4.7 verwiesen wird. Gegenüber gesunden

Alten (Runge et al.) sowie gesunden Senior-Hochleistungsathleten (Michaelis et al.) finden sich in dem für die klinische Anwendbarkeit am ehesten für die Sarkopeniediagnostik von Bedeutung erscheinenden hiesigen Kollektiv deutliche Defizite in Bezug auf die gewichtsadjustierte Sprungleistung (PPr). Die JM ist damit potentiell auch in der Lage, ausgeführte Unterschiede der neuromuskulären Leistungsfähigkeit sowohl zu erfassen sowie zu bemessen und erscheint für die Sarkopeniediagnostik damit geeignet.

4.8.3 Ausblick

Viele Wissenslücken, welche sich mitunter auch gerade durch die Ergebnisse der hier vorgelegten Studie ergeben, bleiben dabei offen. So bleibt zu klären, welche altersassoziiert zunehmenden und mit der Sarkopenie bereits assoziierten Faktoren im Einzelnen verantwortlich sind, und in welchem Ausmaß sie für neuromuskuläre Leistungsdifferenzen als auch –verluste stehen. Darüber hinaus gilt es, die Rolle der Geschwindigkeitskomponente an der Produktbildung der Sprungleistung umfassender zu untersuchen sowie in diesem Zusammenhang auch die Beziehung zwischen der Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskulatur und der Sprunggeschwindigkeit. Weiterführende umfassende Studien zur Bestimmung von Grenzwerten für die JM bzw. die damit zu bemessende neuromuskuläre Leistungsfähigkeit, deren Unterschreitung mit relevant erhöhtem Risiko für die Sarkopenie bzw. das Zusammenwirken damit bisher identifizierter und assoziierter Faktoren, sind nötig. Auch wenn die JM sich durch die vorliegenden Ergebnisse in ihrer klinischen Anwendbarkeit für die Sarkopeniediagnostik als geeignet erweist, verfolgt sie gar nicht das konkrete oder zwingende Ziel, die bisherigen etablierten Diagnostiktools zu ersetzen, sondern eher zu ergänzen. Vielmehr erweitert sie das Spektrum der Erfassung, insbesondere in Hinblick auf einen alters- und sarkopenieassoziierten Muskelqualitätsverlust. Dieser lässt sich auch anhand der hier vorliegenden Ergebnisse (s. 4.3 und 4.4.5) vermuten. Nichtsdestotrotz muss sich die JM aber trotzdem an und mit den bisherigen Diagnostiktools, Parametern und Grenzwerten unter verschiedensten Aspekten messen und vergleichen lassen. Dies sowohl in Bezug auf den altersassoziiert zu beobachtenden neuromuskulären Leistungsverlust als auch für die Sarkopenieklassifizierungen.

5 Zusammenfassung

Die dargelegte Arbeit befasst sich mit der Validierung und Anwendbarkeit der Sprunganalyse mittels Bodenreaktionskraftanalysen zur genaueren Quantifizierung neuromuskulärer Leistungsfähigkeit in einer insbesondere für die Sarkopeniediagnostik, -screening und -prävention relevanten Kohorte, die sich durch ein möglichst repräsentatives Abbild in Haushalten lebender Männer fortgeschrittenen Alters auszeichnet und damit auch mobilitäts- und morbiditätseingeschränkte Probanden umfasst. Folglich wurden dafür bei 457 Würzburger Männern verschiedenste Parameter der JM auf Ihre Verwertbarkeit und erreichte Zielgröße, insbesondere unter dem Aspekt des Alters, analysiert und unter anderem mit bestehenden Ergebnissen in erster Linie gesunder Referenzkollektive verglichen und in Kontext gesetzt.

In der vorliegenden Studie konnte mithilfe der JM altersassoziiert dabei ein deutlicher Verlust, insbesondere der Sprungleistung, Geschwindigkeit und Sprunghöhe bei gleichzeitig nur geringem Verlust der Sprungkraft, nachgewiesen werden. Gegenüber Studienkollektiven mit einer deutlichen Positivselektion für gesunde, fitte Teilnehmer ließ sich ein signifikantes und deutliches Defizit für die Sprungleistung, -geschwindigkeit und -höhe aufzeigen. Es ergab sich diesen Vergleichsgruppen gegenüber jedoch im hohen Alter kein überproportionaler Abfall der neuromuskulären Leistungsfähigkeit. Des Weiteren zeigte sich keine Abweichung von der sich in bisherigen Studien zeigenden Linearität des mit dem Alter einhergehenden Leistungsverlustes. Die Rate des jährlichen Leistungsrückganges blieb trotz stark differierender untersuchter Altersspannen verschiedener Studienkollektive ebenso unverändert.

In Bezug auf die Probandencharakterisierung ließen sich in der vorliegenden Arbeit mit zunehmender Übergewichtigkeit (BMI) signifikant schlechtere Sprungparameter, allen voran der Sprungleistung, detektieren. Weder eine erhöhte absolute Muskelmasse (SM) noch ein relativer Muskelmasseanteil (SMI) war mit besseren Ergebnissen in der JM assoziiert. Unter Berücksichtigung des Alters trat gar der gegenteilige Effekt ein. Dies ließ sich mit der bisherigen Erkenntnis in Einklang bringen, dass Muskelqualität gegenüber der -quantität ausschlaggebend für neuromuskuläre Leistungsfähigkeit zu sein scheint. Die JM stellt dafür eine geeignete Quantifizierungsmöglichkeit dar.

In der vorliegenden Arbeit erweist sich die Sprunganalyse des s2lj mithilfe einer GRFP im Allgemeinen insbesondere im höheren Alter und darüber hinaus für mobilitäts- und multimorbiditätseingeschränkten Männer als sichere und vielversprechende Methodik zur

genaueren Quantifizierung neuromuskulärer Leistungsfähigkeit. Dabei qualifiziert sich hierfür in Zusammenschau mit bisherigen Studien die gewichtsadjustierte Sprungleistung (PP_r) als aussagekräftigster Parameter. Zum einen wird das probandenindividuelle Körpergewicht berücksichtigt, zum anderen zeigte sich in der vorliegenden Arbeit, dass sie zusammen mit der Sprunghöhe sowie der Maximalgeschwindigkeit den deutlichsten altersassoziierten Rückgang aufweist. Mit der Leistung als Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit erfasst der Parameter damit bereits sowohl die mit dem Alter ebenso deutlich abnehmende Maximalgeschwindigkeit als auch die damit in engem Zusammenhang stehende Sprunghöhe. Weiterführend konnten diesbezüglich insbesondere Hinweise auf eine im Alter verhältnismäßig zur Kraft überproportionale und damit determinierende Rolle der Geschwindigkeitskomponente an der Sprungleistung gewonnen werden. Damit bestärkt sich nochmals die Bedeutung der Leistungskomponente als relevanteste Größe der JM unter dem Aspekt der neuromuskulären Leistungsfähigkeit und Sarkopenie. Darüber hinaus geben die diesbezüglich gewonnenen Ergebnisse Anlass für weiterführende Analysen der Hintergründe des sich deutlich altersassoziiert aufzeigenden Sprungleistungsverlustes. Insbesondere die Geschwindigkeitskomponente scheint zum genaueren Verständnis und Eingrenzung entscheidender Pathomechanismen des neuromuskulären Leistungsverlustes besonders relevant zu sein. Hier eröffnet sich erhebliches Potential zur Identifizierung konkreter Interventions- und Präventionsansätze für eine Sarkopenietherapie und eventuell. sogar -screening. Dafür werden allerdings noch weitere und präzisere Untersuchungen der JM benötigt, die aufbauend auf den dargelegten Erkenntnissen explizit die Beziehung der Sprunggeschwindigkeit zur Kontraktionsgeschwindigkeit herstellen und untersuchen. Darüber hinaus konnte für den in engem Zusammenhang zur Sprungstrategie stehenden Parameter der Ausholtiefe (h_{min}) erstmalig ein deutlicher altersassoziiertes Rückgang festgestellt werden. Es zeigte sich mit Zunahme des Alters eine sich ändernde Sprungstrategie. Somit geben die vorgelegten Ergebnisse Anlass zur genaueren Untersuchung eines möglicherweise im Alter relevanten Ursache-Wirkung Problems zwischen der Tiefe der Ausholbewegung und der erzielten Sprunggeschwindigkeit und letztlich auch Sprungleistung.

Im Rahmen dieser Untersuchung ließen sich mit der JM bei den Sarkopenen zunächst deutliche und signifikant geringere Parameterwerte als auf Seiten der nicht Sarkopenen finden. Die Defizite zeigten sich bei der Sprungleistung sowie Maximalgeschwindigkeit am deutlichsten. Unter zusätzlicher Berücksichtigung des Alters konnten jedoch mit Ausnahme

bei den sehr Alten keine signifikant geringere Sprungleistung in der sarkopenen Kohorte nachgewiesen werden. Ein nächster Schritt wäre dennoch, auf Basis weiterer Sprunganalysen Cut-off Werte für eine Sprungleistung zu erörtern, deren Unterschreitung für sich mit einem erhöhten Risiko für Einschränkungen der Mobilität und Alltagskompetenzen sowie weitere mit der Sarkopenie assoziierte Faktoren einhergeht. Damit ließe sich der bisherige EWGSOP Algorithmus potentiell erweitern, ergänzen und verbessern, zur genaueren eventuell auch früheren Identifizierung und Klassifizierung potentiell von der Sarkopenie Betroffener.

Der bisher vielversprechende Interventions- und Präventionsansatz in Form regelmäßiger sportlicher Aktivität zeigte in der vorliegenden Studie signifikant positive Auswirkungen auf die Sprungleistung und folglich neuromuskuläre Leistungsfähigkeit des untersuchten Gesamtkollektives. Unter Berücksichtigung des Lebensalters stellt sich in der Untersuchung der Zusammenhang jedoch, alleine für sich betrachtet, als unerwartet gering dar.

Sowohl für Sarkopene als auch nicht Sarkopene konnte zwar bei regelmäßiger sportlicher Aktivität eine signifikant bessere Sprungleistung nachgewiesen werden, aber trotz regelmäßiger sportlicher Aktivität Sarkopener konnten sie nur die Sprungleistung in Höhe der nicht sporttreibenden Gesunden erzielen. Es bestätigt sich in der JM, dass regelmäßige sportliche Aktivität auch bei als sarkopen klassifizierten Probanden mit besserer neuromuskulärer Leistungsfähigkeit assoziiert ist. Ob sich dies auch tatsächlich als Intervention bzw. Therapie oder Prävention zur Verbesserung des mit der Sarkopenie einhergehenden neuromuskulären Leistungsverlustes eignet, wird sich mit der JM in longitudinalen Studien beweisen müssen.

Weiterhin bleibt zu prüfen, ob sich die hier dargelegten Erkenntnisse zur JM im Alter auch sowohl in regional abweichenden Kohorten Deutschlands, Europas und der Welt als auch bei Frauen bestätigen lassen und wenn nicht, wo und in welchem Ausmaß möglicherweise regionale und insbesondere geschlechtsspezifische Unterschiede bestehen.

6 Literaturverzeichnis

1. Edwards, M.H. and B. Buehring, *Novel Approaches to the Diagnosis of Sarcopenia*. J Clin Densitom, 2015. **18**(4): p. 472-7.
2. LEONARDO *Mechanography Ground Reaction Force Platform (GRFP) v4.1.19*. Vol. v1.0.9-de, 25.9.2006, RR. 2006: NOVOTEC Medical GmbH. 86.
3. Rosenberg, I.H., *Sarcopenia: origins and clinical relevance*. J Nutr, 1997. **127**(5 Suppl): p. 990S-991S.
4. Baumgartner, R.N., et al., *Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico*. Am J Epidemiol, 1998. **147**(8): p. 755-63.
5. Cruz-Jentoft, A.J., et al., *Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People*. Age Ageing, 2010. **39**(4): p. 412-23.
6. Fielding, R.A., et al., *Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia*. J Am Med Dir Assoc, 2011. **12**(4): p. 249-56.
7. Studenski, S.A., et al., *The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2014. **69**(5): p. 547-58.
8. Janssen, I., S.B. Heymsfield, and R. Ross, *Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability*. J Am Geriatr Soc, 2002. **50**(5): p. 889-96.
9. Karin Böhm, D.S.M., Manuela Nöthen, Torsten Schelhase, Dr. Elke Hoffmann, Anna Hokema, Sonja Menning, Dr. Benjamin Schüz, Daniela Sulmann, Prof. Dr. Clemens Tesch-Römer, Dr. Susanne Wurm, Lars Eric Kroll, Thomas Lampert, and D.L.R. Dr. Sabine Maria List, Dr. Anke-Christine Saß, Dr. Thomas Ziese, *Gesundheit und Krankheit im Alter*, D.S. Bundesamt, Editor. 2009, Karin Böhm, Prof. Dr. Clemens Tesch-Römer, Dr. Thomas Ziese: Berlin. p. 323.
10. Landi, F., et al., *Sarcopenia as a risk factor for falls in elderly individuals: results from the ilSIRENTE study*. Clin Nutr, 2012. **31**(5): p. 652-8.
11. Lang, T., et al., *Sarcopenia: etiology, clinical consequences, intervention, and assessment*. Osteoporos Int, 2010. **21**(4): p. 543-59.
12. Guralnik, J.M., et al., *Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2000. **55**(4): p. M221-31.
13. Guralnik, J.M., et al., *A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission*. J Gerontol, 1994. **49**(2): p. M85-94.

14. Bianchi, L., et al., *The Predictive Value of the EWGSOP Definition of Sarcopenia: Results From the InCHIANTI Study*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2016. **71**(2): p. 259-64.
15. Health Quality, O., *Social isolation in community-dwelling seniors: an evidence-based analysis*. Ont Health Technol Assess Ser, 2008. **8**(5): p. 1-49.
16. Cederholm, T., A.J. Cruz-Jentoft, and S. Maggi, *Sarcopenia and fragility fractures*. Eur J Phys Rehabil Med, 2013. **49**(1): p. 111-7.
17. Woo, T., S. Yu, and R. Visvanathan, *Systematic Literature Review on the Relationship Between Biomarkers of Sarcopenia and Quality of Life in Older People*. J Frailty Aging, 2016. **5**(2): p. 88-99.
18. Levasseur, M., D. St-Cyr Tribble, and J. Desrosiers, *Meaning of quality of life for older adults: importance of human functioning components*. Arch Gerontol Geriatr, 2009. **49**(2): p. e91-100.
19. *Demographischer Wandel in Deutschland*. 2011, Statistische Ämter des Bundes und der Länder: www.statistikportal.de. p. 40.
20. Chatterji, S., et al., *Health, functioning, and disability in older adults--present status and future implications*. Lancet, 2015. **385**(9967): p. 563-75.
21. Suzman, R., et al., *Health in an ageing world--what do we know?* Lancet, 2015. **385**(9967): p. 484-6.
22. Janssen, I., et al., *The healthcare costs of sarcopenia in the United States*. J Am Geriatr Soc, 2004. **52**(1): p. 80-5.
23. Janssen, I., et al., *Skeletal muscle cutpoints associated with elevated physical disability risk in older men and women*. Am J Epidemiol, 2004. **159**(4): p. 413-21.
24. Goodpaster, B.H., et al., *Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study*. J Appl Physiol (1985), 2001. **90**(6): p. 2157-65.
25. Goodpaster, B.H., et al., *The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2006. **61**(10): p. 1059-64.
26. Newman, A.B., et al., *Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2006. **61**(1): p. 72-7.
27. Manini, T.M. and B.C. Clark, *Dynapenia and aging: an update*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2012. **67**(1): p. 28-40.
28. Reid, K.F. and R.A. Fielding, *Skeletal muscle power: a critical determinant of physical functioning in older adults*. Exerc Sport Sci Rev, 2012. **40**(1): p. 4-12.
29. Hunter, S.K., H.M. Pereira, and K.G. Keenan, *The aging neuromuscular system and motor performance*. J Appl Physiol (1985), 2016. **121**(4): p. 982-995.

30. Thom, J.M., et al., *Influence of muscle architecture on the torque and power-velocity characteristics of young and elderly men*. Eur J Appl Physiol, 2007. **100**(5): p. 613-9.
31. Studenski, S., et al., *Gait speed and survival in older adults*. JAMA, 2011. **305**(1): p. 50-8.
32. Cesari, M., et al., *Added value of physical performance measures in predicting adverse health-related events: results from the Health, Aging And Body Composition Study*. J Am Geriatr Soc, 2009. **57**(2): p. 251-9.
33. Clark, B.C. and T.M. Manini, *What is dynapenia?* Nutrition, 2012. **28**(5): p. 495-503.
34. Clark, B.C. and T.M. Manini, *Sarcopenia \neq dynapenia*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2008. **63**(8): p. 829-34.
35. Abellan van Kan, G., *Epidemiology and consequences of sarcopenia*. J Nutr Health Aging, 2009. **13**(8): p. 708-12.
36. Janssen, I., et al., *Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis*. J Appl Physiol (1985), 2000. **89**(2): p. 465-71.
37. Landi, F., et al., *Sarcopenia and mortality risk in frail older persons aged 80 years and older: results from the ilSIRENTE study*. Age Ageing, 2013. **42**(2): p. 203-9.
38. Landi, F., et al., *Association of anorexia with sarcopenia in a community-dwelling elderly population: results from the ilSIRENTE study*. Eur J Nutr, 2013. **52**(3): p. 1261-8.
39. Lee, W.J., et al., *Comparisons of sarcopenia defined by IWGS and EWGSOP criteria among older people: results from the I-Lan longitudinal aging study*. J Am Med Dir Assoc, 2013. **14**(7): p. 528 e1-7.
40. Legrand, D., et al., *The prevalence of sarcopenia in very old individuals according to the European consensus definition: insights from the BELFRAIL study*. Age Ageing, 2013. **42**(6): p. 727-34.
41. Murphy, R.A., et al., *Transition to sarcopenia and determinants of transitions in older adults: a population-based study*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2014. **69**(6): p. 751-8.
42. Patel, H.P., et al., *Prevalence of sarcopenia in community-dwelling older people in the UK using the European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP) definition: findings from the Hertfordshire Cohort Study (HCS)*. Age Ageing, 2013. **42**(3): p. 378-84.
43. Tanimoto, Y., et al., *Association between sarcopenia and higher-level functional capacity in daily living in community-dwelling elderly subjects in Japan*. Arch Gerontol Geriatr, 2012. **55**(2): p. e9-13.
44. Volpato, S., et al., *Prevalence and clinical correlates of sarcopenia in community-dwelling older people: application of the EWGSOP definition and diagnostic algorithm*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2014. **69**(4): p. 438-46.

45. Cruz-Jentoft, A.J., et al., *Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: a systematic review. Report of the International Sarcopenia Initiative (EWGSOP and IWGS)*. Age Ageing, 2014. **43**(6): p. 748-59.
46. Gariballa, S. and A. Alessa, *Sarcopenia: prevalence and prognostic significance in hospitalized patients*. Clin Nutr, 2013. **32**(5): p. 772-6.
47. Bastiaanse, L.P., et al., *Prevalence and associated factors of sarcopenia in older adults with intellectual disabilities*. Res Dev Disabil, 2012. **33**(6): p. 2004-12.
48. Landi, F., et al., *Prevalence and risk factors of sarcopenia among nursing home older residents*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2012. **67**(1): p. 48-55.
49. Janssen, I., *Evolution of sarcopenia research*. Appl Physiol Nutr Metab, 2010. **35**(5): p. 707-12.
50. An, K.O. and J. Kim, *Association of Sarcopenia and Obesity With Multimorbidity in Korean Adults: A Nationwide Cross-Sectional Study*. J Am Med Dir Assoc, 2016. **17**(10): p. 960 e1-7.
51. Jensen, G.L., *Inflammation: roles in aging and sarcopenia*. JPEN J Parenter Enteral Nutr, 2008. **32**(6): p. 656-9.
52. Curcio, F., et al., *Biomarkers in sarcopenia: A multifactorial approach*. Exp Gerontol, 2016. **85**: p. 1-8.
53. Paterson, D.H., G.R. Jones, and C.L. Rice, *Ageing and physical activity: evidence to develop exercise recommendations for older adults*. Can J Public Health, 2007. **98 Suppl 2**: p. S69-108.
54. Kuh, D., et al., *Grip strength, postural control, and functional leg power in a representative cohort of British men and women: associations with physical activity, health status, and socioeconomic conditions*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2005. **60**(2): p. 224-31.
55. Chandler, J.M. and E.C. Hadley, *Exercise to improve physiologic and functional performance in old age*. Clin Geriatr Med, 1996. **12**(4): p. 761-84.
56. Ebner, N., et al., *Muscle wasting in ageing and chronic illness*. ESC Heart Fail, 2015. **2**(2): p. 58-68.
57. Westerterp, K.R., *Daily physical activity and ageing*. Curr Opin Clin Nutr Metab Care, 2000. **3**(6): p. 485-8.
58. Kortebein, P., et al., *Effect of 10 days of bed rest on skeletal muscle in healthy older adults*. JAMA, 2007. **297**(16): p. 1772-4.
59. Rittweger, J., et al., *Vertical jump performance after 90 days bed rest with and without flywheel resistive exercise, including a 180 days follow-up*. Eur J Appl Physiol, 2007. **100**(4): p. 427-36.
60. Lexell, J., *Human aging, muscle mass, and fiber type composition*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1995. **50 Spec No**: p. 11-6.

61. Lexell, J., et al., *Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: effects of aging studied in whole muscle cross sections*. Muscle Nerve, 1983. **6**(8): p. 588-95.
62. Hepple, R.T. and C.L. Rice, *Innervation and neuromuscular control in ageing skeletal muscle*. J Physiol, 2016. **594**(8): p. 1965-78.
63. Piasecki, M., et al., *Age-dependent motor unit remodelling in human limb muscles*. Biogerontology, 2016. **17**(3): p. 485-96.
64. Tomlinson, B.E. and D. Irving, *The numbers of limb motor neurons in the human lumbosacral cord throughout life*. J Neurol Sci, 1977. **34**(2): p. 213-9.
65. Clark, D.J., et al., *Impaired voluntary neuromuscular activation limits muscle power in mobility-limited older adults*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2010. **65**(5): p. 495-502.
66. Visser, M., et al., *Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study*. J Am Geriatr Soc, 2002. **50**(5): p. 897-904.
67. Baumgartner, R.N., *Body composition in healthy aging*. Ann N Y Acad Sci, 2000. **904**: p. 437-48.
68. Kim, T.N., et al., *Relationships between sarcopenic obesity and insulin resistance, inflammation, and vitamin D status: the Korean Sarcopenic Obesity Study*. Clin Endocrinol (Oxf), 2013. **78**(4): p. 525-32.
69. Choi, K.M., *Sarcopenia and sarcopenic obesity*. Korean J Intern Med, 2016. **31**(6): p. 1054-1060.
70. Zamboni, M., et al., *Sarcopenic obesity: a new category of obesity in the elderly*. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2008. **18**(5): p. 388-95.
71. Bijlsma, A.Y., et al., *Diagnostic criteria for sarcopenia relate differently to insulin resistance*. Age (Dordr), 2013. **35**(6): p. 2367-75.
72. Jackson, M.J., *Skeletal muscle aging: role of reactive oxygen species*. Crit Care Med, 2009. **37**(10 Suppl): p. S368-71.
73. Jang, Y.C. and H. Van Remmen, *The mitochondrial theory of aging: insight from transgenic and knockout mouse models*. Exp Gerontol, 2009. **44**(4): p. 256-60.
74. Abbatecola, A.M., et al., *Discovering pathways of sarcopenia in older adults: a role for insulin resistance on mitochondria dysfunction*. J Nutr Health Aging, 2011. **15**(10): p. 890-5.
75. Meng, S.J. and L.J. Yu, *Oxidative stress, molecular inflammation and sarcopenia*. Int J Mol Sci, 2010. **11**(4): p. 1509-26.
76. Rasmussen, B.B., et al., *Insulin resistance of muscle protein metabolism in aging*. FASEB J, 2006. **20**(6): p. 768-9.

77. Maggio, M., F. Lauretani, and G.P. Ceda, *Sex hormones and sarcopenia in older persons*. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2013. **16**(1): p. 3-13.
78. Wang, C. and L. Bai, *Sarcopenia in the elderly: basic and clinical issues*. *Geriatr Gerontol Int*, 2012. **12**(3): p. 388-96.
79. Muscaritoli, M., et al., *Consensus definition of sarcopenia, cachexia and pre-cachexia: joint document elaborated by Special Interest Groups (SIG) "cachexia-anorexia in chronic wasting diseases" and "nutrition in geriatrics"*. *Clin Nutr*, 2010. **29**(2): p. 154-9.
80. Evans, W.J., et al., *Cachexia: a new definition*. *Clin Nutr*, 2008. **27**(6): p. 793-9.
81. Rensing, L. and J. Ockenga, *[Muscle wasting (sarcopenia/cachexia) and malnutrition: new insights into development and therapy]*. *Dtsch Med Wochenschr*, 2010. **135**(33): p. 1605-11.
82. Ali, S. and J.M. Garcia, *Sarcopenia, cachexia and aging: diagnosis, mechanisms and therapeutic options - a mini-review*. *Gerontology*, 2014. **60**(4): p. 294-305.
83. Joseph, C., et al., *Role of endocrine-immune dysregulation in osteoporosis, sarcopenia, frailty and fracture risk*. *Mol Aspects Med*, 2005. **26**(3): p. 181-201.
84. Roubenoff, R., et al., *Monocyte cytokine production in an elderly population: effect of age and inflammation*. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 1998. **53**(1): p. M20-6.
85. Ferrucci, L., et al., *Change in muscle strength explains accelerated decline of physical function in older women with high interleukin-6 serum levels*. *J Am Geriatr Soc*, 2002. **50**(12): p. 1947-54.
86. Fried, L.P., et al., *Frailty in older adults: evidence for a phenotype*. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2001. **56**(3): p. M146-56.
87. Bauer, J.M. and C.C. Sieber, *Sarcopenia and frailty: a clinician's controversial point of view*. *Exp Gerontol*, 2008. **43**(7): p. 674-8.
88. Abellan van Kan, G., et al., *Sarcopenia and cognitive impairment in elderly women: results from the EPIDOS cohort*. *Age Ageing*, 2013. **42**(2): p. 196-202.
89. Mijnders, D.M., et al., *Validity and reliability of tools to measure muscle mass, strength, and physical performance in community-dwelling older people: a systematic review*. *J Am Med Dir Assoc*, 2013. **14**(3): p. 170-8.
90. *NIH Consensus statement. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement. National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. December 12-14, 1994*. *Nutrition*, 1996. **12**(11-12): p. 749-62.
91. Lee, S.Y. and D. Gallagher, *Assessment methods in human body composition*. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2008. **11**(5): p. 566-72.
92. Wielopolski, L., et al., *Measuring partial body potassium in the arm versus total body potassium*. *J Appl Physiol* (1985), 2006. **101**(3): p. 945-9.

93. Lauretani, F., et al., *Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia*. J Appl Physiol (1985), 2003. **95**(5): p. 1851-60.
94. Samuel, D. and P. Rowe, *An investigation of the association between grip strength and hip and knee joint moments in older adults*. Arch Gerontol Geriatr, 2012. **54**(2): p. 357-60.
95. Hunter, S., M. White, and M. Thompson, *Techniques to evaluate elderly human muscle function: a physiological basis*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1998. **53**(3): p. B204-16.
96. Lynch, N.A., et al., *Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups*. J Appl Physiol (1985), 1999. **86**(1): p. 188-94.
97. Frontera, W.R., et al., *Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study*. J Appl Physiol (1985), 2000. **88**(4): p. 1321-6.
98. Janssen, I., et al., *Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr*. J Appl Physiol (1985), 2000. **89**(1): p. 81-8.
99. Stark, T., et al., *Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review*. PM R, 2011. **3**(5): p. 472-9.
100. Bean, J.F., et al., *The relationship between leg power and physical performance in mobility-limited older people*. J Am Geriatr Soc, 2002. **50**(3): p. 461-7.
101. Edwards, R.H., et al., *Human skeletal muscle function: description of tests and normal values*. Clin Sci Mol Med, 1977. **52**(3): p. 283-90.
102. Feiring, D.C., T.S. Ellenbecker, and G.L. Derscheid, *Test-retest reliability of the biodex isokinetic dynamometer*. J Orthop Sports Phys Ther, 1990. **11**(7): p. 298-300.
103. Hartmann, A., et al., *Reproducibility of an isokinetic strength-testing protocol of the knee and ankle in older adults*. Gerontology, 2009. **55**(3): p. 259-68.
104. Foldvari, M., et al., *Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2000. **55**(4): p. M192-9.
105. Suzuki, T., J.F. Bean, and R.A. Fielding, *Muscle power of the ankle flexors predicts functional performance in community-dwelling older women*. J Am Geriatr Soc, 2001. **49**(9): p. 1161-7.
106. Bean, J.F., et al., *A comparison of leg power and leg strength within the InCHIANTI study: which influences mobility more?* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2003. **58**(8): p. 728-33.
107. Chen, H.I. and C.S. Kuo, *Relationship between respiratory muscle function and age, sex, and other factors*. J Appl Physiol (1985), 1989. **66**(2): p. 943-8.
108. Kim, J., P. Davenport, and C. Sapienza, *Effect of expiratory muscle strength training on elderly cough function*. Arch Gerontol Geriatr, 2009. **48**(3): p. 361-6.

109. Buchner, D.M., et al., *Evidence for a non-linear relationship between leg strength and gait speed*. Age Ageing, 1996. **25**(5): p. 386-91.
110. Peel, N.M., S.S. Kuys, and K. Klein, *Gait speed as a measure in geriatric assessment in clinical settings: a systematic review*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2013. **68**(1): p. 39-46.
111. Cavagna, G.A., *Force platforms as ergometers*. J Appl Physiol, 1975. **39**(1): p. 174-9.
112. Runge, M., et al., *Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power*. Clin Physiol Funct Imaging, 2004. **24**(6): p. 335-40.
113. Frontera, W.R., et al., *A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women*. J Appl Physiol (1985), 1991. **71**(2): p. 644-50.
114. Bassey, E.J., et al., *Leg extensor power and functional performance in very old men and women*. Clin Sci (Lond), 1992. **82**(3): p. 321-7.
115. Shephard, R.J., et al., *Handgrip dynamometry, Cybex measurements and lean mass as markers of the ageing of muscle function*. Br J Sports Med, 1991. **25**(4): p. 204-208.
116. Rittweger, J., et al., *Reproducibility of the Jumping Mechanography As a Test of Mechanical Power Output in Physically Competent Adult and Elderly Subjects*. J Am Geriatr Soc, 2004. **52**(1): p. 128-131.
117. Salles, A.S., V. Baltzopoulos, and J. Rittweger, *Differential effects of countermovement magnitude and volitional effort on vertical jumping*. Eur J Appl Physiol, 2011. **111**(3): p. 441-8.
118. Matheson, L.A., et al., *Intra- and inter-rater reliability of jumping mechanography muscle function assessments*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2013. **13**(4): p. 480-6.
119. Buehring, B., et al., *Reproducibility of jumping mechanography and traditional measures of physical and muscle function in older adults*. Osteoporos Int, 2015. **26**(2): p. 819-25.
120. Buehring, B., D. Krueger, and N. Binkley, *Jumping mechanography: a potential tool for sarcopenia evaluation in older individuals*. J Clin Densitom, 2010. **13**(3): p. 283-91.
121. Rittweger, J., et al., *Reproducibility of the jumping mechanography as a test of mechanical power output in physically competent adult and elderly subjects*. J Am Geriatr Soc, 2004. **52**(1): p. 128-31.
122. Davies, C.T. and R. Rennie, *Human power output*. Nature, 1968. **217**(5130): p. 770-1.
123. Bauersfeld, M.V., Gerald, *Neue Wege im Schnelligkeitstraining*. 1992: Philippka-Verlag.

124. Tsubaki, A., et al., *Normative values for maximum power during motor function assessment of jumping among physically active Japanese*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2009. **9**(4): p. 263-7.
125. Singh, H., et al., *Jump test performance and sarcopenia status in men and women, 55 to 75 years of age*. J Geriatr Phys Ther, 2014. **37**(2): p. 76-82.
126. Siglinsky, E., et al., *Effect of age and sex on jumping mechanography and other measures of muscle mass and function*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2015. **15**(4): p. 301-8.
127. Dietzel, R., et al., *Cross-sectional assessment of neuromuscular function using mechanography in women and men aged 20-85 years*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2013. **13**(3): p. 312-9.
128. Dietzel, R., D. Felsenberg, and G. Armbrecht, *Mechanography performance tests and their association with sarcopenia, falls and impairment in the activities of daily living - a pilot cross-sectional study in 293 older adults*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2015. **15**(3): p. 249-56.
129. Tsubaki, A., et al., *Maximum Power During Vertical Jump and Isometric Knee Extension Torque Alter Mobility Performance: A Cross-Sectional Study of Healthy Individuals*. PM R, 2016. **8**(1): p. 19-27; quiz 27.
130. Michaelis, I., et al., *Decline of specific peak jumping power with age in master runners*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2008. **8**(1): p. 64-70.
131. Pojednic, R.M., et al., *The specific contributions of force and velocity to muscle power in older adults*. Exp Gerontol, 2012. **47**(8): p. 608-13.
132. De Vito, G., et al., *Determinants of maximal instantaneous muscle power in women aged 50-75 years*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1998. **78**(1): p. 59-64.
133. Gomes, M.J., et al., *Skeletal muscle aging: influence of oxidative stress and physical exercise*. Oncotarget, 2017. **8**(12): p. 20428-20440.
134. Cartee, G.D., et al., *Exercise Promotes Healthy Aging of Skeletal Muscle*. Cell Metab, 2016. **23**(6): p. 1034-1047.
135. Lee, D.C., et al., *Physical activity and sarcopenic obesity: definition, assessment, prevalence and mechanism*. Future Sci OA, 2016. **2**(3): p. FSO127.
136. *Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation*. World Health Organ Tech Rep Ser, 2000. **894**: p. i-xii, 1-253.
137. Cohen, J., *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 1988, Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
138. Wannamethee, S.G. and J.L. Atkins, *Muscle loss and obesity: the health implications of sarcopenia and sarcopenic obesity*. Proc Nutr Soc, 2015. **74**(4): p. 405-12.

139. Launer, L.J., et al., *Body mass index, weight change, and risk of mobility disability in middle-aged and older women. The epidemiologic follow-up study of NHANES I.* JAMA, 1994. **271**(14): p. 1093-8.
140. Cawthon, P.M., et al., *Do muscle mass, muscle density, strength, and physical function similarly influence risk of hospitalization in older adults?* J Am Geriatr Soc, 2009. **57**(8): p. 1411-9.
141. Ogden, C.L., et al., *Prevalence of childhood and adult obesity in the United States, 2011-2012.* JAMA, 2014. **311**(8): p. 806-14.
142. Sayers, S.P., et al., *Effect of leg muscle contraction velocity on functional performance in older men and women.* J Am Geriatr Soc, 2005. **53**(3): p. 467-71.
143. Clark, D.J. and R.A. Fielding, *Neuromuscular contributions to age-related weakness.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2012. **67**(1): p. 41-7.
144. Maden-Wilkinson, T.M., et al., *Age-Related Loss of Muscle Mass, Strength, and Power and Their Association With Mobility in Recreationally-Active Older Adults in the United Kingdom.* J Aging Phys Act, 2015. **23**(3): p. 352-60.
145. Metter, E.J., et al., *Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1997. **52**(5): p. B267-76.
146. Thompson, L.V., *Effects of age and training on skeletal muscle physiology and performance.* Phys Ther, 1994. **74**(1): p. 71-81.
147. Hook, P., V. Sriramoju, and L. Larsson, *Effects of aging on actin sliding speed on myosin from single skeletal muscle cells of mice, rats, and humans.* Am J Physiol Cell Physiol, 2001. **280**(4): p. C782-8.
148. Narici, M.V. and N. Maffulli, *Sarcopenia: characteristics, mechanisms and functional significance.* Br Med Bull, 2010. **95**: p. 139-59.
149. Narici, M.V. and C.N. Maganaris, *Plasticity of the muscle-tendon complex with disuse and aging.* Exerc Sport Sci Rev, 2007. **35**(3): p. 126-34.
150. Rogers, M.A., et al., *Effect of 10 days of physical inactivity on glucose tolerance in master athletes.* J Appl Physiol (1985), 1990. **68**(5): p. 1833-7.

7 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 Bisher verwendete Testverfahren zur Quantifizierung neuromuskulärer und muskulärer Leistungsfähigkeit im Rahmen der Sarkopeniediagnostik finden sich in obiger Abbildung [1] entsprechend ihrer Intensität gegen die X-Achse und ihrer Komplexität gegen die Y-Achse aufgetragen wieder. Dabei zeichnet sich der CMJ gegenüber allen anderen abgebildeten Testverfahren, in der Abb. oben rechts zu sehen, sowohl durch eine hohe Intensität als auch Komplexität aus. Die Druckgenehmigung und Bildrechte für die verwendete Abbildung wurden eingeholt. 19
- Abbildung 2: Beispielhafter, exakter zeitlicher Verlauf der intern in der Leonardo GRFP verarbeiteten, ausgewerteten und analysierten Messparameter des Beidbeinsprunges. [2] t_0 = Beginn des Sprungablaufs, t_1 =Umschlagpunkt von Ausholphase zur Absprunghase, t_2 = Zeitpunkt maximaler Ausholtiefe, t_F = Zeitpunkt der absoluten Maximalkraft ($F_{tot\ max}$), t_P = Zeitpunkt der absoluten Maximalleistung ($P_{tot\ max}$), t_3 = Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit (V_{max}), $t_{off\ 1}$ = Zeitpunkt des Abhebens, t_4 = Zeitpunkt maximaler Höhe (h_{max}), $t_{on\ 1}$ = Zeitpunkt der Landung, t_5 = Umschlagpunkt von Dezelerationsphase der Landung zur Stabilisierungsphase, t_{settle} = Zeitpunkt des Wiedererreichens der Ruhephase. Die Druckgenehmigung und Bildrechte für die verwendete Abbildung wurden eingeholt. 21
- Abbildung 3: Tabellarische Übersicht der technischen Daten bzgl. der zur Anwendung gekommenen GRFP. [2] Die Druckgenehmigung und Bildrechte für die verwendete Abbildung wurden eingeholt. 36
- Tabelle 1: Tabellarische Auflistung der deskriptiven Statistik in Bezug auf das Alter (Jahre) der Probanden..... 45
- Abbildung 4: Balkendiagramm der Häufigkeitsverteilung der Probanden entsprechend ihrer Zuordnung in Altersdekaden bzw. Altersgruppen. N= Anzahl der Probanden 46
- Abbildung 5 Die gelben Balken zeigen die Zahl der untersuchten Probanden im entsprechenden Alter. Gesamtzahl $n=457$. Die rote Linie entspricht einer Normalverteilungskurve. Die Standardabweichung (Std.-Abw.) betrug $\pm 5,94$. N= Anzahl 47
- Abbildung 6: Box- und Whisker Plot des Alters der Studienteilnehmer. Die Box markiert dabei das obere und untere Quartil (25% über bzw. unter dem Wert des Median), wobei der Querbalken in der Box den Median markiert und die darüber und darunter liegenden

horizontalen Linien das Maximum bzw. Minimum, exklusive von Ausreißern, darstellen.

.....	48
Tabelle 2: Zeigte tabellarisch die zusammenfassende Übersicht der deskriptiven Statistik in Bezug auf die Kernvariablen der durchgeführten JM. Tabellarisch dargestellt sind die jeweiligen Mittelwerte der entsprechenden Parameter sowie die diesbezügliche Standardabweichung des MW. h_{\max} = Maximale Sprunghöhe (m), $P_{\text{tot max}}$ = absolute Maximalleistung (kW), $P_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalleistung (W/kg), $F_{\text{tot max}}$ = absolute Maximalkraft (kN), $F_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalkraft (N/kg), V_{\max} = Maximalgeschwindigkeit (m/s), EFI= Esslinger Fitness Index, h_{\min} = Ausholtiefe (m). .	50
Tabelle 3: Deskriptive Statistik und Kennzahlen der anthropometrischen Daten. Dabei ist das Körpergewicht in Kilogramm, die Körpergröße in Metern, der Body-Mass-Index (BMI) in kg/m^2 , die Skelettmuskelmasse (SM) in Kilogramm und der Skelettmuskelmasseindex (SMI) in kg/m^2 angegeben.	51
Abbildung 7: Balkendiagramm zur Häufigkeitsverteilung der BMI Kategorisierungen nach der WHO, BMI= Body-Mass-Index. N= Anzahl der Probanden	52
Tabelle 4 Übersicht der BMI Gruppenzugehörigkeit des Probandenkollektivs.....	52
Tabelle 5: Tabellarische Übersicht der kategorialen Häufigkeitsverteilung des BMI (Body-Mass-Index).....	53
Tabelle 6: Tabellarische Übersicht der Höhe des in den entsprechenden Altersdekaden ermittelten Body-Mass-Index (BMI) in kg/m^2	54
Tabelle 7: Übersichtstabelle der Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen dem BMI und den Kernvariablen der Sprunganalyse. , BMI= Body Mass Index, h_{\max} = Maximale Sprunghöhe, $P_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalleistung, V_{\max} = Maximalgeschwindigkeit, $F_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalkraft, EFI= Esslinger Fitness Index	55
Tabelle 8: Übersichtstabelle der Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen der Skelettmuskelmasse (SM) bzw. Skelettmuskelmasseindex (SMI) und den Kernvariablen der Sprunganalyse. h_{\max} = Maximale Sprunghöhe, $P_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalleistung, V_{\max} = Maximalgeschwindigkeit, $F_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalkraft, EFI= Esslinger Fitness Index	58
Tabelle 9: Partialkorrelation der Muskelmasseparameter SM und SMI. Alter dient hier als Kontrollvariable. SM= Skelettmuskelmasse, SMI= Skelettmuskelmasseindex, h_{\max} = Maximale Sprunghöhe, $P_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalleistung, $F_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalkraft, V_{\max} = Maximalgeschwindigkeit,.....	59

Tabelle 10: Tabellarische Übersicht der korrelativen Zusammenhänge zwischen Alter und den Kernvariablen der JM. h_{\max} = Maximale Sprunghöhe, $P_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalleistung, $P_{\text{tot max}}$ = absolute Maximalleistung, V_{\max} = Maximalgeschwindigkeit, $F_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalkraft, $F_{\text{tot max}}$ = absolute Maximalkraft, h_{\min} = Ausholtiefe, EFI= Esslinger Fitness Index.	60
Abbildung 8: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der Sprunghöhe (h_{\max}) in Metern	61
○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß	61
Abbildung 9: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der gewichtsadjustierten Sprungleistung ($P_{\text{tot max rel}}$) in W/kg.....	63
○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß	63
○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade	63
Abbildung 10: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der absoluten Maximalkraft ($F_{\text{tot max}}$) in kN,.....	65
○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß	65
○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade	65
Abbildung 11: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der gewichtsadjustierten Maximalkraft ($F_{\text{tot max rel}}$) in N/kg.....	66
○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß	66
Abbildung 12: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden (y =entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der Maximalgeschwindigkeit (V_{\max}) in m/s.....	67
○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade R^2 = Bestimmtheitsmaß	67

Abbildung 13: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden ($y=$ entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und der Ausholtiefe (h min) in Metern	69
<ul style="list-style-type: none"> ○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade $R^2=$ Bestimmtheitsmaß..... 	69
Abbildung 14: Streudiagramm der in rot eingezeichneten Regressionsgeraden ($y=$ entsprechende mathematische Funktion) zwischen Alter (Jahre) und dem Esslinger Fitness Index (EFI) in %	71
<ul style="list-style-type: none"> ○ Messpunkt  aus den Messpunkten ermittelte lineare Regressionsgerade $R^2=$ Bestimmtheitsmaß..... 	71
Abbildung 15: Balkendiagramm der Häufigkeitsverteilung bzgl. regelmäßiger sportlicher Aktivität.....	72
Abbildung 16: Balkendiagramm der Häufigkeitsverteilung innerhalb der Altersdekaden bzgl. regelmäßiger sportlicher Aktivität. N= Anzahl der Probanden.....	73
Tabelle 11: Tabellarische Übersicht der Häufigkeitsverteilung bzgl. regelmäßiger sportlicher Aktivität.....	73
Tabelle 12: Tabellarische Übersicht (Kreuztabelle) der Häufigkeitsverteilung bzgl. regelmäßiger sportlicher Aktivität innerhalb der Altersdekaden	74
Tabelle 13: Tabellarische Übersicht relevanter anthropometrischer Mittelwerte und Mittelwerte der Kernparameter der Sprunganalyse in Bezug auf die regelmäßige sportliche Aktivität (Sport Ja/Nein) sowie der Ergebnisse der zugehörigen T-Tests. MW= Gruppenmittelwert; SD= Standardabweichung des MW; T= Testprüfgröße des T-Tests; df= Anzahl der Freiheitsgrade, SM= Skelettmuskelmasse (kg), SMI= Skelettmuskelmasseindex (kg/m ²), h_{max} = Maximale Sprunghöhe (m), P tot max= absolute Maximalleistung (kW), V_{max} = Maximalgeschwindigkeit (m/s), F tot max= absolute Maximalkraft (kN), EFI= Esslinger Fitness Index	75
Abbildung 17: Box- und Whisker - Blot der erzielten gewichtsadjustierten Maximalleistung beim s2lj in Abhängigkeit der regelmäßigen sportlichen Aktivität. Die Box markiert dabei das obere und untere Quartil (25% über bzw. unter dem Wert des Median), wobei der Querbalken in der Box den Median markiert und die darüber und darunter liegenden horizontalen Linien das Maximum bzw. Minimum, exklusive von Ausreißern, darstellen. Die Ausreißer sind durch Kreise repräsentiert, wobei sich obere Ausreißer durch Werte $>3/2$ der oberen Quartilswertes und untere durch Werte $<3/2$ des unteren Quartilswertes definieren.....	77

Tabelle 14: Tabellarische Übersicht der erzielten durchschnittlichen gewichtsrelativierten Sprungleistung (PP_r in W/kg) innerhalb der jeweiligen Altersdekaden zwischen regelmäßig Aktiven und Inaktiven (Sport regelmäßig Ja/Nein) und den entsprechenden Ergebnissen der durchgeführten T-Tests.....	78
Abbildung 18: Grafische Darstellung der durchschnittlich erzielten gewichtsrelativen Sprungleistung (PP_r) der entsprechenden Altersdekaden (X-Achse), entsprechend ihrer sportlichen Aktivität in grün (Sport Ja) und blau (Sport Nein) dargestellt. Darüber hinaus finden sich die entsprechenden 95%-Konfidenzintervalle (CI) der Mittelwerte je in grün und blau als Whisker eingezeichnet, wobei die Kreise selbst die entsprechenden Gruppenmittelwerte der PP_r in W/kg markieren.....	79
Tabelle 15 Tabellarische Übersicht der sich aus der multiplen linearen Regression ergebenden Koeffizienten im oberen Abschnitt, im unteren Teil im schrittweisen Verfahren. BMI= Body Mass Index (kg/m^2), $P_{\text{tot max rel}}$ = relative Maximalleistung (W/kg).	80
Abbildung 19: Sprungleistung in Abhängigkeit von Alter und Sport Auf der X-Achse findet sich das Alter in Jahren, auf der Y-Achse die Sprungleistung in Watt pro Kilogramm Körpergewicht. Die grünen Messpunkte markieren die Sprungleistung der regelmäßig sportlich Aktiven und die blauen die der nicht Aktiven. Die entsprechenden, sich aus den Messungen ergebenden Regressionsgeraden sind in gleicher farblicher Gestaltung eingezeichnet.....	81
Abbildung 20: Balkendiagramm der Häufigkeitsverteilung in Bezug auf den Sarkopeniestatus (EWGSOP). N= Anzahl der Probanden.....	84
Tabelle 16: Tabellarische Übersicht der Häufigkeitsverteilung bzgl. des Sarkopeniestatus nach den EWGSOP Kriterien	84
Abbildung 21: Balkendiagramm der relativen Häufigkeiten, entsprechend dem Sarkopeniestatus innerhalb der 5-Jahresgruppierungen. N= Anzahl der Probanden.....	85
Tabelle 17: Tabellarische Übersicht der Häufigkeitsverteilung in Bezug auf den Sarkopeniestatus (EWGSOP) innerhalb der 5-Jahresgruppierungen in Form einer Kreuztabelle.	86
Tabelle 18: Tabellarische Übersicht etwaiger Differenzen zwischen Sarkopenen und nicht Sarkopenen mit den entsprechenden Ergebnissen der durchgeführten T-Tests in Bezug auf die anthropometrischen Daten sowie Kernparameter der Sprunganalyse. SD stellt die Standardabweichung der Gruppenmittelwerte dar. Die mittlere Differenz bezeichnet die Differenz der Gruppenmittelwerte zueinander. Alter (Jahre), BMI= Body Mass Index (kg/m^2), SM= Skelettmuskelmasse (kg), SMI= Skelettmuskelmasseindex (kg/m^2), h_{max} =	

Maximale Sprunghöhe (m), P tot max rel= relative Maximalleistung (W/kg), Vmax= Maximalgeschwindigkeit (m/s), F tot max rel= relative Maximalkraft (N/kg), EFI= Esslinger Fitness Index.....	87
Abbildung 22: Box Blot der gewichtsadjustierten Maximalsprungleistung in Abhängigkeit vom Sarkopeniestatus nach den EWGSOP Kriterien. Die Box markiert dabei das obere und untere Quartil (25% über bzw. unter dem Wert des Median), wobei der Querbalken in der Box den Median markiert und die darüber und darunter liegenden horizontalen Linien das Maximum bzw. Minimum, exklusive von Ausreißern, darstellen. Die Ausreißer sind durch Kreise repräsentiert, wobei sich obere Ausreißer durch Werte $>3/2$ der oberen Quartilswertes und untere durch Werte $<3/2$ des unteren Quartilswertes definieren.....	89
Abbildung 23: Graphische Darstellung der 95%-Konfidenzintervalle (CI) bzgl. der gewichtsadjustierten Maximalsprungleistung innerhalb der 5-Jahresgruppierungen in Abhängigkeit zum Sarkopeniestatus (EWGSOP)	90
Tabelle 19: Tabellarische Übersicht des relativen Anteils als sarkopen klassifizierter Probanden entsprechend ihrer Einteilung in Altersdekaden, dargestellt in Form einer Kreuztrabelle. Dabei sind hier die 7. Dekade (65-69 Jahre), 8. Dekade (70-79 Jahre) und 9. Dekade (≥ 80 Jahre) dargestellt.	91
Tabelle 20: Tabellarische Übersicht der im Mittel erzielten körperrgewichtrelativierten Maximalleistung in W/kg der entsprechenden Altersdekaden von sarkopenen und nicht sarkopenen Probanden.....	92
Abbildung 24: Grafische Darstellung der im Mittel (Kreise) erzielten PPr in W/kg sarkopener (grün) und nicht sarkopener (blau) Probanden entsprechend ihrer zugehörigen Altersdekade (7.-9.). Mit grünem Punkt dargestellt sind die Mittelwerte der Sarkopenen mit entsprechenden 95%-Konfidenzintervallen (CI) und in blau die Messungen der nicht Sarkopenen.	93
Tabelle 21: Tabellarische Übersicht der Mehrheitsverhältnisse in Bezug auf die regelmäßige sportliche Aktivität und den Sarkopeniestatus	94
Abbildung 25: Balkendiagramm der Mehrheitsverhältnisse in Bezug auf die regelmäßige sportliche Aktivität und den Sarkopeniestatus nach der EWGSOP. Auf der X-Achse befindet sich die Kategorisierung der Probanden, sarkopene und nicht sarkopene, und auf der Y-Achse die Anzahl der Antworten auf die Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität in zweifarbiger Darstellung. N= Anzahl der Probanden.....	95

- Abbildung 26: Grafische Darstellung der Mittelwerte für die erzielte Sprungleistung (PP_r), welche sich aus der Gruppierung nach der sportlichen Aktivität (farblich dargestellt) und dem Sarkopeniestatus (auf der X-Achse) ergab. In grün dargestellt finden sich die Mittelwerte der sportlich Aktiven (Sport Ja) sowie die entsprechenden 95%-Konfidenzintervalle (CI) und kongruent dazu in blau gezeichnet die der nicht regelmäßig Aktiven (Sport Nein).)..... 96
- Tabelle 22: Tabellarische Übersicht der erzielten mittleren Sprungleistung (PP_r) in W/kg entsprechend der vorgenommenen Gruppierung nach Sarkopeniestatus und regelmäßiger sportlicher Aktivität. Darüber hinaus findet sich unter den Gruppennummern das entsprechende Signifikanzniveau der durchgeführten T-Tests. Unter SD findet sich die Standardabweichung des Mittelwertes der PP_r ebenso im W/kg wieder. 97
- Abbildung 27: Hier zeigen sich die in unterschiedlichen Studien ermittelten und hier diskutierten Regressionsgeraden, aufgetragen in einem einfachen Streudiagramm der in dieser Studie gemessenen PPr (blaue Datenpunkte). Die sich daraus ergebende lineare Regressionsgerade ist in rot eingezeichnet. Darüber hinaus befindet sich darüber, annähernd parallel dazu verlaufend, die 2004 von Runge et al. an einem gesunden Referenzkollektiv ermittelte Gerade (grün). Unterhalb der roten befindet sich die Regressionsgerade von Siglinsky et al. (schwarz). Sie zeigt einen deutlich flacheren Verlauf und bildet bei ca. 90 Jahren einen Schnittpunkt mit der roten Gerade. 123
- Abbildung 28: Beispielhafter exakter zeitlicher Verlauf der intern in der Leonardo GRFP verarbeiteten, ausgewerteten und analysierten Messparameter des Beidbeinsprunges. [2] . t₀= Beginn des Sprungablaufs, t₁=Umschlagpunkt von Ausholphase zur Absprungphase , t₂= Zeitpunkt maximaler Ausholtiefe, t_F= Zeitpunkt der absoluten Maximalkraft (F tot max), t_P= Zeitpunkt der absoluten Maximalleistung (P tot max), t₃= Zeitpunkt der Maximalgeschwindigkeit (V_{max}), t_{off 1}= Zeitpunkt des Abhebens, t₄= Zeitpunkt maximaler Höhe (h_{max}), t_{on 1}= Zeitpunkt der Landung, t₅= Umschlagpunkt von Dezelerationsphase der Landung zur Stabilisierungsphase, t_{settle}= Zeitpunkt des Wiedererreichens der Ruhephase. Die Druckgenehmigung und Bildrechte für die verwendete Abbildung wurden eingeholt. 132
- Abbildung 29: Es sind die jeweiligen linearen Regressionsgeraden der sich jeweils aus den nach „Sport regelmäßig“ kategorisiert ergebenden Kollektiven und der gemessenen PPr gegen das Alter aufgetragen dargestellt. Dabei stellt die grüne Gerade die derjenigen dar, welche die Frage nach der regelmäßigen sportlichen Aktivität mit „ja“ beantwortet hatte, in blau die derer, die mit „nein“ geantwortet hatten. In orange als Referenzlinie

ingezeichnet ist die am männlichen gesunden fitten Gesamtkollektiv erhobene lineare Regressionsgerade von Runge et al. dargestellt. 139

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Franz Jakob für die Überlassung und Bereitstellung des interessanten Themas, die wissenschaftliche Begleitung und die Erstbegutachtung der Arbeit. Ebenso bedanke ich mich bei Priv.-Doz. Dr. med. habil. Michael Jakubietz für die bereitwillige Übernahme des Korreferates und bei Frau Prof. Dr. Nurcan Üçeyler für die Berichterstattung.

Bei Dr. med. Lothar Seefried möchte ich mich für die ausgesprochen intensive Betreuung der Arbeit, sein unermüdliches Engagement sowie die vielen anregenden und tiefgreifenden fachlichen Diskussionen bedanken, die zu dem Gelingen der Arbeit wesentlich beigetragen haben. Dazu gehört auch die gesamte Projektgestaltung zur Erhebung einer umfassenden Datenbank, als Basis für diese und weitere wissenschaftliche Arbeiten.

Darüber hinaus möchte ich Frau Nicole Luksche und Herrn Dr. med. Michael Schneider für die gemeinsame, ausgiebige Zusammenarbeit bei der Datenerhebung und Unterstützung bei thematischen, technischen und statistischen Fragen danken.

Schließlich gilt ein großer Dank meinen Eltern, meiner Partnerin und meiner Familie für die fortwährende Motivation und Unterstützung.

CURRICULUM VITAE

Persönliche Daten:

Geboren: Sindelfingen, Deutschland

Ausbildung:

2009 Graduation (Abitur) Lakefield College School, Ontario, Kanada

2009 – 2016 Studium der Humanmedizin an der Julius-Maximilians-Universität
Würzburg

2016 Erhalt der Ärztlichen Approbation