

Aus dem Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin
der Deutschen Sporthochschule Köln
Abteilung für Molekulare und Zelluläre Sportmedizin
Geschäftsführender Leiter: Universitätsprofessor Dr. med. W. Bloch

Die Rolle von Kraft-, Gleichgewichts- und Multikomponententraining bei der Prävention und Rehabilitation der Sarkopenie

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Henning Joseph Dinsenbacher
aus Kassel

promoviert am 13. Juli 2023

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

2023

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachterin: Professorin Dr. rer. nat. K. Brixius

2. Gutachter: Privatdozent Dr. rer. nat. J. Zange

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Professorin Dr. rer. nat. Klara Brixius

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/ eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Der dieser Arbeit zugrunde liegende Datensatz sowie die in dieser Arbeit durchgeführte Datenanalyse ist nach entsprechender Anleitung von Professorin Dr. rer. nat. K. Brixius von mir selbst erhoben sowie durchgeführt worden.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, 27.02.2023

Unterschrift: 

Danksagung

Zuerst möchte ich meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Sigrid und Rolf, für die außergewöhnliche Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit sowie der Promotion danken. Eure Liebe war mein Rückhalt. Euer Beistand war grundlegend zum Erreichen dieses Meilensteins in meinem Leben. Dies ist nicht selbstverständlich und ich bin euch sehr dankbar.

Mein besonderer Dank gilt Professorin Dr. rer. nat. Klara Brixius für die Überlassung des Themas der Dissertation sowie für die umfassende Unterstützung bei der Durchführung der gesamten Promotion. Ihre ausgezeichnete Betreuung und fachliche Expertise haben wesentlich zum erfolgreichen Abschluss der Arbeit beigetragen.

Besonders danken möchte ich meiner Freundin Laura, deine liebevolle Unterstützung während der gesamten Promotion war meine Motivation und Kraft. Danke, dass du immer für mich da bist.

Zuletzt möchte ich meinen Freundinnen und Freunden danken, eure Begleitung während des gesamten Studiums sowie die gegenseitige Unterstützung ist unermesslich.

Für meine liebevollen Eltern, Geschwister und Laura.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	8
1. Zusammenfassung	9
2. Einleitung	11
2.1 Demographischer Wandel	11
2.2 Präventionsgesetz	11
2.3 Sarkopenie-Definition und Epidemiologie	12
2.4 Ätiologie der Sarkopenie	14
2.5 Diagnosekriterien und Schweregradeinteilung der Sarkopenie	14
2.6 Diagnostika der Muskelkraft	17
2.7 Therapie des altersbedingten Muskelabbaus	19
2.8 Aktueller Stand der Forschung	19
2.9 Fragestellungen und Zielsetzung der Arbeit	21
3. Material und Methoden	22
3.1 Literaturrecherche	22
3.2 Einschluss-/Ausschlusskriterien	27
3.3 Studienkodierung	27
3.4 Datengewinnung	28
3.5 Bewertung der methodischen Studienqualität	28
3.6 Statistische Datenauswertung	29
4. Ergebnisse	32
4.1 Allgemeine Studienmerkmale	32
4.2 Methodische Qualität der eingeschlossenen Studien	46
4.3 Bias-Risiko der Studiengesamtheit	52
4.4 Publikationsbias	54
4.5 Charakteristik der Interventionsansätze	56
4.6 Generelle Effektivität einer körperlichen Intervention auf die Beinkraft und die Handgriffkraft	58
4.7 Interventionsspezifische Effektstärken auf die Beinkraft und die Handgriffkraft	63

4.8	Sarkopenie	65
5.	Diskussion	66
5.1	Limitationen der Studien zur Beinkraft	71
5.2	Limitationen der Studien zur Handgriffkraft	72
5.3	Kollektivübergreifende Bias-Risiken	73
5.4	Fazit	75
6.	Literaturverzeichnis	76
7.	Anhang	86
7.1	Abbildungsverzeichnis	90
7.2	Tabellenverzeichnis	92
8.	Vorabveröffentlichung von Ergebnissen	93

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
§	Paragraf
5CRT	5x-Stuhl-Aufsteh-Test
10CRT	10x-Stuhl-Aufsteh-Test
30sCRT	30-s-Stuhl-Aufsteh-Test
Abb.	Abbildung
ADLs	Activities of Daily Living
ANOVA	Analysis of variance
AWGS	Asian Working Group for Sarcopenia
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
CCT	Kontrollierte klinische Studie
CT	Computertomographie
DXA	Dual-Röntgen-Absorptiometrie
EWGSOP	Europäische Arbeitsgruppe für Sarkopenie bei älteren Menschen
GGWT	Gleichgewichtstraining
GGWT + KT	Gleichgewichts- und Krafttraining
HIT	High-intensity training
ICC	Intraklassen-Korrelationskoeffizient
ICD-10	Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme
IG	Interventionsgruppe
kg	Kilogramm
KG	Kontrollgruppe
KI	Konfidenzintervall
KT	Krafttraining
MeSH	Medical Subject Headings
MKT	Multikomponententraining
MRT	Magnetresonanztomographie
n/N	Anzahl
PEDro	Physiotherapy Evidence Database
PICOS	Patient/Population, Intervention, Comparison/Control, Outcome, Study design
PrävG	Präventionsgesetz
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses
r	Korrelationskoeffizient
RCT	Randomisierte kontrollierte Studie
s	Sekunde
SARC-F	Fragebogen zum Screening einer Sarkopenie
SGB V	Sozialgesetzbuch Fünftes Buch
SMD/SMD _{bs}	Between subjects standardized mean differences
SSPB	Short Physical Performance Battery
SUP	Supervised
TUG	Timed Up and Go test
WHO	Weltgesundheitsorganisation

1. Zusammenfassung

Problemstellung: Die rapide Alterung der Bevölkerung bedingt eine Bedeutungszunahme des altersbedingten Muskelabbaus (Sarkopenie) und dessen Folgen für die Gesellschaft. Die neue europäische Consensus-Definition der Sarkopenie durch die EWGSOP2 im Jahr 2019 gibt keine Empfehlung, welche Trainingsart zur Prävention der Sarkopenie am effektivsten ist. Ziel dieser Publikation ist es, die Effektstärken unterschiedlicher körperlicher Interventionen auf die Bein- und Handgriffkraft zu untersuchen und eine Empfehlung für die richtige Trainingsausgestaltung zur Prävention der Sarkopenie zugeben.

Methoden: Es wurde eine systematische Literaturrecherche nach relevanten Publikationen in der PubMed-Datenbank bis Mai 2020 durchgeführt. Die verfügbare Literatur zum Thema mit Trainingsinterventionen und deren Auswirkungen auf die Muskelkraft von älteren Menschen wurde bewertet und nach vordefinierten Ein- und Ausschlusskriterien selektiert. Die Tests aus den EWGSOP2-Kriterien zur Erfassung der Bein- oder Handgriffkraft wurden als Zielparameter festgelegt. Zum Vergleich der Effektstärken der unterschiedlichen Interventionen wurden die SMD-Werte der Studien berechnet, gepoolte Analysen mit dem „random effects model“ durchgeführt und die unterschiedlichen Interventionen mittels Student's t-Test oder ANOVA auf Gruppenunterschiede untersucht. Die statistischen Tests wurden mit dem Statistikprogramm R gerechnet.

Ergebnisse: Es wurden initial 1543 Studien identifiziert, von welchen 32 Studien (2052 Teilnehmern, 74.4% Frauen, Durchschnittsalter von 66.1 bis 84.9 Jahre) in diese Übersichtsarbeit eingeschlossen worden sind. Die Gesamteffektgrößen von Trainingsinterventionen auf die Beinkraft (SMD 1.06, 95%-Konfidenzintervall 0.7159 bis 1.4060, $p < 0.0001$) und auf die Handgriffkraft (SMD -0.37, 95%-Konfidenzintervall -0.522 bis -0.2261, $p < 0.0001$) waren statistisch signifikant und zeigen somit die generelle Wirksamkeit von Trainingsinterventionen zur Prävention von altersbedingtem Muskelabbau. Allerdings gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den mittleren Effektstärken der einzelnen Trainingsarten ($p > 0.05$). Für die Beinkraft zeigte sich die Tendenz, dass mehr Trainingskomponenten in einem Trainingsprogramm mit einer höheren Effektstärke einhergehen als reines Krafttraining (SMD-Werte 1.12 vs 0.63).

Diskussion: Diese Arbeit weist die generelle Wirksamkeit von Trainingsinterventionen zur Prävention von altersbedingtem Muskelabbau nach. Eindeutige Beweise für die Überlegenheit einer speziellen Trainingsart oder -kombination konnten allerdings nicht erbracht werden. Die Messung der Handgriffkraft als alleiniger Outcome Parameter nach Trainingsintervention sollte mit Vorsicht betrachtet werden. Zusätzliche qualitativ hochwertige Studien zu dieser Thematik sind erforderlich, um eine abschließende Empfehlung geben zu können.

Schlüsselwörter: Sarkopenie, ältere Menschen (ab 65J.), Prävention, Trainingsintervention, körperliche Aktivität, RCT, Muskelkraft

2. Einleitung

2.1 Demographischer Wandel

Der demographische Wandel führt zu einer rapiden Alterung der Bevölkerung, so kommt es weltweit zu einer Verdopplung der Übersechzigjährigen von 11% auf 22% im Zeitraum von 2000 bis 2050. Besonders Europa ist von einer Veränderung der Altersstruktur der Gesellschaft betroffen, sodass im Jahr 2050 die Gruppe der Übersechzigjährigen einen Anteil von 33% an der europäischen Gesellschaft ausmachen wird.¹ Auch in Deutschland wird sich der Anstieg der Menschen über 65 Jahre als Folge des demographischen Wandels zunehmend als gesellschaftliches und medizinisches Problem darstellen. So war die Gruppe der Überfünfundsechzigjährigen in Deutschland bereits 2017 mit einem Anteil von 21.4% an der Gesamtbevölkerung eine stark wachsende und die einzig zunehmende Altersgruppe.² Nach einer Prognose des Statistischen Bundesamts (2015) soll es im Zeitraum von 2013 bis 2030 in Deutschland zu einem Anstieg des Bevölkerungsanteils der Übersechzigjährigen von 27% auf 35% kommen.³ Diese Entwicklung der Altersstruktur wird in den kommenden Jahren noch drastischer voranschreiten und das Gesundheitssystem vor neue Herausforderungen stellen.

Der Alterungsprozess ist mit negativen Folgen wie einem Autonomieverlust, einer Einschränkung der gesellschaftlichen Teilhabe und einer reduzierten räumlichen Mobilität verbunden.^{4,5} Zudem kommt es mit zunehmendem Alter zu einem kontinuierlich fortschreitenden Verlust der Muskelmasse, die auf einer Atrophie und dem Untergang von Muskelfasern zurückzuführen ist. Die einhergehende Verringerung der Muskelqualität bedingt durch den bindegewebigen Umbau und die Verfettung der Muskulatur zusammen mit dem Verlust motorischer Einheiten führen letztlich zu einer Abnahme der Muskelkraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit mit dem Alter.⁶ Diese Prozesse spiegeln sich in dem Krankheitsbild der Sarkopenie wider, welche als Fachbegriff für den altersbedingten Muskelabbau erstmals 1989 von Rosenberg vorgeschlagen worden ist.⁷

2.2 Präventionsgesetz

Das Präventionsgesetz (PrävG) von 2015 schaffte in Deutschland die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Etablierung eines landesweiten Präventionsprogramms. „Gesundes Altern“ wurde explizit als Gesundheitsziel festgelegt und es wurde eine Grundlage geschaffen, um Maßnahmen zur Prävention von altersbedingtem Muskelabbau gezielt verordnen zu können (§20 SGB V).⁸ Hiermit wurde den

behandelnden Ärzten die Möglichkeit gegeben, aktiv mittels Verschreibung von körperlichen Interventionsprogrammen dem körperlichen Abbau im Alter entgegenzuwirken.

Aktuelle Daten zu den Gesundheitskosten, welche durch das Krankheitsbild der Sarkopenie entstehen, liegen für Europa und Deutschland nicht vor, allerdings gibt es Berechnungen aus den Vereinigten Staaten von Amerika (USA). Nach Schätzungen von Janssen et al. (2004) betragen die direkten Kosten einer Sarkopenie für die USA im Jahr 2000 18.5 Milliarden US-Dollar und machten somit 1.5% der gesamten Gesundheitsausgaben für dieses Jahr aus.⁹ Ursächlich für die vermehrten Kosten sind neben einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für eine Krankenhauseinweisung und -aufenthalte, welche mit doppelt so hohen Kosten für Patienten mit Sarkopenie im Vergleich zu Patienten ohne Sarkopenie einhergehen, auch erhöhte Ausgaben für die häusliche Gesundheitsversorgung und vermehrte Pflegeheimweisungen.¹⁰⁻¹² Die indirekten Kosten der Sarkopenie durch Produktivitätsverlust, verminderte Lebensqualität und psychische Probleme wurden bis jetzt noch nicht berücksichtigt und weder für die USA noch für Europa oder Deutschland quantifiziert.¹²

2.3 Sarkopenie-Definition und Epidemiologie

Das Krankheitsbild der Sarkopenie wurde 2010 in Europa von der Europäischen Arbeitsgruppe für Sarkopenie bei älteren Menschen (EWGSOP) genauer beschrieben und in Form eines Konsenspapier veröffentlicht. Die Sarkopenie wurde als ein Syndrom definiert, das durch einen fortschreitenden Verlust der Skelettmuskelmasse und –kraft und einem daraus resultierenden erhöhten Risiko für negative gesundheitliche Folgen gekennzeichnet ist.¹³ Mit zunehmendem Alter kommt es zu einer immer stärkeren Abnahme der Muskelmasse, welche mit Beginn des 70. Lebensjahrs zu einem Verlust von 15% der Gesamtmuskelmasse pro Dekade führen kann.¹⁴ Die damit einhergehende Abnahme der Muskelkraft mit dem Alter ist in Abbildung (Abb.) 1 dargestellt.

In den letzten Jahren sind zunehmend Erkenntnisse zur Prävalenz der Sarkopenie in der Bevölkerung gewonnen worden. So kommen Cruz-Jentoft et al. (2014) in ihrer systematischen Übersichtsarbeit nach den EWGSOP-Kriterien auf Prävalenz-Werte von 1-29% in der Gesamtbevölkerung und 14-33% in Langzeitpflegeeinrichtungen weltweit.¹⁵ Diese Prävalenzen bestätigen Papadopoulou et al. (2020) in ihrer großangelegten Übersichtsarbeit, wobei sie präzisere Werte für bestimmte Populationen herausfanden: 9-11% in der Gesamtbevölkerung, 31-51% in Pflegeeinrichtungen und 23-24% in Krankenhäusern.¹⁶

Es konnte gezeigt werden, dass die Sarkopenie in Verbindung mit Osteoporose¹⁷ und Fettleibigkeit¹⁸ sowie internistischen Erkrankungen wie Diabetes mellitus Typ 2¹⁹, Herzinsuffizienz, chronisch obstruktiver Lungenerkrankung und Nierenversagen steht.²⁰ Des Weiteren ist die Sarkopenie durch eine Abnahme der gesundheitsbezogenen Lebensqualität^{17,21} und einer Zunahme des Mortalitätsrisikos gekennzeichnet.^{18,22} Außerdem ist die Abnahme der Muskelkraft eine wichtige Komponente des zunehmenden Verlustes der unabhängigen Lebensführung mit dem Alter. Zur Erfassung der Unabhängigkeit im Alter sind die Aktivitäten des täglichen Lebens (ADLs) definiert worden. Der Grad der Beeinträchtigung wird anhand der Schwierigkeiten bei der Ausführung der ADLs beurteilt.²³ Es konnte gezeigt werden, dass aus einem höheren Ausgangswert bei der Muskelkraft eine Schutzreserve gegen die vorzeitige Einschränkung von ADLs resultiert und somit eine längere unabhängige Lebensführung im Alter ermöglicht wird.^{24,25} Folglich gelten der altersbedingte Muskelabbau und dessen Folgen heutzutage als zentrales Problem der alternden Gesellschaft.²⁶

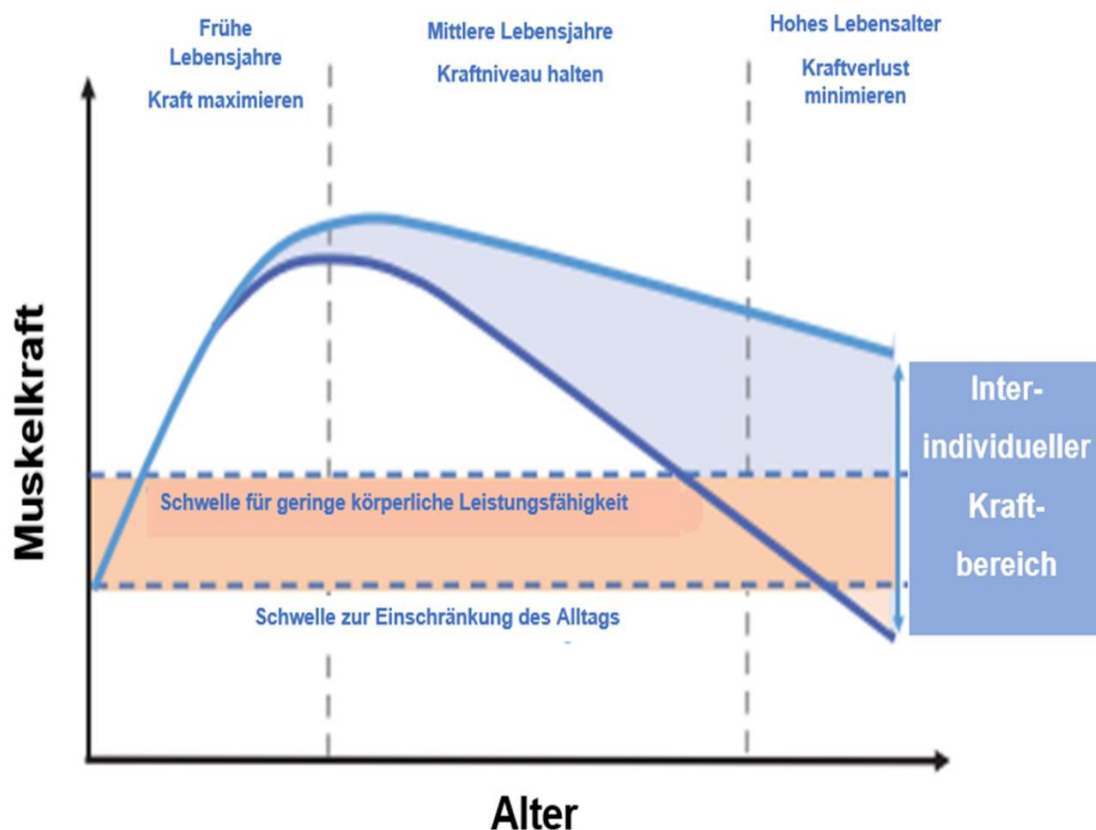


Abbildung 1: Veränderung der Muskelkraft mit dem Alter modifiziert nach EWGSOP2.²⁷

2.4 Ätiologie der Sarkopenie

Die Sarkopenie wird nach Art der Entstehung in eine primäre und eine sekundäre Form eingeteilt. Die primäre Form, auch als altersabhängige Form bezeichnet, ist so definiert, dass außer dem Alter keine weiteren Ursachen für den Muskelabbau erkennbar sind. Die sekundäre Form wird weiter unterteilt in eine krankheits-, bewegungs- und ernährungsabhängige Form.¹³ Die Ätiologie der Sarkopenie ist meist multifaktoriell, daher liegt das Augenmerk mehr auf der Prävention von möglichen Risikofaktoren als in der klaren ätiologischen Zuordnung der Entstehung. Es werden folgende Risikofaktoren für die Entstehung einer Sarkopenie diskutiert:^{13,28}

- (1) Körperliche Inaktivität
- (2) Immobilisation
- (3) Verlust von alpha-Motoneuronen
- (4) Kachexie
- (5) Mangelernährung
- (6) Malabsorption
- (7) Komorbiditäten
- (8) Medikamente
- (9) Hormonelle Störungen (Insulinresistenz, Schilddrüsenfunktionsstörungen, Testosteron-, Östrogen- und Wachstumshormon-Mangel)

2.5 Diagnosekriterien und Schweregradeinteilung der Sarkopenie

Eine Sarkopenie wird nach dem neuen EWGSOP2-Konsenspapier anhand der drei folgenden Kriterien diagnostiziert:²⁷

- (1) Abnahme der Muskelmasse
- (2) Verminderte Muskelkraft
- (3) Reduzierte körperliche Leistungsfähigkeit

Die Klassifikation der Sarkopenie enthält drei aufeinanderfolgende Stadien:²⁷

- (1) Mögliche Sarkopenie, bei welcher nur die Muskelkraft vermindert ist;
- (2) Nachgewiesene Sarkopenie, wenn zusätzlich eine verminderte Muskelqualität oder -quantität vorliegt;
- (3) Schwere Sarkopenie, wenn alle drei Diagnosekriterien erfüllt sind, demnach bestimmt die körperliche Leistungsfähigkeit den Schweregrad der Sarkopenie.

Im Jahr 2018 ist die Sarkopenie in die Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (ICD-10) aufgenommen worden. Die ICD ist das wichtigste weltweit anerkannte Klassifikationssystem für medizinische Diagnosen und wird von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) herausgegeben. Die Sarkopenie (M62.84) ist im ICD10-Kapitel XIII für Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes in die Untergruppe der Muskelkrankheiten (M60-M63) eingegliedert worden.^{29,30} Parallel hierzu überarbeitete die EWGSOP2 Anfang 2018 die

europäischen Konsensus-Definition der Sarkopenie von 2010 und aktualisierte sie um wissenschaftliche und klinische Erkenntnisse der letzten Jahre. Es wurde ein klinischer Leitfaden (Find-Assess-Confirm-Severity oder F-A-C-S) mit klarer Struktur für Screening, Diagnostik, Diagnosesicherung und Quantifizierung des Schweregrads einer Sarkopenie vorgeben (siehe Abb. 2).²⁷ Neu ist vor allem, dass die Muskelkraft, bedingt durch die einfache Messbarkeit und die Zuverlässigkeit als Maß der Muskelfunktion, als primärer Parameter für die Sarkopenie-Diagnostik festgelegt wurde.²⁷ Außerdem konnte gezeigt werden, dass eine reduzierte Muskelkraft besser zur Vorhersage unerwünschter Ereignisse geeignet ist als eine verminderte Muskelmasse.^{31,32}

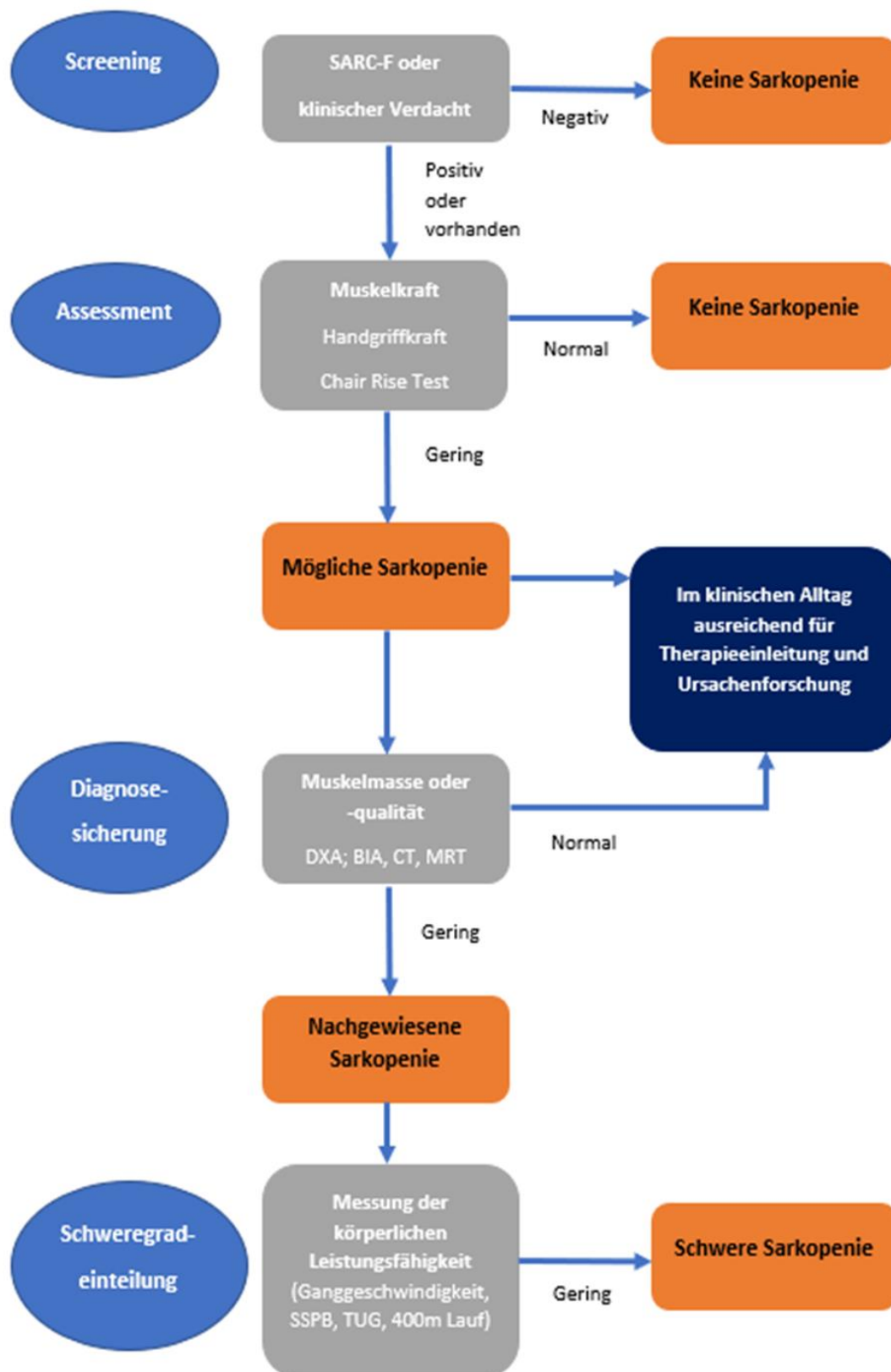


Abbildung 2: Klinischer Leitfadens zur Diagnostik einer Sarkopenie modifiziert nach EWGSOP2.²⁷ BIA Bioelectrical impedance analysis, CT Computertomographie, DXA Dual-energy X-ray absorptiometry, m Meter, MRT Magnetresonanztomographie, SARC-F Fragebogen zum Screening einer Sarkopenie, SSPB Short Physical Performance Battery, TUG Timed Up and Go test

2.6 Diagnostika der Muskelkraft

In dem neuen EWGSOP2-Konsenspapier wurden klare Grenzwerte zur Erfassung einer verminderten Muskelkraft mittels klinischer Tests festgelegt. Der Chair Rise Test wird, neben der Verwendung der Handgriffkraftmessung, ebenfalls zur Erfassung der Muskelkraft empfohlen. Der Grenzwert wurde für den Chair Rise Test auf fünf Aufstehversuchen in mehr als 15 Sekunden zum Nachweis einer verminderten Muskelkraft bei Männern im Sinne der Sarkopenie-Definition festgelegt. Ein Grenzwert für Frauen wurde noch nicht definiert. Bei der Handgriffkraftmessung gelten Grenzwerte für eine nachweislich verminderte Muskelkraft von <16 Kilogramm (kg) für Frauen und <27kg für Männer (siehe Abb. 3). Auch Tests und deren Grenzwerte zur Erfassung einer verminderten Muskelmasse und einer reduzierten körperlichen Leistungsfähigkeit sind definiert worden. Zur Messung der Muskelmasse werden die Dual-energy X-ray Absorptiometry (DXA), die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA), die Computertomographie (CT) oder die Magnetresonanztomographie (MRT) empfohlen. Zur Testung der körperlichen Leistungsfähigkeit wird neben der Messung der Ganggeschwindigkeit auch auf die Short Physical Performance Battery (SPPB), den Timed-Up-and-Go Test (TUG) und den 400-m Lauf verwiesen (siehe Abb. 3).²⁷

Der Chair Rise Test^{33,34} und die Handgriffkraftmessung³² sind standardisierte Diagnostika zur Erfassung der Muskelkraft in der klinischen Praxis und Schlüsselbestandteile bei der Diagnosestellung einer Sarkopenie nach den EWGSOP2-Kriterien (siehe Abb. 2). Für beide Testverfahren ist nachgewiesen worden, dass die Testergebnisse die Muskelkraft des Ober- beziehungsweise Unterkörpers wiedergeben und mit der globalen Muskelkraft korrelieren.^{33,35} Für den Chair Rise Test sind eine exzellente Test-Retest-Reliabilität ($r= 0.84-0.90$), eine exzellente Interrater-Reliabilität ($r= 0.95$) und eine exzellente Kriteriumsvalidität ($r= 0.77$) nachgewiesen worden.³³ Die Messung der Handgriffkraft zeichnet sich neben einer exzellenten Test-Retest-Reliabilität (Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC)= 0.954)³⁶ und Interrater-Reliabilität (ICC= 0.996)³⁷ auch durch eine exzellente Übereinstimmungsvalidität (ICC= $0.9994-0.9998$) aus.³⁸ Daher eignen sich beide Tests als Surrogat Parameter für die globale Muskelkraft von Patienten und wurden folglich als primäre Testverfahren für die klinische Diagnostik einer möglichen Sarkopenie festgelegt.²⁷

Test	Grenzwerte für Männer	Grenzwerte für Frauen
EWGSOP2-Grenzwerte beim Handgriffkraft und Chair Rise Test		
Handgriffkraft	< 27 kg	< 16 kg
Chair Rise Test (5x)	> 15 Sekunden	
EWGSOP2-Grenzwerte für eine geringe Muskelmasse		
ASM	< 20 kg	< 15 kg
ASM/Größe ²	< 7 kg/m ²	< 6 kg/m ²
EWGSOP2-Grenzwerte für eine verminderte körperliche Leistungsfähigkeit		
Ganggeschwindigkeit	≤ 0.8 m/s	
SSPB		≤ 8 Punkte
TUG		≥ 20 Sekunden
400m Gehstest		Nichterfüllung oder ≥ 6 Minuten

Abbildung 3: Grenzwerte für die Sarkopenie-Diagnostik modifiziert nach EWGSOP2.²⁷ ASM appendicular skeletal muscle mass, EWGSOP2 European Working Group on Sarcopenia in Older People 2, kg Kilogramm, m Meter, s Sekunde, m/s Meter pro Sekunde, SSPB Short Physical Performance Battery, TUG Timed Up and Go test

2.7 Therapie des altersbedingten Muskelabbaus

In dem EWGSOP2-Konsenspapier sind keine klaren Empfehlungen enthalten, welche Art von Trainingsintervention zur Prävention von altersbedingtem Muskelabbau und zum Erhalt der Muskelkraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit im Alter am effektivsten ist. Außerdem bleibt unklar, welche Tests am empfindlichsten auf eine Sarkopenie-Behandlung ansprechen und somit am besten geeignet sind, um den Erfolg einer Trainingsintervention bei altersbedingtem Muskelabbau nachzuweisen.²⁷

Dass körperliches Training bei älteren Menschen sinnvoll ist und Muskeln bis ins hohe Alter anpassungsfähig bleiben und es bei entsprechendem Trainingsreiz zu einem Zuwachs an Muskelmasse, -kraft und körperlicher Leistungsfähigkeit kommt, ist mehrfach nachgewiesen worden.³⁹⁻⁴¹ Auch konnte gezeigt werden, dass sich Trainingsgewohnheiten im mittleren Alter (25-50 Jahre), unabhängig von der Art des Trainings, positiv auf die körperliche Leistung und Muskelkraft im Alter auswirken und somit zur Prävention des altersbedingten Muskelabbaus beitragen könnten.⁴²

Das „American College of Sports Medicine“ bestätigte 2011 die erstmals 2004 veröffentlichten Empfehlungen, dass körperliche Aktivität bei älteren Menschen mehrere Komponenten umfassen und neben der Muskelkraft auch das Gleichgewicht, die Beweglichkeit und die kardiovaskuläre Ausdauer trainieren sollte.⁴³⁻⁴⁵ Für Deutschland haben Fuzeki et al. (2017) nationale Bewegungsempfehlungen für Erwachsene und ältere Erwachsene herausgegeben und verweisen ebenfalls auf die multifaktorielle Ausgestaltung von körperlicher Beanspruchung zum Erreichen des maximalen gesundheitlichen Benefits.⁴⁶

2.8 Aktueller Stand der Forschung

In der Vergangenheit lag das Augenmerk sowohl in der Forschung als auch im klinischen Alltag vermehrt auf Krafttraining als Interventionsart zur Prävention von altersbedingtem Muskelabbau. In der Cochrane Übersichtsarbeit von Liu und Latham (2009) wurden 121 Studien mit mehr als 6.700 Teilnehmern eingeschlossen, die ausschließlich Interventionsgruppen mit progressivem Krafttraining enthielten. Auch wenn diese zu dem Schluss kommt, dass Krafttraining wirksam zur Verbesserung der körperlichen Funktionsfähigkeit und Muskelkraft älterer Menschen ist, berücksichtigt sie nicht, inwieweit andere Trainingsinterventionen gleichwertig beziehungsweise überlegen sein könnten.⁴⁷ Auch in systematischen Übersichtsarbeiten zu sarkopenischen Probandenkollektiven wurden größtenteils Krafttrainingsinterventionen berücksichtigt

und es wurden keine Vergleiche zu anderen Trainingsformen durchgeführt.^{15,48} Somit bleibt unklar, ob andere Trainingsinterventionen bei alten Menschen mit oder ohne diagnostizierte Sarkopenie zum Erhalt der Muskelkraft und zur Prävention des voranschreitenden altersbedingten Muskelabbaus gleichwertig oder wirksamer sind.

Während in der Consensus-Definition der EWGSOP von 2010 noch die Muskelmasse der primäre Indikator für eine altersbedingte Sarkopenie war, wurde 2019 in der überarbeiteten Consensus-Definition zum altersbedingten Muskelabbau (Sarkopenie) die Abnahme der Muskelkraft als primärer Indikator für die Sarkopenie festgelegt. Als diagnostisches Verfahren für die Objektivierung einer Abnahme der Muskelkraft kann – analog zur ersten Definition von 2010 - eine Messung der Handgriffkraft mittels Handgriffkraft-Dynamometer verwendet werden. Seit 2019 wird auch eine Messung der Beinkraft mittels Chair-Rise-Tests empfohlen. Die Normwerte für die Handgriffkraft wurden von der Consensus-Gruppe von <30 kg für Männer und <20 kg für Frauen im Jahr 2010 auf <27 kg beziehungsweise <16 kg im Jahr 2019 korrigiert. Für die Beinkraft wurde erst 2019 ein Grenzwert ausschließlich für Männer von über 15 Sekunden für fünf Aufstehversuche festgelegt.^{13,27}

In Studien konnte gezeigt werden, dass bestimmte Muskelgruppen unterschiedlich stark von einer altersbedingten Kraftabnahme betroffen sind, wobei die Arm- und Beinmuskulatur als besonders betroffene Areale identifiziert wurden^{49,50}. Grund für die altersbedingte Abnahme der Handgriffkraft sind laut Studien altersbedingte neuronale Veränderungen im Bereich der alpha-Motoneurone, während die Reduktion der Beinkraft im Alter eher auf muskuläre Degenerationsprozesse zurückzuführen ist.^{51,52} Unklar ist, ob die beiden diagnostischen Sarkopenie-Parameter gleichermaßen auf körperliche Aktivität ansprechen oder ob möglicherweise einer der beiden Parameter sensibler auf Trainingsreize reagiert. Die vorliegende Studie untersucht daher die Effektivität von unterschiedlichen Arten des körperlichen Trainings auf die Bein- und Handgriffkraft.

2.9 Fragestellungen und Zielsetzung der Arbeit

Ziel dieser Publikation ist es (1) die Effektivität unterschiedlicher körperlicher Interventionen gemessen mit Hilfe der oben beschriebenen diagnostischen Testverfahren zur Bein- und Handgriffkraft zur Prävention des altersbedingten Muskelabbaus zu untersuchen und (2) die Effektivität dieser körperlichen Interventionen gegenüberzustellen, um der Fragestellung nach eine gegebenenfalls überlegene Interventionsform nachzuweisen. Hierfür wurde eine systematische Literaturrecherche in der PubMed-Datenbank durchgeführt.

3. Material und Methoden

3.1 Literaturrecherche

Zur Beantwortung der Fragestellungen der vorliegenden Arbeit wurde eine systematische Literaturrecherche zur Identifikation aller relevanten Publikationen durchgeführt. Diese erfolgte in der PubMed-Datenbank und berücksichtigte sämtliche Literatur im Zeitraum von Januar 2000 bis Mai 2020, um die aktuelle Studienlage darzustellen. Es wurde nach dem PICOS-Ansatz (Teilnehmer, Interventionen, Vergleichsintervention, Ergebnisse und Studiendesign) vorgegangen und anhand dessen zu Beginn der Literaturrecherche die Fragestellung dieser Arbeit in Suchbegriffe und Schlagworte umgewandelt.⁵³ Der PICOS-Ansatz stellt einen akzeptierten Standard in der evidenzbasierten Medizin dar, um Ergebnisse einer klinischen Fragestellung übersichtlich darzustellen.⁵⁴ So wurde als Zielpopulation (P) Menschen über 65 Jahre festgelegt, wofür die Schlagworte „elderly“ und „older age“ ausgewählt wurden. Die Studienteilnehmer sollten eine Form der Trainingsintervention (I) erhalten haben, hierfür wurden neben den Suchbegriffen „exercise intervention“ und „physical exercise“ auch der Medical Subject Headings (MeSH) Term „exercise therapy“ verwendet. Außerdem sollte in allen Studien eine Kontrollgruppe ohne Intervention vorhanden sein (C). Als Zielgrößen galten die Veränderung der Muskelkraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit, welche über Schlagworte wie „gait speed“, „leg strength“, „arm strength“, „physical mobility“, „muscular atrophy (MeSH Terms)“ oder „muscle strength (MeSH Terms)“ definiert wurden. Die Zielparameter wurden über den Studienverlauf mit Hilfe von Testverfahren zur Bestimmung der Bein- und Handgriffkraft gemessen (O). In diese Übersichtsarbeit wurden neben randomisierten kontrollierten Studien (RCTs) auch kontrollierte klinische Studien (CCT) eingeschlossen (S). Die zusätzlichen Schlagworte für die jeweiligen Studienkollektive zur Beinkraft und zur Handgriffkraft werden unten beschrieben.

Die vollständigen Schlüsselwörter-Kombinationen sind im Anhang dargestellt. Bei der systematischen Literaturrecherche in der PubMed-Datenbank sind 1543 Studien erfasst worden.

Um aus dem Gesamtstudienkollektiv alle Studien zu selektieren, welche den Einfluss von Trainingsinterventionen auf die Beinkraft untersucht haben, wurde als zusätzlicher Suchbegriff zu den oben beschriebenen Hauptsuchbegriffen „AND (\"chair rise\" OR \"5-Times-Chair-Rise-Test\" OR \"30-s chair stand\")“ angewandt. Zur Identifikation zusätzlicher Studien wurden die Referenzlisten relevanter Übersichtsartikel^{55,56}

durchsucht sowie mittels Vorwärts- und Rückwärtssuche jeder potenziell relevante Artikel eingeschlossen. Diese manuelle Suche erfolgte ebenfalls in der PubMed-Datenbank. Zuletzt wurde die Filter-Funktion für „Controlled Clinical Trial“ und „Randomized Controlled Trial“ angewandt und danach die verbliebenen Studien anhand ihrer Volltexte nach den unten beschriebenen Einschluss- und Ausschlusskriterien auf ihre Eignung geprüft (siehe Abb. 4).

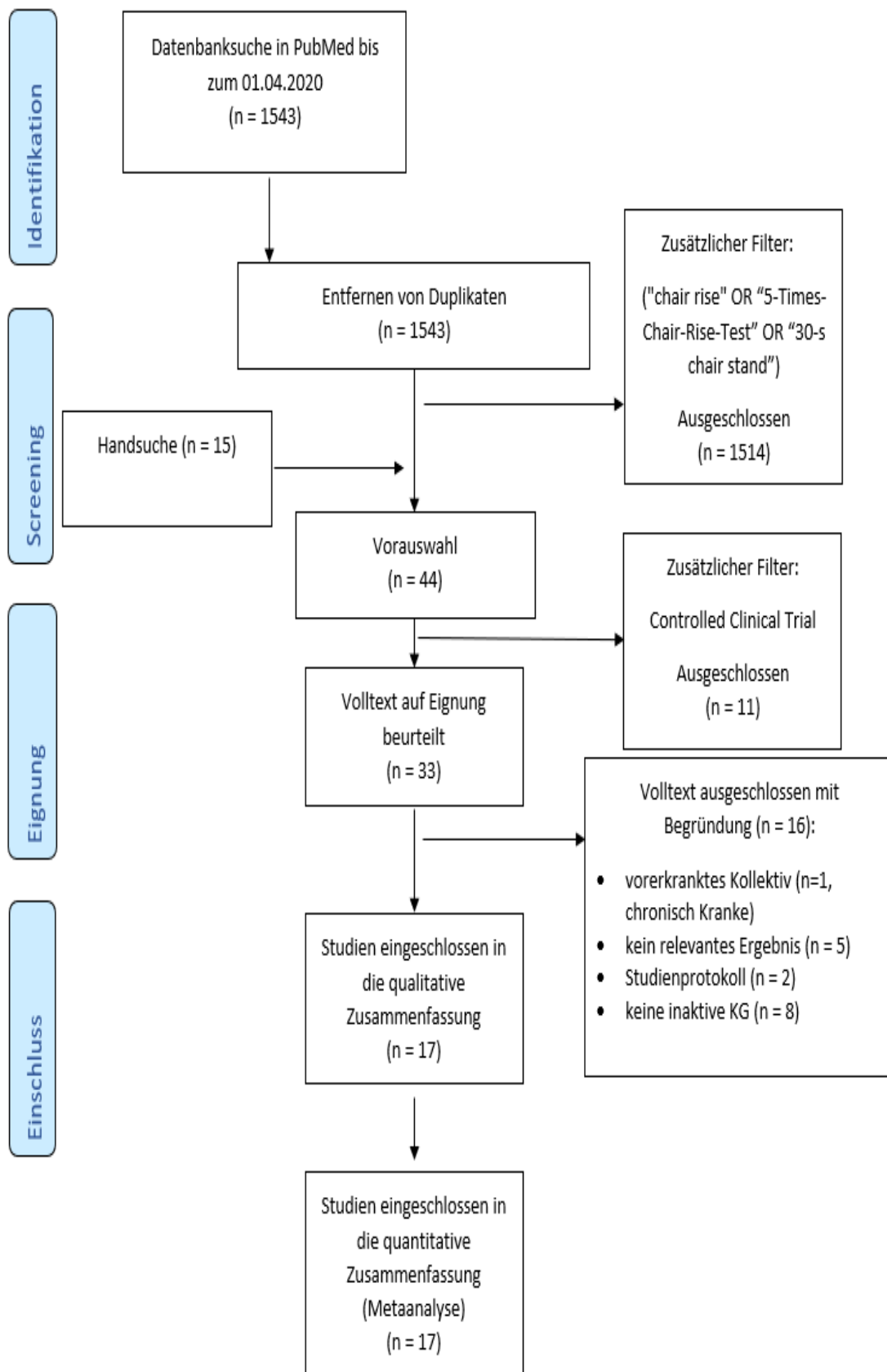


Abbildung 4: PRISMA-Flussdiagramm für die Literaturrecherche zur Beinkraft modifiziert nach PRISMA-Statement.⁵⁴ KG Kontrollgruppe, n Anzahl

Zum Erfassen aller Studien mit Effekten auf die Handgriffkraft, wurde als zusätzlicher Suchbegriff zu den Hauptsuchbegriffen „AND ("handgrip test" OR "grip strength" OR "handgrip")“ angewandt. Um weitere relevante Studien zu identifizieren, wurden anschließend die Referenzlisten wichtiger Übersichtsarbeiten^{48,57} durchsucht sowie eine Vorwärts- und Rückwärtssuche in der PubMed-Datenbank durchgeführt. Nach Anwendung des „Controlled Clinical Trial“- und des „Randomized Controlled Trial“-Filters wurden die verbliebenen Studien anhand ihrer Volltexte und den unten beschriebenen Kriterien auf ihre Eignung geprüft (siehe Abb. 5).

Der Erstellungsprozess der vorliegenden systematischen Übersichtsarbeit orientierte sich an der Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA)-Erklärung. Die Literaturrecherchen-Diagramme sind in den Abbildungen 4 und 5 als PRISMA-Flussdiagramme dargestellt. Die PRISMA-Erklärung enthält einen Leitfaden, um den Erstellungsprozess eines Flussdiagramms zu erleichtern und das Berichten von Meta-Analysen und systematischen Übersichtsarbeiten zu verbessern.^{53,54}

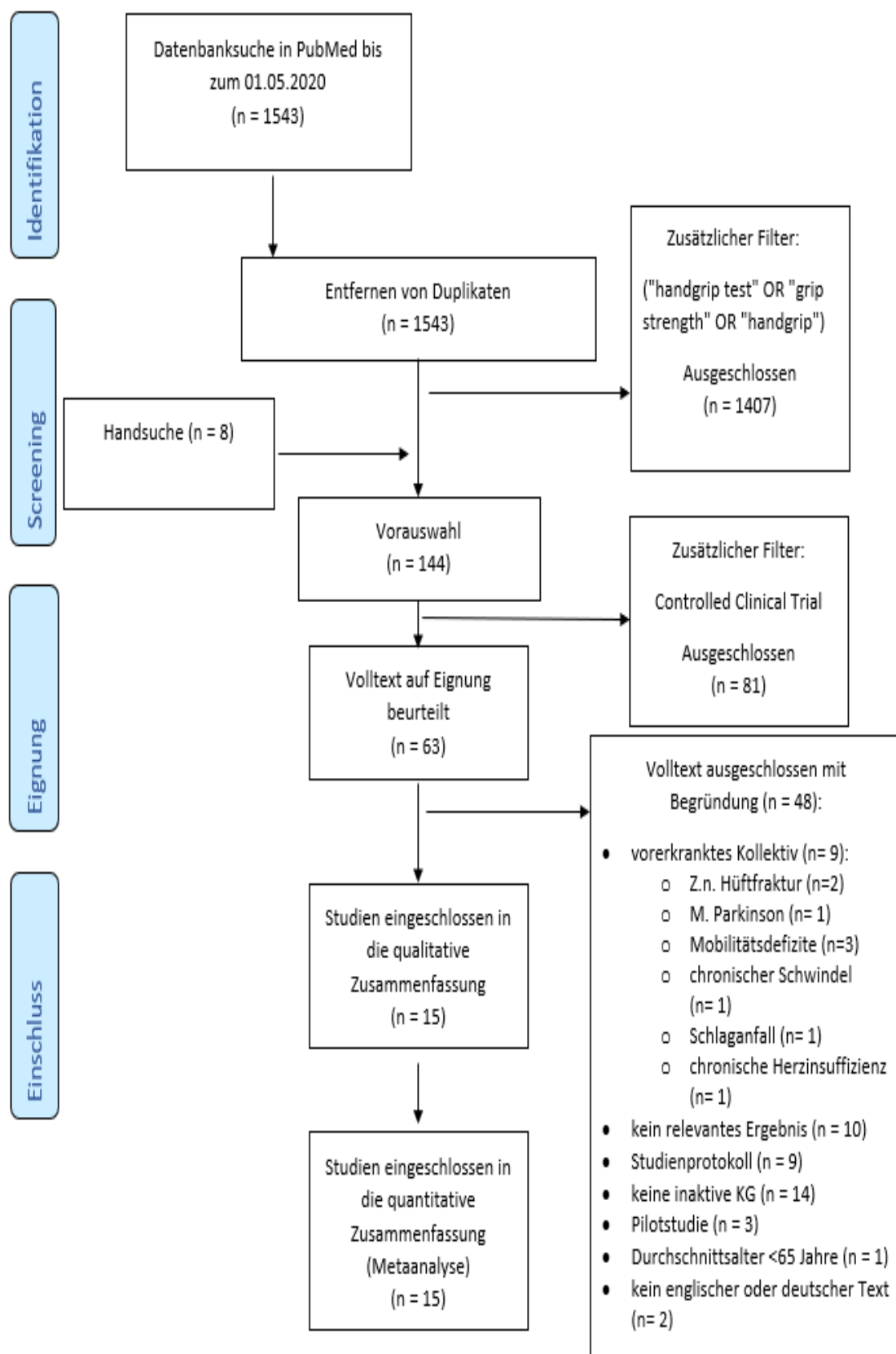


Abbildung 5: PRISMA-Flussdiagramm für die Literaturrecherche zur Handgriffkraft modifiziert nach PRISMA-Statement.⁵⁴ KG Kontrollgruppe, M. Morbus, n Anzahl, Z. n. Zustand nach

3.2 Einschluss-/Ausschlusskriterien

Die erfassten Studien für die Beinkraft (n= 33) und die Handgriffkraft (n= 63) wurden mittels weiterer Auswahlkriterien für den Einschluss in die vorliegende Übersichtsarbeit überprüft.

Folgende Einschlusskriterien mussten erfüllt sein:

- (1) Mindestens eine Form der Trainingsintervention in der Interventionsgruppe
- (2) Messung der Interventionseffekte anhand der vordefinierten Zielparameter (Chair Rise Test oder Messung der Handgriffkraft) mit Ergebnisdarstellung in Mittelwerten und Standardabweichungen)
- (3) Probandenkollektiv mit einem Durchschnittsalter von mindestens 65 Jahren

Folgende Ausschlusskriterien wurden angewandt:

- (1) Keine Kontrollgruppe ohne Intervention
- (2) Relevante Komorbiditäten oder starke körperliche Einschränkungen
- (3) Studienprotokolle, Übersichtsarbeiten oder Pilotstudien
- (4) Durchschnittsalter unter 65 Jahren
- (5) Kein englisch- oder deutschsprachiger Text
- (6) Keine Messung der vordefinierten Zielparameter oder keine relevanten Ergebnisparameter

3.3 Studienkodierung

Jede Studie wurde durch folgende Variablen kodiert: Art und Anzahl der Interventionen, Anzahl der Teilnehmer, Geschlechts- und Altersverteilung, Basis- und Postinterventionswerte der relevanten Tests. Hier wurde zur Erfassung der Muskelkraft der unteren Extremitäten auf drei klinische Tests zurückgegriffen: den 30-s-Stuhl-Aufsteh-Test (30sCRT), den 10x-Stuhl-Aufsteh-Test (10CRT) und den 5x-Stuhl-Aufsteh-Test (5CRT).^{33,58} Da in den Definitionskriterien der Sarkopenie von der EWGSOP2 und der „Asian Working Group for Sarcopenia“ (AWGS) der 5CRT enthalten ist, sind die Werte des 30sCRT und des 10CRT in die benötigte Zeit (Sekunden) für fünf Wiederholungen umgerechnet worden, um Aussagen über das mögliche Vorliegen einer Sarkopenie treffen zu können.^{27,59} Der Grenzwert für den 5CRT wurde aus der Konsenses-Aktualisierung der AWGS entnommen, weil in den EWGSOP2-Kriterien noch kein Grenzwert für Frauen enthalten ist. Die AWGS legte einen einheitlichen Grenzwert von ≥ 12 Sekunden für den 5CRT bei Frauen und Männern fest, welcher als Maßstab zur Analyse der Subgruppe der Probandenkollektive mit einer möglichen Sarkopenie galt.⁵⁹

Zur Erfassung der Armkraft wurde auf die Messung der Handgriffkraft zurückgegriffen, die Teil der EWGSOP2-Kriterien zur Diagnosestellung einer Sarkopenie ist.²⁷ Aus den

Studien wurden die Messwerte der dominanten Hand entnommen, falls diese angegeben waren, ansonsten wurden die Werte der rechten Hand verwendet.

Anschließend wurden die Studien anhand der Trainingsinterventionen in vier unterschiedliche Gruppen unterteilt: Krafttrainings- (KT), Gleichgewichts- (GGWT), Gleichgewichts- und Krafttrainings- (GGWT + KT) oder Multikomponententrainingsgruppe (MKT). Hierbei wurde das MKT als Trainingsprogramm definiert, welches mindestens drei unterschiedliche Trainingsarten beinhaltet (z.B. KT, GGWT und Ausdauertraining).

Fehlende Daten zum Durchschnittsalter des gesamten Kollektivs wurden mit Hilfe der Angaben der jeweiligen Studien zur Altersverteilung der einzelnen Gruppen ermittelt.

3.4 Datengewinnung

Die Daten aller eingeschlossenen Studien wurden in einer Excel-Tabelle zusammengefasst. Hierbei wurden folgende Angaben dokumentiert: Titel, Autoren, Erscheinungsjahr, Populationsgröße, Geschlechts- und Altersverteilung, Vorliegen einer Sarkopenie, Interventionsart (Kraft-, Gleichgewichts-, Kraft- und Gleichgewichts- oder Multikomponententraining), Trainingsintensität, -häufigkeit und -zeitraum, Anzahl der in die Analyse eingeschlossenen Studienteilnehmer, relevante Ergebnisparameter mit den prä- und postinterventionellen Mittelwerten und Standardabweichungen und prozentuale Veränderungen der relevanten Testparameter.

3.5 Bewertung der methodischen Studienqualität

Die methodische Qualität der eingeschlossenen Studien wurde anhand der Physiotherapy Evidence Database (PEDro)-Skala bewertet.⁶⁰ Diese enthält elf Elemente, von denen zehn die interne Validität der Studie bewerten und anhand derer überprüft wird, ob die Studien statistisch reproduzierbare Informationen enthalten (siehe Anhang). Das erste Testkriterium der PEDro-Skala fließt nicht in den Gesamtpunktwert ein, da es nicht die interne Validität der Studie beeinflusst, sondern eine Aussage über die externe Validität der Studie macht. Somit reichen die Werte der PEDro-Skala von null (niedrige Qualität) bis zehn (hohe Qualität). Die Verwendung der PEDro-Skala und -Datenbank zur Erstellung systematischer Übersichtsarbeiten, deren Anwendung durch die Übersetzung ins Deutsche leichter zugänglich gemacht wurde, hat in den letzten zehn Jahren stark zugenommen.⁶¹ Alle eingeschlossenen Studien wurden in der Physiotherapy Evidence Database (PEDro) auf eine bereits vorliegende Bewertung anhand der PEDro-Skala überprüft. Lag eine Bewertung vor, wurde diese in die Übersichtsarbeit übernommen, andernfalls wurde die Studie anhand der im Internet frei

zugänglichen PEDro-Skala bewertet und zu einem Gesamtwert zusammengerechnet (siehe Anhang). Die selbst bewerteten Studien sind in den PEDro-Tabellen mit einem Stern markiert worden (siehe Tabellen 3 und 4). Zur Veranschaulichung der Bias-Risiken der Studiengesamtheit wurde ein Bias-Graph in dem Statistikprogramm R mit Hilfe des „dmetar-package“ erstellt.⁶² Zur Beurteilung des Bias-Risikos (Risiko systematischer Fehler) werden Kriterien der internen Studiengültigkeit herangezogen. Die Durchführung, Auswertung und Berichterstattung der Studien werden kritisch bewertet und daraus das Potential systematischer Verzerrungen abgeleitet.⁶³

3.6 Statistische Datenauswertung

Als Maß für die Effektstärke der Trainingsintervention auf die Beinkraft und Handgriffkraft wurden die „between subjects standardized mean differences“ (SMD_{bs}) zwischen den Probanden der Interventionsgruppe (IG) und Kontrollgruppe (KG) berechnet. Der SMD-Wert berechnet sich wie folgt: $SMD_{bs} = (\text{mean post-value intervention group} - \text{mean post-value control group}) / \text{pooled standard deviation}$.⁶⁴ Die SMD-Werte wurden für die vordefinierten Tests der eingeschlossenen Studien berechnet. Während beim 30sCRT negative SMD-Werte einer Verbesserung entsprachen, galten beim 10CRT und 5CRT positive SMD-Werte als eine Verbesserung. Deshalb wurden zur besseren Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Tests zur Erfassung der Beinkraft die Beträge der negativen SMD-Werte verwendet. Die SMD-Werte der Studien zur Handgriffkraft waren einheitlich positiv, da hier keine unterschiedlichen Testverfahren verwendet wurden.

Die Einteilung der Effektstärken (SMD-Werte) gliedert sich nach Cohens d wie folgt auf: Werte ab 0.20 entsprechen einer kleinen, ab 0.50 einer mittleren und ab 0.80 einer großen Effektstärke.⁶⁵ Der SMD-Wert ermöglicht so einen Vergleich der Effektstärken verschiedener Trainingsarten auf unterschiedliche Zielparameter und ordnet mit Hilfe der Effektstärken die klinische Relevanz der erhaltenen Effekte ein. Außerdem macht er die unterschiedlichen, angewandten Tests zur Erfassung der Bein- und Handgriffkraft der eingeschlossenen Studien vergleichbar und ist durch seine Generalisierbarkeit vor allem für Übersichtsarbeiten geeignet.⁶⁶

Für die Datenanalyse wurde das Statistikprogramm R Version 4.0.2 verwendet.⁶⁷

Die Gesamteffektgröße von Trainingsinterventionen auf die Bein- und Handgriffkraft wurde mittels „random effects model“ berechnet, die 95%-Konfidenzintervalle bestimmt und die errechneten Effektstärken auf statistische Signifikanz hin getestet. Beim „random effects model“ wird davon ausgegangen, dass die Effektstärken einzelner Studien aufgrund von Stichprobenfehlern von der Gesamteffektstärke aller Studien abweichen

können. Als eine weitere Varianzursache wird angenommen, dass die Studienteilnehmer der einzelnen Studien nicht aus einer einheitlichen Gesamtpopulation entnommen wurden. Die Varianz der Verteilung der wahren Effektgrößen wird beim „random effects model“ mit Hilfe unterschiedlicher Schätzmaße (z. B. τ^2) berücksichtigt.⁶⁸ Zur Berechnung der Gesamteffektgröße nach dem „random effects model“ wurde das „meta-package“ verwendet.⁶⁹

Die SMD-Werte der Studienkollektive wurden berechnet und anschließend mit Hilfe des Shapiro-Wilk Tests auf Normalverteilung getestet.⁷⁰ Anschließend wurden die Werte mit dem Levene-Test auf Varianzhomogenität getestet.⁷¹ Bei vorliegender Normalverteilung und Varianzhomogenität wurde der Student's t-Test, für den Vergleich zweier Stichproben und eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) für den Vergleich von mehr als zwei Stichproben angewandt.^{72,73} Die beiden Testverfahren wurden zum Nachweis signifikanter Unterschiede zwischen den Effektstärken unterschiedlicher Trainingsinterventionen verwendet. Für den Shapiro-Wilk Test, den Student's t-Test und für die einfaktorielle ANOVA wurde das „stats-package“ verwendet.⁶⁷ Für den Levene-Test wurde zusätzlich das „lawstat-package“ angewandt.⁷⁴

Um eine Aussage über die Heterogenität des Studienkollektivs machen zu können, wurden Forest-Plots, die eine erste visuelle Überprüfung der Homogenität des Kollektivs ermöglichen, für die unterschiedlichen Zielvariablen Bein- und Handgriffkraft erstellt. Anschließend wurden die Studienkollektive mit dem Q-Test auf Heterogenität getestet. Der Q-Test macht eine Aussage darüber, ob eine Heterogenität vorliegt oder nicht, ohne Rückschlüsse auf den Ausprägungsgrad der Heterogenität zu zulassen.^{75,76} Bei Vorliegen von Heterogenität wurde der Grad der Heterogenität mittels I^2 -Statistik bestimmt. Der Grad der Heterogenität wird als prozentualer Wert in einem Bereich von 0% bis 100% angegeben, wobei Werte unter 25% für eine niedrige, zwischen 25-50% für eine mittlere und über 75% für eine hohe Heterogenität stehen.^{75,77} Die Funktion zur Berechnung der Heterogenitätstests waren im „meta-package“ enthalten.⁶⁹ Bei einem hohen Grad an Heterogenität wurden die Studienkollektive auf extreme Effektstärken, sogenannte Ausreißer, untersucht. Ausreißer sind definiert als Studienergebnisse, die numerisch deutlich vom Rest der Studienkollektivs abweichen und dadurch mit ihrem Konfidenzintervall nicht das Konfidenzintervall der gepoolten Gesamteffektgröße schneiden.^{78,79} Bei Vorliegen von Ausreißern wurde nach deren Ausschluss eine neue Berechnung der Gesamteffektgröße mit zugehörigem 95%-Konfidenzintervall (KI) und Signifikanztestung vorgenommen und der Grad der Heterogenität neu berechnet. Zur

Ermittlung der Ausreißer wurden das „dmetar-package“ und das „devtools-package“ verwendet.^{62,80}

Zur Abschätzung eines möglichen Publikationsbias und eines „Small-study effects“ wurden Funnel-Plots der Studienkollektive erstellt. Eine asymmetrische Verteilung der Einzelstudien kann auf einen möglichen Publikationsbias hindeuten.⁸¹ Anschließend wurde zum statistischen Nachweis einer möglichen Asymmetrie der Egger-Test und bei Vorliegen von Asymmetrie die „Trim-and-fill“-Methode nach Duval und Tweedie (2000) angewandt.^{82,83} Es wurden das „dmetar-package“ und das „meta-package“ verwendet.^{62,69}

Wir verglichen die pre- mit den postinterventionellen Ergebnisparametern auf prozentuale Unterschiede. Die Prozentzahlen wurden aus den Studien selbst entnommen. Bei Fehlen dieser Werte berechneten wir die prozentualen Veränderungen der Testergebnisse vor und nach Intervention sowohl der IG als auch der KG anhand der vorliegenden Studiendaten. Dies geschah mit Hilfe der folgenden Formel: Veränderung (in %) = $\left[\frac{(\text{Posttest-Score} - \text{Pretest-Score})}{\text{Pretest-Score}} \right] \times 100$.

Für alle statistischen Tests wurde ein Signifikanzniveau von 5% ($p= 0.05$) festgelegt.

4. Ergebnisse

Ziel der Arbeit war es, Trainingseffekte auf die Muskelkraft anhand der Bein- und der Handgriffkraft älterer Menschen zu untersuchen und anschließend die Wirksamkeit unterschiedlicher Trainingsarten für die Prävention und Rehabilitation einer Sarkopenie zu vergleichen. Im Folgenden wird zuerst auf die Merkmale der eingeschlossenen Studien zu dieser Thematik eingegangen, um einen Überblick über die jeweiligen Studienkollektive zu geben. Anschließend ist die methodische Qualität der eingeschlossenen Studien anhand der PEDro-Skala dargestellt, um eine Einschätzung der Verzerrungsrisiken der Studienergebnisse vorzunehmen. Zuletzt sind die Ergebnisse dieser Arbeit bezüglich des generellen Effekts von Trainingsinterventionen auf die Bein- und Handgriffkraft und die Effekte der unterschiedlichen Trainingsformen auf diese beiden Zielparameter wiedergegeben.

4.1 Allgemeine Studienmerkmale

Durch die systematische Literaturrecherche wurden 1543 Studien identifiziert. Für die Beinkraft wurden 1514 Studien, nach Screening von Titel und Abstract auf die für uns relevanten Tests, ausgeschlossen. Über Referenzlisten relevanter Übersichtsarbeiten und Rezensionen der eingeschlossenen Studien wurden 15 weitere relevante Studien identifiziert. Insgesamt kamen so 44 Studien zusammen. Anschließend wurden 11 Studien von den erfassten 44 Studien ausgeschlossen, da es sich nicht um kontrollierte klinische Studien handelte. 33 Studien blieben übrig, deren Volltexte auf Grundlage der Zulassungskriterien analysiert wurden (siehe Abb. 4 und 5). Letztlich wurden 17 Studien in die quantitative Analyse einbezogen (siehe Abb. 4). Eine Übersicht über die Details der Studien und ihre wichtigsten Ergebnisse ist in Tabelle 1 dargestellt. Insgesamt umfassten die Studien 1043 Menschen, von denen 706 Frauen waren und somit einen Anteil von 67.7% ausmachten. Von der Gesamtzahl der Studienteilnehmer konnten aufgrund von Drop-Outs nur 931 analysiert werden, wobei wir davon ausgingen, dass die Zusammensetzung der Population ähnlich blieb. Von diesen 931 Studienteilnehmern erhielten 503 eine der vier unterschiedlichen Trainingsinterventionen, während 428 Kontrollgruppenteilnehmer an keiner Intervention teilnahmen. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer betrug 75.3 Jahre, sodass die Ergebnisse dieser Studie und deren Relevanz auf die ältere Bevölkerung bezogen werden können. Der Zeitraum der Interventionen lag zwischen sechs Wochen und acht Monaten, die Dauer der einzelnen Trainingseinheiten betrug zwischen 20 bis 90 Minuten und das Training wurde zwei- bis dreimal pro Woche absolviert. Bei einer Studie trainierten die Teilnehmer einmal pro Woche innerhalb der Trainingsgruppen und

machten zusätzlich einmal täglich selbstständig vorgegebene Übungen. Die Gruppengrößen umfassten 7-60 Teilnehmer pro Gruppe bei einer mittleren Gruppengröße von 24 Teilnehmern. Sechs der Studien nutzten zur Messung der Beinkraft den 30sCRT, eine Studie den 10CRT und zehn Studien den 5CRT (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Merkmale der eingeschlossenen Studien zur Beinkraft

Studie	Probanden		Art der Trainingsintervention	Intensität	Trainingshäufigkeit, -dauer und -zeitraum	Test	% Veränderung (Pre-Post) von IG/KG*	SMD _{bs} (IG vs. KG)						
	N (M/F)	Alter (MW + SD)												
Ansai et al. ⁸⁴	69 (22/47)	82.4 (2.4)	KT (maschinenbasiert)	14-17 auf der Borg-Skala 60-85% der Herzfrequenz-Reserve	3x/Woche 60 min 16 Wochen	5CRT	+10%/ -2%	0.36						
	KT (8/15)		MKT											
	MKT (6/17)		(Ausdauer-, Kraft- und Gleichgewichtsübungen)										+16%/ -2%	0.53
	KG (8/15)													
Arrieta et al. ⁸⁵	112 (33/79)	84.9	MKT (Kraft-, Gleichgewichts-, Dehnübungen und Gehempfehlungen)	40–70% des 1-RM	2x/Woche 45 min 3 Monate	30sCRT	+5%/ -20%	-0.48 ***						
Baker et al. ⁸⁶	38 (14/24)	76.6 (6.1)	MKT	Bis 80% des 1-RM	3x/Woche (KT: 3x AT: 2x GGWT: 1x)	5CRT	+8%/ +8%	0						

	MKT (8/12) KG (6/12)		(progressives Kraft- und Gleichgewichtstraining mit mäßig intensivem Ausdauertraining)	11–18 auf der Borg-Skala	60-80 min 10 Wochen			
Ballesta-Garcia et al. ⁸⁷	54 (0/54) HIICT (0/18) MICT (0/18) KG (0/18)	67.8 (6.2)	MKT (HIICT) MKT (MICT)	14–18 auf der Borg-Skala 9–14 auf der Borg-Skala	2x/Woche 60 min 18 Wochen	30sCRT	+37% / -11% +28%/ -11%	-2.59 *** -1.63 ***
Fragala et al. ⁸⁸	23 (13/10) KT (8/4) KG (5/6)	70.5 (6.2)	KT (Maschinen, freie Gewichte und Körpergewichtsübungen)	5-6 Punkte auf der OMNI-Skala (0-10 Punkte) der RPE ⁸⁹	2x/Woche 60-90 min 6 Wochen	5CRT	+18%/ +6%	0.89
Haslinger et al. ⁹⁰	44 (18/26) GGWT (10/10) KG (7/12)	72.7 (6.9)	GGWT (Aufgabenorientiertes GGWT mit visuellem Feedback)	„Supported“ vs „independent“ Modus mit Wechsel ab dreimaligem Erreichen einer bestimmten Punktzahl	2x/Woche 24 min 9 Wochen	5CRT	+22%/ -2%	0.88

Hirase et al. ⁹¹	93 (28/65)	82.1**	GGWT: auf Schaumgummi (IO)	Pausenanpassung an Leistungsfähigkeit der Probanden	1x/Woche (+ zusätzlich tägliche Übungen für Zuhause) 60 min 4 Monate	5CRT	+27%/	1.17
	IO (9/23)		auf stabiler Oberfläche (SO)				-3%	
	SO (8/23)						+16%/	0.63
	KG (11/19)						-3%	
Hong et al. ⁹²	23 (10/13)	81.9**	KT (Online-Training)	13-16 auf der Borg-Skala	3x/Woche 20-40 min 12 Wochen	30sCRT	+22%/	-0.52
	KT (5/6)						+7%	***
	KG (5/7)							
Kobayashi et al. ⁹³	24 (10/14)	67.5 (5.2)	KT (Beginning Movement Load Training)	15 Wiederholungen mit 30% des 1-RM für 5-7 Sätze	3x/Woche k. A. 8 Wochen	10CRT	+18%/	0.83
	KT (7/10)						+5%	
	KG (3/4)							
Kocic et al. ⁹⁴	77 (26/51)	78.4 (7.6)	MKT (Otago-Übungsprogramm mit Kraft-, Gleichgewichtsübungen)	vier Schwierigkeitsgrade mäßiges Tempo	3x/Woche 40min 6 Monate	5CRT	+21%/	1.09
	MKT (10/28)						-9%	

	KG (16/23)		und Spaziergängen)		2x/Woche 30 min 6 Monate			
Lacroix et al. ⁹⁵	66 (25/41) SUP (8/14) UNSUP (8/14) KG (9/13)	73 (4)	Gleichgewichts- und Krafttraining: SUP UNSUP	12–16 auf der Borg-Skala	3x/Woche 45 min 12 Wochen	5CRT	+23%/ -1%	2.03
							+12%/ -1%	1.08
Magistro et al. ⁹⁶	126 (42/84) MKT (26/37) KG (16/47)	73.1**	MKT (Lauftraining mit Gleichgewichts- und Kraftübungen der unteren Extremität)	45-70% der HFmax Erhöhungen der Wiederholungen Verkürzung der Pausenzeiten	2x/Woche 75 min 4 Monate	30sCRT	+30%/ -10%	-1.6 ***
Marques et al. ⁹⁷	60 (0/60) MKT (0/30) KG (0/30)	69.9 (5.8)	MKT (Dehnungs-, Aufwärm-, Kraftausdauer, Gleichgewichts- und Beweglichkeitsübungen)	Anpassung nach GRFs	2x/Woche 60 min 8 Monate	30sCRT	+14%/ +14%	-0.07 ***

Schlicht et al. ⁹⁸	24 (10/14) KT (n=12) KG (n=12)	72 (6.3)	KT (Kraftübungen der unteren Extremität)	77.8% (± 3.4) des 1-RM	3x/Woche k. A. 8 Wochen	5CRT	+15%/ +13%	0.17
Toraman et al. ⁹⁹	42 (35/7) MKT (17/4) KG (18/3)	72.4**	MKT (Ausdauer-, Kraft- und Beweglichkeitsübungen)	50-70% der HFR 50-80% des 1-RM	3x/Woche k. A. 9 Wochen	30sCRT	+85%/ +12%	-2.6 ***
Vestergaard et al. ¹⁰⁰	53 (0/53) MKT (0/25) KG (0/28)	81.9**	MKT (GGWT, Kraft- und Ausdauertraining als Video-Übungsprogramm)	Ungenaue Angaben zur Borg-Skala (6-20)	3x/Woche 26-30 min 5 Monate	5CRT	+26.9%/ +1%	0.65
Zhu et al. ¹⁰¹	113 (26/87) KT (11/29) KG (8/29)	73.8**	KT (stuhlbasierende Kraftübungen mit Thera-Bändern)	Überwachung und Anpassung durch qualifizierten Trainer	3x/Woche 90 min 12 Wochen	5CRT	+32%/ -1%	1.01

ACSM American College of Sports Medicine, AT Ausdauertraining, Borg-Skala Borg Rating of Perceived Exertion (RPE) Scale¹⁰², F Frauen, GFRs ground reaction forces, GGWT Gleichgewichtstraining, HFmax maximale Herzfrequenz, HFR Herzfrequenzreserve, HIICT high-intensity interval circuit training, IG Interventionsgruppe, k. A. keine Angaben in der jeweiligen Studie, KG Kontrollgruppe, KT Krafttraining, M Männer, MICT moderate-intensity continuous training, MKT Multikomponententraining, MW Mittelwert, N Anzahl der Studienteilnehmer, RPE ratings of perceived exertion, SD Standardabweichung, SMD_{bs} between-subject standardized mean difference, SUP beaufsichtigte Trainingsgruppe, UNSUP unbeaufsichtigte Trainingsgruppe, 1-RM One-Repetition-Maximum, 30sCRT 30s-Chair-Stand test, 5CRT 5-Times-Chair-Rise-Test, 10CRT 10-Times-Chair-Rise-Test, - steht für eine Abnahme, + steht für eine Zunahme

* Diese Werte wurde von den Studienleitern anhand der Studiendaten selbst berechnet

** Fehlende Mittelwerte wurden aus den Angaben der Studien ermittelt

*** Bei negativen Effektstärken wurde mit den Beträgen weitergerechnet

Für die Handgriffkraft wurden 1407 von den 1543 Studien nach dem Screening von Titel und Abstract auf die für uns relevanten Tests ausgeschlossen. Über die Referenzlisten relevanter Übersichtsarbeiten und Rezensionen der eingeschlossenen Studien wurden acht weitere, potenziell relevante Studien identifiziert. Anschließend wurden 81 Studien von den erfassten 143 Studien ausgeschlossen, da es sich nicht um kontrollierte klinische Studien handelte. Übrig blieben 63 Studien, deren Volltexte anhand unserer Zulassungskriterien analysiert wurden. Letztlich wurden 15 Studien in die quantitative Analyse einbezogen (siehe Abb. 5). Eine Übersicht über die Details der Studien und ihre wichtigsten Ergebnisse ist in Tabelle 2 dargestellt. Insgesamt umfassten die Studien 1009 Menschen, wovon 81.3% Frauen (n=820) waren. Von der Gesamtheit der Studienteilnehmer konnten aufgrund von Drop-Outs nur 800 Teilnehmer analysiert werden, wobei wir davon ausgingen, dass die Zusammensetzung der Population ähnlich blieb. Diese 800 Studienteilnehmer teilten sich wie folgt auf die jeweiligen Gruppen auf: während 134 Teilnehmer Krafttraining und 302 Teilnehmer Multikomponententraining als Intervention erhielten, blieben 364 Kontrollgruppenteilnehmer ohne Intervention. Der Zeitraum der Interventionen lag zwischen sechs Wochen und zwölf Monaten, die Dauer der einzelnen Trainingseinheiten zwischen 26 bis 90 Minuten und die Trainingshäufigkeit bei zwei- bis dreimal pro Woche. Die Gruppengröße umfasste 11-55 Teilnehmer pro Gruppe bei einer mittleren Gruppengröße von 25 Teilnehmern. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer betrug 74.6 Jahre, sodass die Ergebnisse dieser Studie und deren Relevanz auf die ältere Bevölkerung bezogen werden können (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Merkmale der eingeschlossenen Studien zur Handgriffkraft

Studie	Probanden		Art der Trainingsintervention	Intensität	Trainingshäufigkeit, -dauer und -zeitraum	Test	% Veränderung (Pre-Post) von IG/KG*	SMD _{bs} (IG vs. KG)
	N (M/F)	Alter (MW + SD)						
Aranda-Garcia et al. ¹⁰³	38 (12/26) MKT (5/12) KG (4/7)	72.1**	MKT (Kraft-, Ausdauer- und Gleichgewichtstraining)	5–8 auf der 10 Punkteskala nach der ACSM ¹⁰⁴	3x/Woche 60 min 12 Wochen + an 2 Tagen pro Woche spezielle Dehnübungen	Handgriffkraft auf das Körpergewicht normalisiert (Jamar Handdynamometer)	+28.3%/ +12.9%	-0.49
Arkkukangas et al. ¹⁰⁵	175 (52/123) OEP (20/41) OEP+MI (18/40) KG (14/42)	83 (4.7)	MKT OEP (Kraft-, Gleichgewichtsübungen und Spaziergänge)	Durch Physiotherapeuten vorgegeben und angepasst	2-3x/Woche 30 min 12 Wochen	Handgriffkraft der rechten Hand (Jamar Handdynamometer)	+2%/ -2%	-0.14
			OEP + MI		2x/Woche Spaziergänge		+3%/ -2%	-0.16
Arrieta et al. ⁸⁵	112 (33/79)	84.9	MKT	40–70% des 1-RM	2x/Woche 45 min 3 Monate	Handgriffkraft der dominanten Hand	-8%/ -16%	-0.21

	MKT (15/42) KG (18/37)		(Kraft-, Gleichgewichts-, Dehnübungen und Gehempfehlungen)			(Jamar Handdynamometer)		
Ballesta- Garcia et al. ⁸⁷	54 (0/54) HIICT (0/18) MICT (0/18) KG (0/18)	67.8 (6.2)	MKT (HIICT) MKT (MICT)	14–18 auf der Borg- Skala 9–14 auf der Borg- Skala	2x/Woche 60 min 18 Wochen	Handgriffkraft der rechten Hand (Takei Handdynamometer)	+2%/ +3% -2%/ +3%	0 0.22
Campa et al. ¹⁰⁶	30 (0/30) KT (0/15) KG (0/15)	66.1 (4.7)	KT (Schlingentraining)	Individuelle Modulation über Änderung der Körperhaltung	2x/Woche 60 min 12 Wochen	Handgriffkraft der dominanten Hand (Takei Handdynamometer)	+8.1%/ -3.1%	-0.56
Cebria et al. ¹⁰⁷	28 (7/21) KT (2/9) KG (5/12)	81.8**	KT (PMTG)	40-60% der maximalen isometrischen Muskelkraft	3x/Woche 30-40min 12 Wochen	Handgriffkraft der dominanten Hand (Jamar Handdynamometer)	+2%/ +2%	0

Chen et al. ¹⁰⁸	33 (0/33) KT (0/17) KG (0/16)	67.5**	KT (Kettlebell-Training)	60–70% des 1-RM	2x/Woche 60min 8 Wochen	Handgriffkraft der rechten Hand	+27%/ -1%	-1.03
Englund et al. ¹⁰⁹	48 (0/48) MKT (0/24) KG (0/24)	73.0**	MKT (Kraft-, Ausdauer-, Gleichgewichts- und Koordinationsübungen)	Über individuelle Tempo- und Pausenzeit Anpassung	2x/Woche 50 min 12 Monate (mit 5 Wochen Pause in den Sommerferien)	Handgriffkraft der dominanten Hand (in Newton)	+7.4%/ -2.5%	-0.61
Fragala et al. ⁸⁸	25 (13/12) KT (8/4) KG (5/11)	70.5 (6.2)	KT (Maschinen, freie Gewichte und Körpergewichtsübungen)	5-6 Punkte auf der OMNI-Skala (0-10 Punkte) der RPE ⁸⁹	2x/Woche 60-90 min 6 Wochen	Handgriffkraft (Jamar Handdynamometer)	+8%/ +4%	-0.11
Kim et al. ¹¹⁰	128 (0/128) MKT (0/32) KG (0/32)	80.2**	MKT (Kraft-, Gleichgewichts- und Gangtraining)	12-14 auf der Borg- Skala	2x/Woche 60 min 3 Monate	Handgriffkraft	+1%/ -1%	-0.06

Lichtenberg et al. ¹¹¹	43 (43/0) KT (21/0) KG (22/0)	78.5**	KT (HI-RT) Protein-, Vitamin D- und Kalzium-Substitution der IG und KG	Vorgegebene Wiederholungsbereiche (nRM, 1-RM)	2x/Woche 50 ± 9 min 28 Wochen	Handgriffkraft der dominanten Hand (Jamar Handdynamometer)	+0.5%/ -6.8%	-0.64
Marques et al. ⁹⁷	60 (0/60) MKT (0/30) KG (0/30)	69.9 (5.8)	MKT (Dehnungs-, Aufwärm-, Kraftausdauer-, Gleichgewichts- und Beweglichkeitsübungen)	Anpassung nach GRFs	2x/Woche 60 min 8 Monate	Handgriffkraft der dominanten Hand (Takei Handdynamometer)	+9%/ +2%	-0.54
Rhodes et al. ¹¹²	44 (0/44) KT (0/22) KG (0/22)	68.5**	KT (mit Fokus auf den großen Muskelgruppen)	75% des 1-RM	3x/Woche 60min 52 Wochen	Handgriffkraft der dominanten Hand	+9%/ +0.4%	-0.52
Vestergaard et al. ¹⁰⁰	53 (0/53) MKT (0/25) KG (0/28)	81.9**	MKT (GGW-, Kraft- und Ausdauertraining als Video-Übungsprogramm)	Ungenauere Angaben zur Borg-Skala (6-20)	3x/Woche 26-30 min 5 Monate	Handgriffkraft (Smedley Handdynamometer)	+17.1%/ +4%	-0.46

Zhu et al. ¹⁰¹	113 (26/87) KT (11/29) KG (8/29)	73.8**	KT (stuhlbasierende Kraftübungen mit Thera- Bändern)	Überwachung und Anpassung durch qualifizierten Trainer	3x/Woche 90 min 12 Wochen	Handgriffkraft	+23%/ +7%	-0.42
---------------------------	---	--------	---	--	---------------------------------	----------------	--------------	-------

ACSM American College of Sports Medicine, Borg-Skala Borg Rating of Perceived Exertion (RPE) Scale¹⁰², F Frauen, GFRs ground reaction forces, GGW Gleichgewicht, HIICT high-intensity interval circuit training, HI-RT high-intensity resistance training, IG Interventionsgruppe, KG Kontrollgruppe, KT Krafttraining, M Männer, MI motivational interviewing, MICT moderate-intensity continuous training, MKT Multikomponententraining, MW Mittelwert, N Anzahl der Studienteilnehmer, nRM nonrepetition maximum (maximale Wiederholungen bis zum Muskelversagen minus 1–3 Wiederholungen), OEP Otago Exercise Program, PMTG Peripheral Muscle Training Group, RPE ratings of perceived exertion, SD Standardabweichung, SMDbs between-subject standardized mean difference, 1-RM One-Repetition-Maximum, - steht für eine Abnahme, + steht für eine Zunahme

* Diese Werte wurde von den Studienleitern anhand der Studiendaten selbst berechnet

** Fehlende Mittelwerte wurden aus den Angaben der Studien ermittelt

4.2 Methodische Qualität der eingeschlossenen Studien

Mit einem mittleren PEDro-Wert von 5.5 (Bereich von 4-8) war die Qualität der eingeschlossenen Studien für die Beinkraft moderat.⁶⁰ Den Grenzwert für hochwertige RCTs von 6 erreichten sechs der siebzehn Studien, wohingegen die meisten Studien (10 von 17) einen Wert von 5 erreichten (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Physiotherapy Evidence Database (PEDro)-Wert der eingeschlossenen Studien zur Beinkraft

Quelle	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Punktwert
Ansai et al. ⁸⁴	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
Arrieta et al. ⁸⁵	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	5
Baker et al. ⁸⁶	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
Ballesta-Garcia et al. ⁸⁷	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	7
Fragala et al. ^{88 *}	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Haslinger et al. ^{90*}	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Hirase et al. ⁹¹	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	6
Hong et al. ⁹²	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4
Kobayashi et al. ⁹³	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5

Kocic et al. ⁹⁴	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	6
Lacroix et al. ⁹⁵	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Magistro et al. ⁹⁶	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Marques et al. ⁹⁷	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	5
Schlicht et al. ⁹⁸	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Toraman et al. ⁹⁹	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Vestergaard et al. ¹⁰⁰	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Zhu et al. ¹⁰¹	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5

„1“ entspricht dem Erfüllen des Kriteriums, „0“ entspricht dem Nicht-Erfüllen; das „Item 1“ fließt nicht in den Gesamtpunktwert mit ein

*Diese Studien wurden anhand der PEDro-Items von den Studienleitern selbst bewertet

Bei den Studien zur Handgriffkraft betrug der mittlere PEDro-Wert 5.7 (Bereich von 4-8), was ebenfalls als moderat zu bewerten ist.⁶⁰ Sechs Studien zählen mit einem Wert von 6 oder mehr zu den hochwertigen RCTs, während die meisten Studien (8 von 15) einen PEDro-Wert von 5 hatten (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Physiotherapy Evidence Database (PEDro)-Wert der eingeschlossenen Studien zur Handgriffkraft

Quelle	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Punktwert
Aranda-Garcia et al. 103 *	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	5
Arrieta et al. ⁸⁵	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	5
Arkkukangas et al. 105	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	7
Ballesta-Garcia et al. 87	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	7
Campa et al. ¹⁰⁶	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Cebria et al. ¹⁰⁷	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	5
Chen et al. ¹⁰⁸	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4
Englund et al. ¹⁰⁹	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5

Fragala et al. ⁸⁸ *	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Kim et al. ¹¹⁰	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	7
Lichtenberg et al. ¹¹¹	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
Marques et al. ⁹⁷	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	5
Rhodes et al. ¹¹²	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Vestergaard et al. ¹⁰⁰	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Zhu et al. ¹⁰¹	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5

„1“ entspricht dem Erfüllen des Kriteriums, „0“ entspricht dem Nicht-Erfüllen; das „Item 1“ fließt nicht in den Gesamtpunktwert mit ein

*Diese Studien wurden anhand der PEDro-Items von den Studienleitern selbst bewertet

4.3 Bias-Risiko der Studiengesamtheit

Zur Übersicht des Bias-Risikos der Studiengesamtheit wurde ein Bias-Graph erstellt, welcher durch seine farbliche Darstellung im Ampelsystem eine schnelle Erfassung der Verzerrungsrisiken der eingeschlossenen Studien ermöglicht (siehe Abb. 6).⁶²

Alle eingeschlossenen Studien erfüllten die folgenden Testkriterien: Zufällige Zuordnung der Studienteilnehmer in die Kontroll- oder Interventionsgruppe (Kriterium 2), Vergleichbarkeit der Gruppen in den wichtigsten prognostischen Indikatoren in der Eingangsmessung (Kriterium 4), mindestens ein Zwischen-Gruppen-Vergleich für einen zentralen Ergebniswert (Kriterium 10) und Darstellung mittels Punktmaß mit dazugehörigem Streuungsmaß (Kriterium 11). Keine der eingeschlossenen Studien führte eine Verblindung der Probanden (Kriterium 5) oder der Therapeuten (Kriterium 6) durch. Vier Studien^{85,99,108,111} spezifizierten die Ein- und Ausschlusskriterien ihrer Studie nicht und erfüllten somit das für die externe Studiengültigkeit stehende Kriterium 1 nicht. Die Gruppenzuordnung erfolgte in acht Studien^{84-87,91,97,110,111} verborgen (Kriterium 3). Eine Verblindung der Untersucher (Kriterium 7) erfolgte bei acht Studien.^{86,87,94,103,105,107,110,111} Weiterhin war bei acht Studien^{85,87,92,97,101,103,107,108} die Nachverfolgung bei mehr als 15% der ursprünglich eingeschlossenen Studienteilnehmern nicht vollständig und somit das Kriterium 8 nicht erfüllt. Eine Intention-to-Treat-Analyse (Kriterium 9) wurde bei acht Studien^{84,86,87,100,101,105,106,111} durchgeführt. Abbildung 6 fasst das Bias-Risiko der 26 eingeschlossenen Studien zusammen.

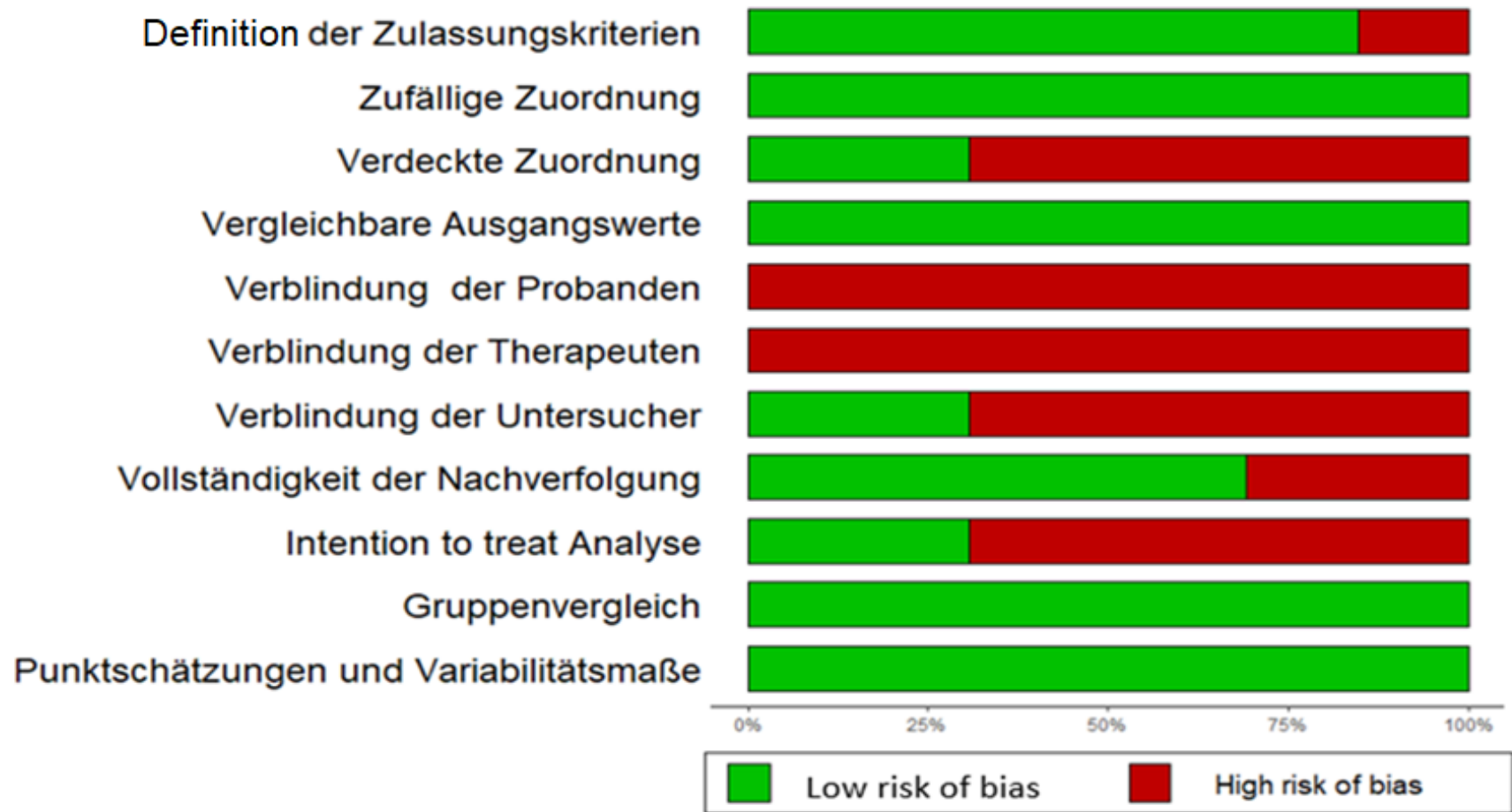


Abbildung 6: Bias-Risiko der Studiengesamtheit anhand der PEDro-Skala.⁶⁰

4.4 Publikationsbias

Der Funnel-Plot zur Beinkraft (siehe Abb. 7) gibt die SMD-Werte der einzelnen Studien gegen ihren Standardfehler wieder. Die visuelle Beurteilung ergab keinen eindeutigen Hinweis auf eine Asymmetrie. Zudem war der Egger-Test statistisch nicht signifikant, was gegen das Vorliegen von Asymmetrie und eines Verzerrungsrisikos durch einen „Small-Study“-Effekt spricht (Egger's intercept= -1.537, $p = 0.1041935$). Bei fehlendem Nachweis von Asymmetrie wurde auf die Anwendung der „Trim-and-fill“-Methode nach Duval und Tweedie verzichtet.

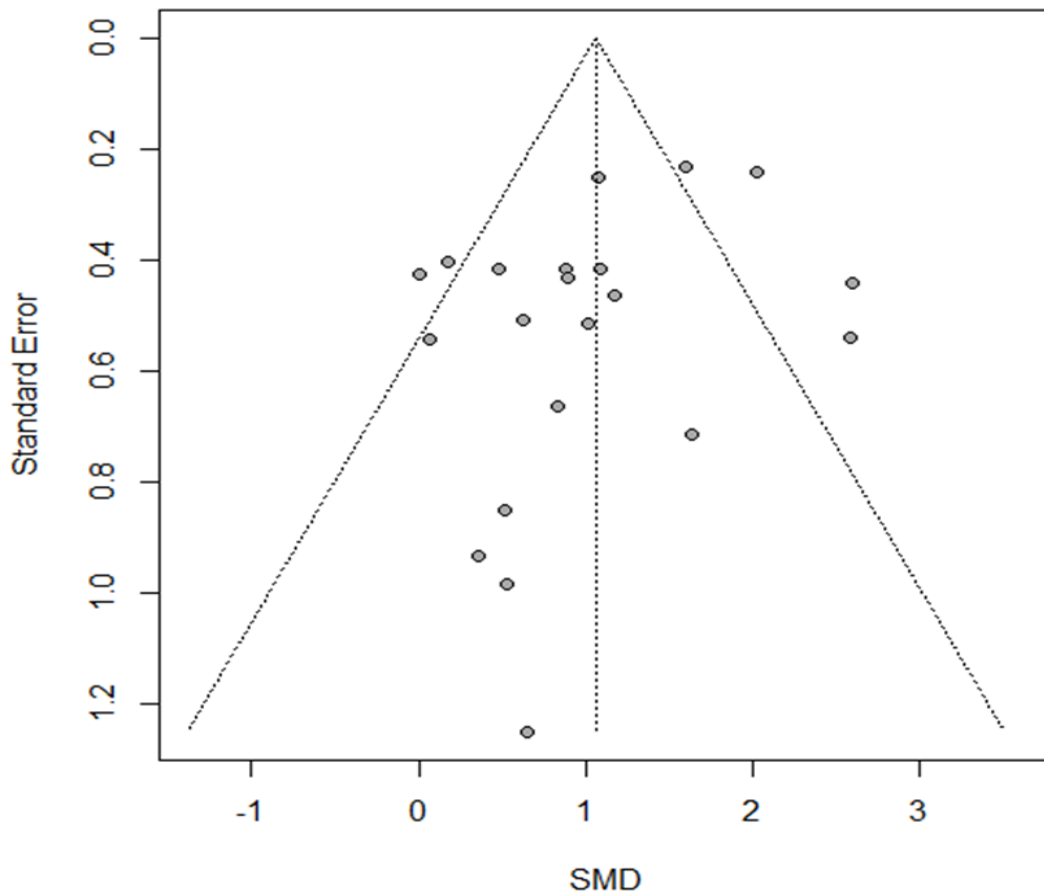


Abbildung 7: Funnel-Plot der Effektgrößenschätzungen von Trainingsinterventionen auf die Beinkraft bei älteren Menschen gegen den Standardfehler. SMD standardized mean difference

Die SMD-Werte der einzelnen Studien zur Handgriffkraft sind in Abbildung 8 gegen ihren Standardfehler dargestellt. Weder die visuelle Beurteilung des Funnel-Plots noch der Egger-Test ergaben einen Nachweis für eine Asymmetrie der SMD-Werte (Egger's intercept= -0.196, $p = 0.4510039$). Deshalb wurde erneut auf die Anwendung der „Trim-and-fill“-Methode nach Duval und Tweedie verzichtet.

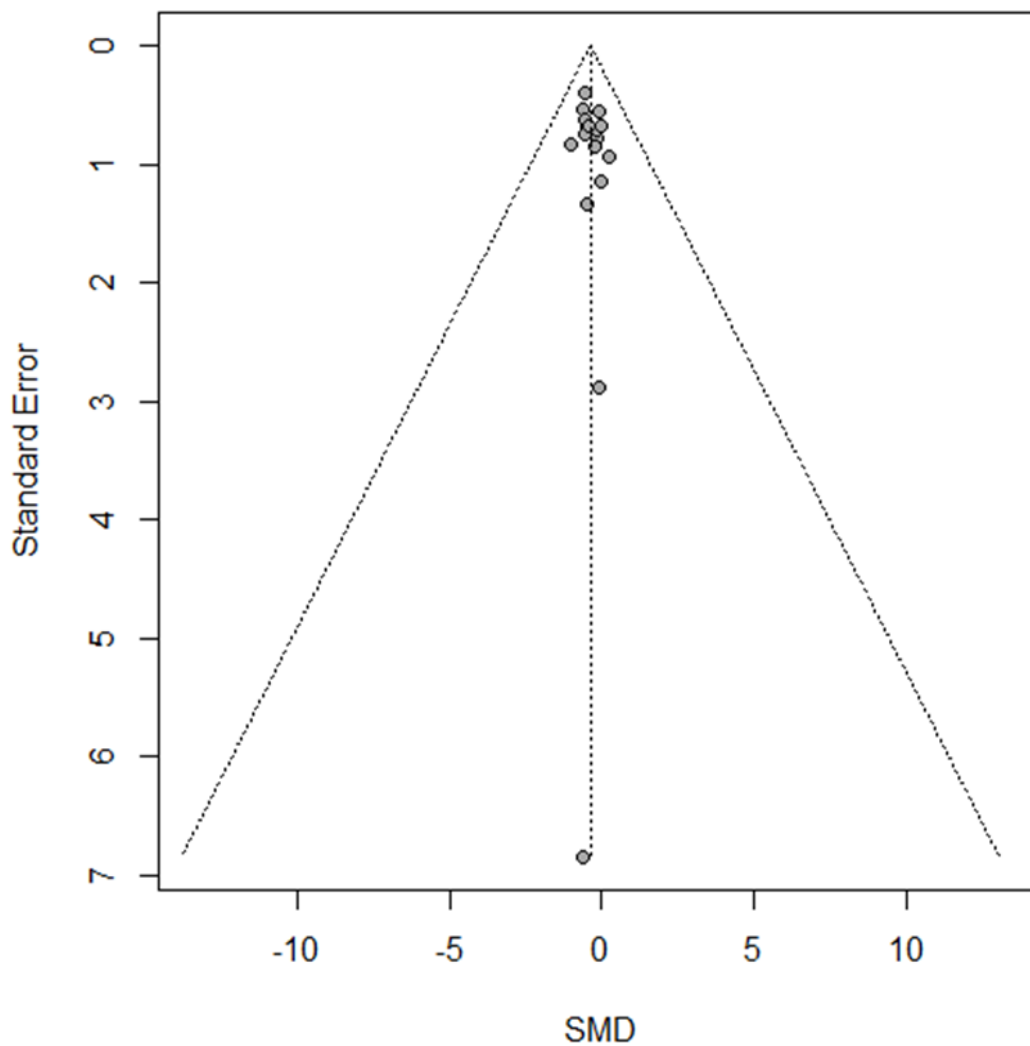


Abbildung 8: Funnel-Plot der Effektgrößenschätzungen von Trainingsinterventionen auf die Handgriffkraft bei älteren Menschen gegen den Standardfehler. SMD standardized mean difference

4.5 Charakteristik der Interventionsansätze

Um die Interventionsansätze zu charakterisieren wurde folgendes Säulendiagramm erstellt, welches die Häufigkeit der einzelnen Interventionsansätze der eingeschlossenen Studien wiedergibt (siehe Abb. 9). Die genaue Aufschlüsselung der Verteilung der Interventionsgruppen für die jeweiligen Studienkollektive zur Bein- und Handgriffkraft sind dem Text zu entnehmen.

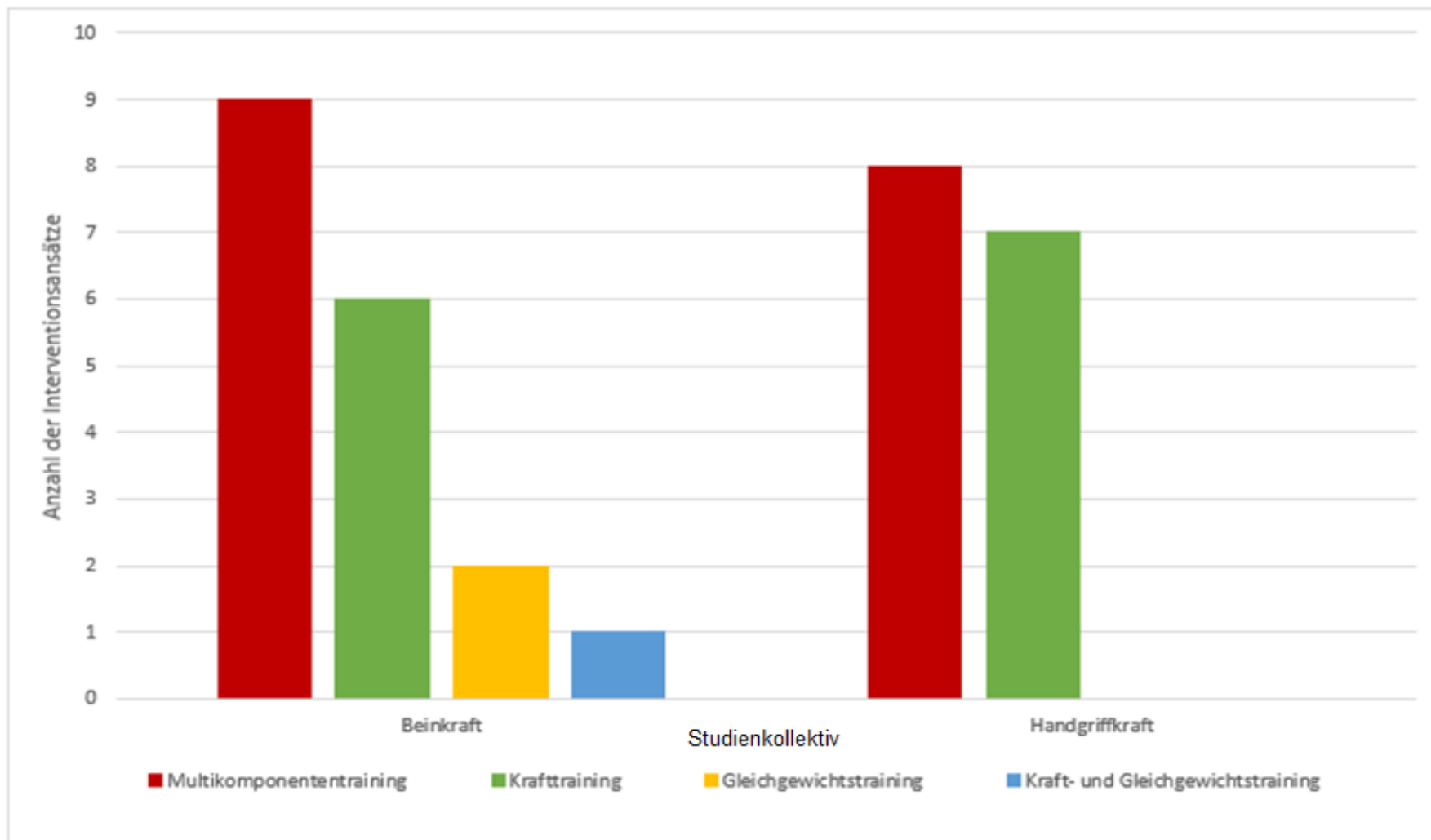


Abbildung 9: Charakteristik der Interventionsansätze der jeweiligen Studienkollektive.

Die Arten der Interventionen gliedern sich für die Beinkraft wie folgt auf: Sechs Krafttrainingsstudien^{84,88,92,93,98,101}, neun Multikomponenten-Trainingsstudien^{84-87,94,96,97,99,100}, zwei Gleichgewichtstrainingsstudien^{90,91} und eine Gleichgewichts- und Krafttrainingsstudie.⁹⁵ Die Gesamtsumme von 18 Studien (vgl. Abb. 9) kommt dadurch zustande, dass in der Studie von Ansai et al. (2016) gleichzeitig eine Kraft- und eine Multikomponententrainingsgruppe untersucht wurde.⁸⁴ Deshalb ist diese Studie in der Abbildung 9 sowohl in der MKT- als auch in der KT-Gruppe dargestellt worden und bedingt die Differenz zu den 17 eingeschlossenen Studien. Insgesamt umfassten die eingeschlossenen Studien 21 Interventionsgruppen. Hierbei untersuchten Ansai et al. (2016) in ihrer Studie sowohl eine Krafttrainings- als auch eine Multikomponententrainingsgruppe, Hirase et al. (2015) eine Gleichgewichtstraininginterventionsgruppe auf instabilem und stabilem Untergrund, Lacroix et al. (2016) neben einer unbeaufsichtigten auch eine beaufsichtigte Interventionsgruppe und Ballesta-Garcia et al. (2019) zwei Interventionsgruppen mit unterschiedlichen Trainingsintensitäten (siehe Tabelle 1).^{84, 87, 91, 95}

Bei den Studien zur Handgriffkraft gab es sieben Studien mit Krafttrainingsinterventionen^{88,101,106-108,111,112} und acht Studien mit Multikomponententraining.^{85,87,97,100,103,105,109,110} Aus den 15 eingeschlossenen Studien ergaben sich 17 Interventionsgruppen, da Ballesta-Garcia et al. (2019) zwei Interventionsgruppen mit unterschiedlichen Trainingsintensitäten untersuchten und Arkkukangas et al. (2019) zwei Interventionsgruppen entweder mit oder ohne begleitende, motivierende Gesprächsführung einschlossen (siehe Tabelle 2).^{87,105}

4.6 Generelle Effektivität einer körperlichen Intervention auf die Beinkraft und die Handgriffkraft

Gemäß dem Shapiro-Wilk Test waren die SMD-Werte der Studienkollektive zur Beinkraft ($p= 0.063$) und zur Handgriffkraft ($p= 0.556$) normalverteilt. Die Überprüfung der Varianzhomogenität erfolgte mit dem Levene-Test, welcher sowohl für die Studien zur Beinkraft ($p= 0.104$) als auch zur Handgriffkraft ($p= 0.789$) keine signifikanten Unterschiede der Varianzen zeigte.

Es zeigte sich, dass jede Art von körperlicher Intervention einen positiven Effekt auf die Beinkraft der Studienteilnehmer hat. Die SMD-Werte als Maß der Effektstärke der Trainingsinterventionen liegen in einem Bereich von 0-2.59. In Abbildung 10 sind die SMD-Werte mit ihren 95%-Konfidenzintervallen als Forest-Plot dargestellt. Die Gesamteffektgröße von Trainingsinterventionen auf die Beinkraft war nach dem „random effects model“ statistisch signifikant (SMD 1.06, 95%-Konfidenzintervall 0.7159 bis

1.4060, $p < 0.0001$). Mit einem SMD-Wert von 1.06 liegt hierbei die generelle Wirksamkeit von Trainingsinterventionen auf die Beinkraft im Bereich einer großen Effektstärke. Die Heterogenitätstestung des Studienkollektivs zur Beinkraft ergab neben dem Nachweis von Heterogenität ($Q = 59.04$, $p < 0.0001$) auch einen hohen Grad dieser ($I^2 = 66.1\%$ [46.4%; 78.6%]). Deshalb wurde das Kollektiv auf extreme Effektgrößen, sogenannte Ausreißer, hin untersucht. Die Interventionsgruppen der Studien von "Lacroix, A. 2016 (SUP)", "Toraman, N. F. 2004", "Ballesta-Garcia, I. 2019 (HIT)" wurden als solche Ausreißer identifiziert und könnten somit als mögliche Quellen der Heterogenität angesehen werden. Dies bestätigte sich angesichts der Tatsache, dass unter Ausschluss dieser Ausreißer der Grad der Heterogenität auf ein mittleres Maß reduziert werden konnte ($I^2 = 27.2\%$ [0.0%; 58.9%]). Hierbei blieb die Gesamteffektgröße im Bereich einer großen Effektstärke unverändert und war weiterhin statistisch signifikant (0.8450 [0.5942; 1.0959], $p < 0.0001$).

Die pre-post Veränderungen der Testparameter für die IG zeigten über alle Studien hinweg eine Verbesserung in einem Bereich von 5% bis 85%. Dagegen haben sich nur bei acht von 17 Kontrollgruppen die pre-post Werte verbessert (Bereich von 1% bis 14%). Die restlichen neun KG haben sich in einem Bereich von 1% bis 20% verschlechtert (siehe Tabelle 1).

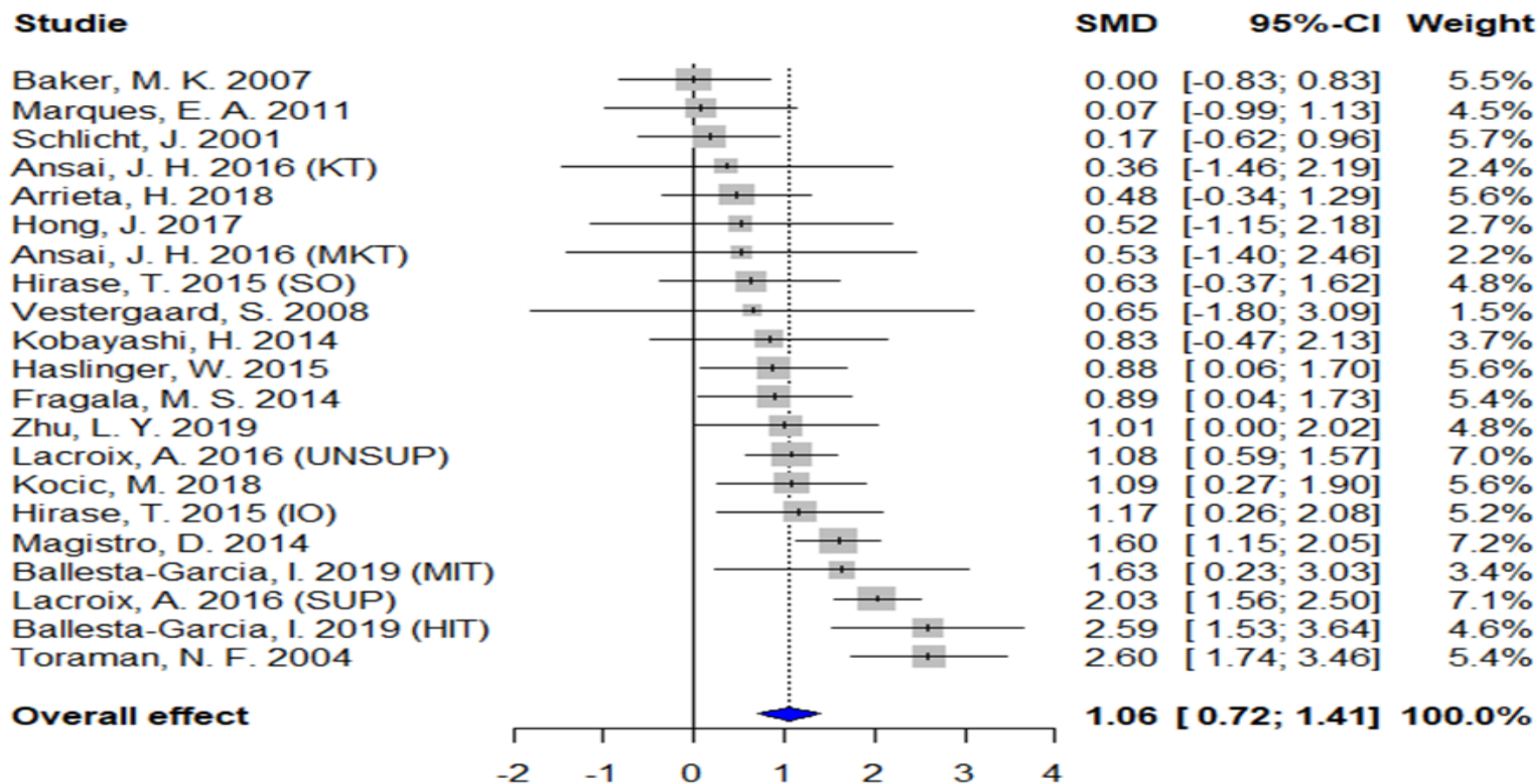


Abbildung 10: Effektstärken von Trainingsinterventionen auf die Beinkraft bei älteren Menschen. Forest-Plot der SMD-Werte mit 95%-KI. CI confidence interval, HIT high-intensity training, IO instabile Oberfläche, KT Krafttraining, MIT moderate-intensity training, MKT Multikomponententraining, SO stabile Oberfläche, SMD standardized mean difference, SUP supervised, UNSUP unsupervised

Auch für die Handgriffkraft zeigte sich, dass körperliche Interventionen einen positiven Effekt auf die postinterventionellen Testergebnisse haben. Der Effektstärkenbereich der SMD-Werte lag zwischen -1.03 und 0.22. Negative Werte stehen für eine Verbesserung der Testparameter. Für die Studien von Cebria et al. (2018) und Ballesta-Garcia et al. (2019) ergaben sich keine negativen SMD-Werte, wonach deren Trainingsinterventionen keinen positiven Effekt auf die Handgriffkraft erzielten.^{87,107} In Abbildung 11 sind die SMD-Werte mit ihren 95%-Konfidenzintervallen als Forest-Plot dargestellt. Die Gesamteffektgröße von Trainingsinterventionen auf die Handgriffkraft war nach dem „random effects model“ statistisch signifikant (SMD -0.37, 95%-Konfidenzintervall -0.5220 bis -0.2261, $p < 0.0001$). Der SMD-Wert von -0.37 zeigt hierbei eine kleine Effektstärke an. Es konnte keine Heterogenität des Studienkollektivs nachgewiesen werden ($Q = 2.54$, $p = 0.9999$; $I^2 = 0.0\%$ [0.0%; 0.0%]) und bei der Suche nach Ausreißern keine Studie als solcher identifiziert werden.

Die Interventionsgruppen haben sich im pre-post Vergleich der Testparameter, mit Ausnahme von der IG aus der Studie von Ballesta-Garcia et al. (2019) und Arrieta et al. (2018), alle verbessert.^{85,87} Demnach kam es bei 15 der 17 IG zu einer Verbesserung der postinterventionellen Testparameter in einem Bereich von 0.5% bis 28%. Dementgegen steht das annähernde Gleichbleiben der pre-post Werte der Kontrollgruppen mit leichten Abweichungen in einem Bereich von +/- 7% bei dreizehn der fünfzehn Studien, wobei sich sieben leicht verbesserten und sechs leicht verschlechterten. Bei den Studien von Aranda-Garcia et al. (2015) und Arrieta et al. (2018) kam es zu einer stärkeren Veränderung der postinterventionellen Werte in Form einer Verbesserung von 13% beziehungsweise Verschlechterung von 16% (siehe Tabelle 2).^{85,103}

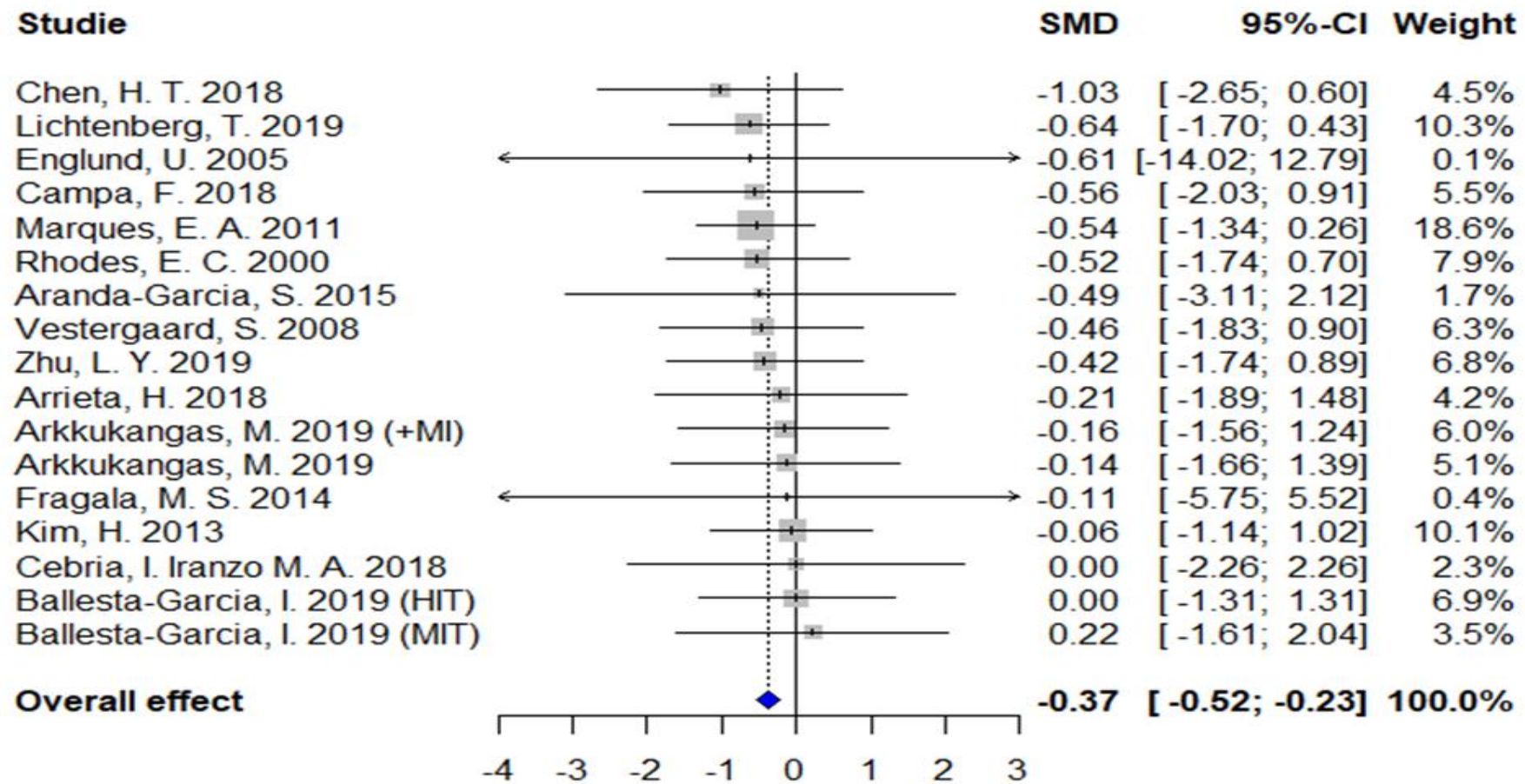


Abbildung 11: Effektstärken von Trainingsinterventionen auf die Handgriffkraft bei älteren Menschen. Forest-Plot der SMD-Werte mit 95%-KI. CI confidence interval, HIT high-intensity training, MI motivational interviewing, MIT moderate-intensity training, SMD standardized mean difference

4.7 Interventionsspezifische Effektstärken auf die Beinkraft und die Handgriffkraft

Die interventionsspezifischen Effektstärken für die Beinkraft ergaben für das KT einen mittleren SMD-Wert von 0.63, für das MKT einen Wert von 1.12, beim GGWT ein Wert von 0.89 und ein Wert von 1.55 für GGWT + KT. Es zeigte sich für jede Interventionsart eine mittlere bis starke Effektstärke ($0.63 \leq \text{SMD} \leq 1.55$).⁶⁵ Die Auswirkungen der unterschiedlichen Trainingsarten wurden als Säulendiagramm der gemittelten SMD-Werte der unterschiedlichen Interventionen dargestellt (siehe Abb. 12). Die ANOVA ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Trainingsarten ($F(3, 17) = 0.982, p = 0.424$). Die pre-post Veränderungen der Interventionsgruppen lagen für das KT im Bereich von 10% bis 32%, für das MKT von 5% bis 85%, für das GGWT von 16% bis 27% und beim GGWT + KT zwischen 12% und 23%.

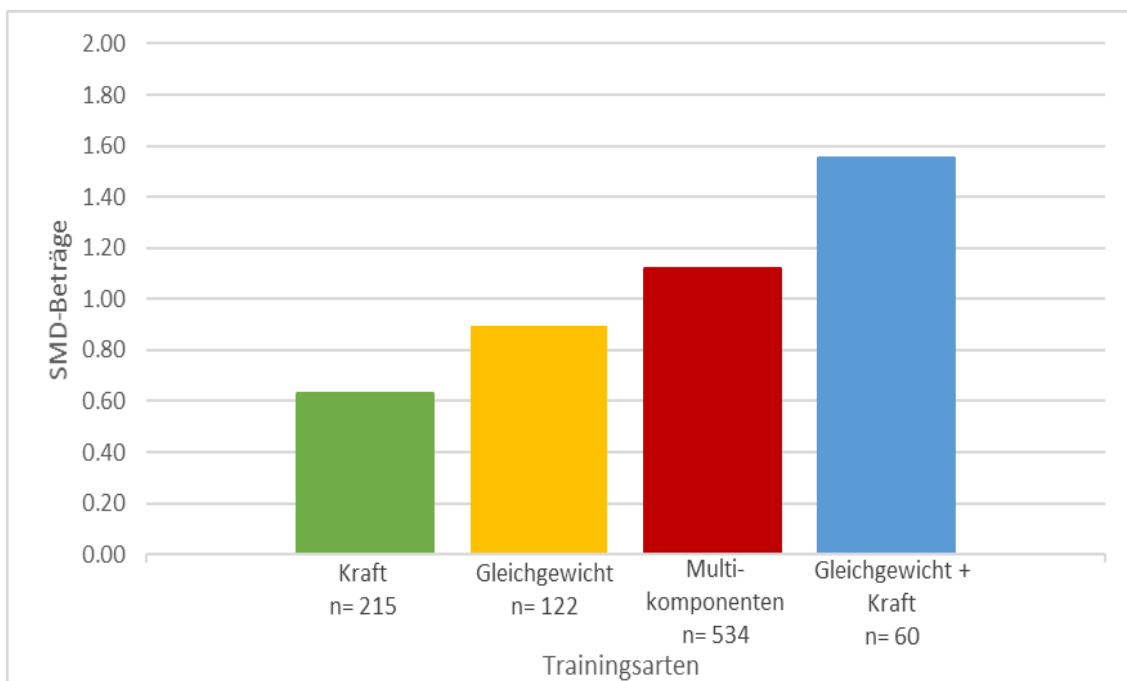


Abbildung 12: Säulendiagramm der mittleren SMD-Werte der einzelnen Trainingsinterventionen zur Beinkraft. n Anzahl der Studienteilnehmer, SMD standardized mean difference

Die interventionsspezifischen Effektstärken für die Handgriffkraft ergaben für das KT einen mittleren SMD-Wert von -0.47 und beim MKT einen Wert von -0.25. Die Effektstärken beider Interventionsarten lagen hier näher zusammen und befanden sich im Bereich kleiner Effektstärken ($-0.245 \leq \text{SMD} \leq -0.469$).⁶⁵ Die Auswirkungen der beiden Trainingsarten wurden als Säulendiagramm der Mittelwerte der SMD-Werte dargestellt (siehe Abb. 13). Der Student's-T-Test ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Effektstärken der KT-Studien und MKT-Studien (95%-KI [-0.118, 0.564], $t(11.043) = 1.44$, $p = 0.1776$). Die pre-post Veränderungen der Interventionsgruppen lagen beim KT im Bereich von 0.5% bis 27% und beim MKT zwischen -8% und 28%.

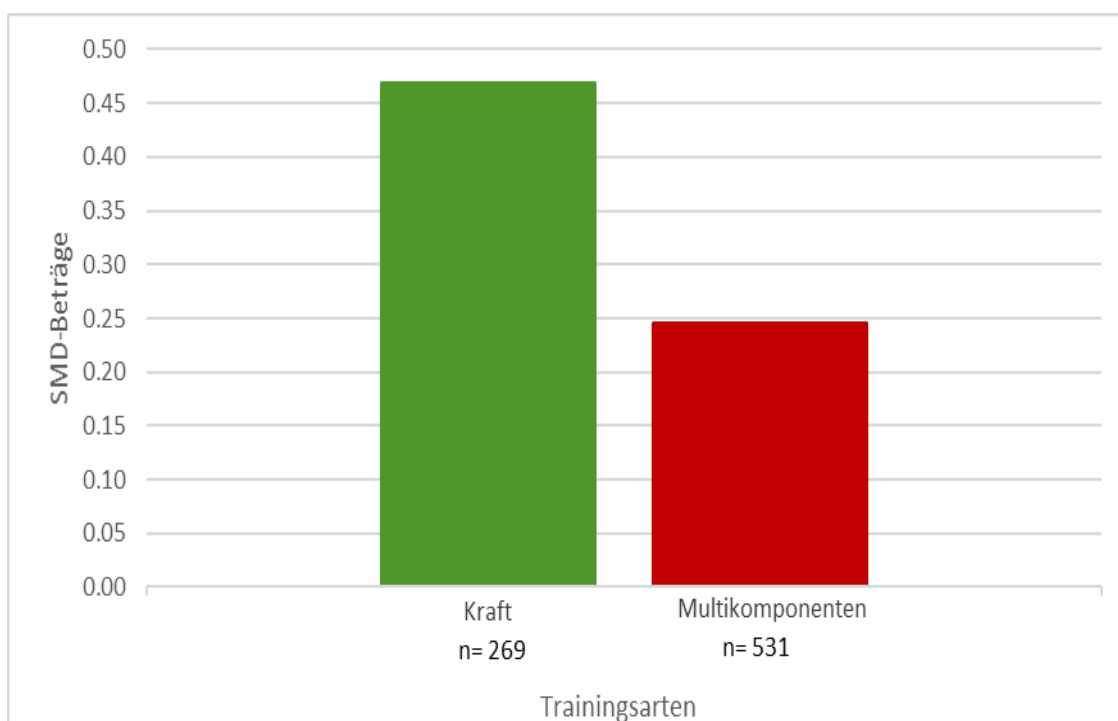


Abbildung 13: Säulendiagramm der mittleren SMD-Werte der einzelnen Trainingsinterventionen zur Handgriffkraft. n Anzahl der Studienteilnehmer, SMD standardized mean difference

Keiner der Unterschiede zwischen den mittleren SMD-Werten der unterschiedlichen Interventionsarten sowohl bei der Bein- als auch bei der Handgriffkraft war bei der ANOVA oder dem Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen signifikant ($p\text{-Wert} > 0.05$).

4.8 Sarkopenie

Nach der Definition der AWGS für eine Sarkopenie lag bei elf Studien aus dem Studienkollektiv zur Beinkraft entsprechend den Basiswerten des 5CRT oder nach den Einschlusskriterien der jeweiligen Studie eine mögliche Sarkopenie vor.⁵⁹ Es zeigte sich eine große Effektstärke bei möglichen Sarkopenie-Kollektiven mit einem SMD-Wert von 0.97. Im Vergleich dazu lag der Wert bei nicht-sarkopenischen Studienteilnehmern bei einem SMD-Wert von 1.04. Die Studienteilnehmer mit einer möglichen Sarkopenie scheinen vor allem von einer MKT- und GGWT- + KT-Interventionen zu profitieren (mittlere SMD-Werte von 0.98 und 1.55), während eine KT-Intervention mit einem SMD-Wert von 0.695 ineffektiver zu sein scheint. Die Unterschiede zwischen den Interventionsarten waren statistisch nicht signifikant ($p > 0.05$).

Bei den Studien zur Handgriffkraft war nur ein Probandenkollektiv nach den Grenzwerten der EWGSOP2-Kriterien für die Handgriffkraft möglicherweise sarkopenisch, wobei die Probanden in sechs Studien nach dem Studienprotokoll als sarkopenisch eingestuft wurden.²⁷ Die Sarkopenie wurde in diesen Studien anhand der Muskelmasse diagnostiziert. Die mittlere Effektstärke in Form des SMD-Wertes betrug für die so definierten Patienten mit Sarkopenie -0.39, während sie für nicht sarkopenische Kollektive -0.30 betrug. Anders als bei der Beinkraft scheinen hier die Studienteilnehmer mit einer möglichen Sarkopenie mehr von einem KT (SMD-Wert von -0.44) als von MKT (SMD-Wert von -0.26) zu profitieren, wobei die Unterschiede statistisch nicht signifikant waren ($p = 0.559$).

5. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, die Effektivität unterschiedlicher körperlicher Interventionen zur Prävention des altersbedingten Muskelabbaus zu untersuchen. Hierbei wurden als Zielparameter die Bein- und Handgriffkraft erfasst, welche Teil der neuen EWGSOP2-Definition einer Sarkopenie sind und einen wichtigen Stellenwert in der Diagnostik einnehmen.²⁷ Die Effektstärken der unterschiedlichen Trainingsansätze wurden untereinander auf eine möglicherweise überlegene Trainingsart hin verglichen, um hieraus eine Empfehlung zur Trainingsgestaltung für die Prävention des altersbedingten Muskelabbaus in der klinischen Praxis abzuleiten.

Die vorliegende Arbeit bestätigt die Effektivität von Trainingsinterventionen zum Erhalt der Muskelkraft bei Menschen über 65 Jahren. Hierbei spiegelt sich der positive Effekt auf die Muskelkraft sowohl bei der Messung der Bein- als auch der Handgriffkraft wider und bestätigt somit die Notwendigkeit und den Nutzen von Trainingsprogrammen zur Prävention und Rehabilitation von altersbedingtem Muskelabbau bei älteren Menschen. Die nachgewiesene Wirksamkeit und der Nutzen von Trainingsinterventionen stützen die Erkenntnisse aus früheren Übersichtsarbeiten zu Effekten von Training auf körperliche Leistungsparameter bei älteren Menschen und Menschen mit Sarkopenie.^{41,47,48} In diesen Arbeiten konnte unter anderem auch die Effektivität von Training zum Erhalt der Muskelkraft von älteren Menschen nachgewiesen werden. Allerdings spielten die Testung der Handgriffkraft mittels Dynamometer und der Beinkraft mittels Chair Rise Test keine beziehungsweise bei Vlietstra et al. (2018) eine untergeordnete Rolle.⁴⁸ Diese Übersichtsarbeiten wurden alle vor dem neuen EWGSOP2-Konsenspapier erstellt, sodass sie die neuen Vorgaben zur Erfassung der Muskelkraft bei Sarkopenie noch nicht berücksichtigen konnten.

Hierin liegt eine Stärke der vorliegenden Arbeit, welche die vorhandene Literatur auf diese beiden Zielparameter, den Chair Rise Test und die Messung der Handgriffkraft, untersuchte. Die Messung der Beinkraft und der Handgriffkraft als Indikator für die globale Muskelkraft haben nach dem EWGSOP2-Konsenspapier eine besondere Relevanz für die klinische Diagnostik und Therapie der Sarkopenie, da die so gemessene Muskelkraft als zuverlässigster Entscheidungs- und Verlaufsparemeter bei klinischem Verdacht auf eine Sarkopenie gilt.^{27,32,113} Außerdem sprach für die Auswahl der beiden Testverfahren neben einer nachgewiesenen hohen Validität und Reliabilität auch die etablierte Anwendung im klinischen Alltag.^{114,115} Die Muskelkraftmessung gilt somit als zuverlässigste Messmethode bei der Diagnostik einer Sarkopenie und scheint die Messung der Muskelmasse als primäre Messmethode zur Diagnose einer

Sarkopenie abzulösen.²⁷ Die vereinfachte Diagnostik mittels der beschriebenen Testverfahren wird der zunehmenden Bedeutung des altersbedingten Muskelabbaus in der Gesellschaft und vor allem in der Medizin gerecht und soll wichtige Erkenntnisse für die Prävention der Sarkopenie ermöglichen. Dabei stützen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit den Einsatz der Tests zur Messung der Bein- und Handgriffkraft als Surrogat-Parameter für die globale Muskelkraft bei Trainingsinterventionen.

Darüber hinaus stellten wir fest, dass die Trainingseffekte in Studien mit Messung der Beinkraft im Vergleich zu Studien mit Messung der Handgriffkraft größer ausfielen. Ein Grund hierfür könnte in der Zusammensetzung der Trainingsübungen liegen, da der Fokus der Trainingsprogramme mehr auf der unteren Extremität als auf der Handgriffkraft lag. Außerdem erfasst der Chair Rise Test anteilig auch die Ausdauerleistung des Probanden³³ und könnte daher bei mehrkomponentigen Interventionen, welche Gleichgewichts-, Ausdauer- und Beweglichkeitskomponenten enthalten, höhere Effektstärken erzielen. Dies könnte auch erklären, warum reines Krafttraining mit Schlingentrainer, freien Gewichten oder an Trainingsmaschinen stärkere Effekte auf die Handgriffkraft hat als Multikomponententraining.

Hieraus lässt sich folgern, dass die Handgriffkraft zwar als Prädiktor für Komplikationen^{24,116-118} und als Screening-Tool zur Erfassung einer möglichen Sarkopenie^{27,59,119,120} weiterhin zu empfehlen ist, allerdings als Parameter zur Erfassung von Trainingseffekten im Rahmen von Präventionsprogrammen und Trainingsinterventionen bei älteren Menschen nicht für jede Trainingsart geeignet ist. Auf ähnliche Ergebnisse sind Tieland et al. (2015) gekommen, welche in ihrer Studie schlussfolgern, dass die Messung der Handgriffkraft kein valides Mittel zur Bewertung der Wirksamkeit von Trainingsinterventionen auf die Muskelkraft bei älteren Menschen ist.⁵⁷ Auch Leenders et al. (2013) stellten fest, dass es nach einer Trainingsintervention nicht unbedingt zu einer Verbesserung der Handgriffkraft kommt.¹²¹ Keine oder sehr geringe Effektstärken nach Cohens d ($d < 0.2$) zeigten sich auch in der vorliegenden Arbeit bei sieben Studieninterventionsgruppen aus dem Studienkollektiv zur Handgriffkraft.^{87,88,105,107,110} Vier weitere Studien zeigten kleine Effektstärken ($d = 0.2-0.5$).^{85,100,101,103} Besonders die Studie von Ballesta-Garcia et al. (2019) zeigte die Problematik der Handgriffkraftmessung. So wurden bei dieser keine positiven Trainingseffekte ($SMD < 0.2$) auf die Handgriffkraft nachgewiesen, während sie bei der Beinkraft im Bereich großer Effektstärken lagen ($SMD = 1.63-2.59$).⁸⁷ Dass eine einzelne Kraftmessung zur Einschätzung der Muskelkraft des gesamten Körpers nicht ausreichend ist, wurde schon von Bohannon (2008) beschrieben, wonach die alleinige

Anwendung der Handgriffkraftmessung zum Nachweis von Trainingseffekten bei Trainingsinterventionsstudien nicht zu empfehlen ist.¹²² Stattdessen sollte ein umfassenderes Assessment mit Testung der oberen und unteren Extremität angewandt werden, um die Effekte auf die körperliche Leistungsfähigkeit und vor allem die globale Muskelkraft möglichst genau abzubilden.

Die Oberschenkelstreckmuskulatur ist bei vielen alltäglichen Aufgaben wie Gehen, Treppensteigen und vom Stuhl aufstehen die am meisten beanspruchte Muskulatur.¹²³ Obgleich kommt es zu einer stärkeren Abnahme der Muskelkraft der unteren Extremität mit dem Alter.^{124,125} Daher erscheint es unerlässlich bei älteren Menschen mit Verdacht auf funktionelle Defizite die Kraft der unteren Extremität zu messen. Auch wenn nachgewiesen wurde, dass die Handgriffkraft stark mit der isometrischen Kraft der Oberschenkelstreckmuskulatur korreliert ($r = 0.67-0.91$), wird gleichzeitig von der alleinigen Testung einer Extremität zu Erfassung der globalen Muskelkraft abgeraten.^{126,127} Außerdem sind nach Murphy und Wilson (1996) isometrische Kraftmessungen zur Beurteilung dynamischer Leistungsparameter einer Testperson weniger geeignet.¹²⁸ Rodacki et al. (2020) zeigten darüber hinaus, dass die Korrelation der Handgriffkraft mit der Kraft der unteren Extremitäten vernachlässigbar bis niedrig war.¹²⁹ Folglich sollte zur Erfassung der dynamischen Leistungsparameter ein diese mitefassender Test angewendet werden. Hierdurch könnte die Aussagekraft über die Selbstständigkeit im Alltag der getesteten Person erhöht werden. Der Chair Rise Test könnte eine entsprechende Testmethode sein, weil er nicht nur die anspruchsvollste Bewegung aller „Activities of Daily Living“ (ADLs) nachahmt, sondern auch gut mit der körperlichen Unabhängigkeit älterer Menschen korreliert.¹³⁰⁻¹³² Demnach ist ein multifaktorielles Assessment im Zeichen des ganzheitlichen und umfassenden Ansatzes des gesunden Alterns Voraussetzung für eine gezielte Trainingsplanung und Erfolgskontrolle. Alles in allem unterstützen unsere Studienergebnisse die Hinzunahme des Chair Rise Test in das diagnostische Prozedere zur Diagnosestellung einer Sarkopenie nach der EWGSOP2.

Eine weitere Fragestellung der vorliegenden Arbeit bezog sich auf die effektivste Ausgestaltung von Trainingsprogrammen zur Prävention von altersbedingtem Muskelabbau. Hierfür wurden die unterschiedlichen Trainingsarten wie Kraft-, Gleichgewichts- und Multikomponententraining untereinander verglichen. Der Fokus lag, besonders mit Blick auf das Gesetz zur Stärkung der Gesundheitsförderung und der Prävention in Deutschland, auf der Frage nach der effektivsten Ausgestaltung von Trainingsinterventionen und körperlicher Aktivität zum Erhalt der Muskelkraft und

körperlichen Leistungsfähigkeit älterer Menschen. Die Hypothese, dass Trainingsprogramme umso effektiver in der Prävention des altersbedingten Muskelabbaus sind, je mehr Trainingskomponenten enthalten sind, konnte teilweise bestätigt werden.

Diese Arbeit zeigt das Training umso effektiver zum Erhalt der Muskelkraft und somit der Alltagsfähigkeit älterer Menschen ist, je mehr unterschiedliche Trainingsansätze in einer Intervention enthalten sind. Trotz fehlender, statistisch signifikanter Unterschiede zwischen den Trainingsarten zeigte sich vor allem bei der Beinkraft, dass die Effektstärken von Interventionen mit mehreren Komponenten größer waren als die von einfachem Krafttraining (vgl. Abb. 12). Die Aussagekraft dieser Beobachtung ist durch die geringe Anzahl von Studien für GGWT- + KT-Gruppen (n= 1) und GGWT-Gruppen (n=2) allerdings begrenzt und sollte durch weitere Studien untersucht werden. Auch unter Ausschluss dieser beiden Interventionsarten waren die Unterschiede zwischen den beiden großen Gruppen MKT und KT im Student's t-Test statistisch nicht signifikant.

Ein Grund für die höheren Effektstärken des MKT könnte darin liegen, dass die KT-Gruppen durchschnittlich über einen deutlich kürzeren Zeitraum (10 Wochen) trainierten als die MKT-Gruppen (17 Wochen). Außerdem zielt das MKT auf mehr Trainingsparameter (z.B. Kraft, Ausdauer und Koordination) im Vergleich zum KT ab, welche zum Teil beim Chair Rise Test berücksichtigt werden (Ausdauer und Kraft).²⁷ Folglich könnten Teilnehmer der MKT-Gruppe gegenüber denen der KT-Gruppe einen Trainingsvorteil haben, welcher sich möglicherweise in besseren Testergebnissen widerspiegelt und somit die unterschiedlichen Effektstärken erklären könnte.

Bei den Ergebnissen der Studien zur Handgriffkraft zeigten sich größere Effektstärken für das KT im Vergleich zum MKT, allerdings waren die Unterschiede im Student's t-Test statistisch nicht signifikant. Grund hierfür könnten die Unterschiede in der Gesamtteilnehmerzahl der Studienpopulationen zwischen KT und MKT (siehe Abb. 13) sowie methodische Mängel einzelner Studien sein. Hier ist vor allem die Studie von Chen et al. (2018), welche dem Studienkollektiv mit KT-Interventionen zugeordnet war, mit einem besonders starken SMD-Wert von -1.03 zu nennen.¹⁰⁸ Bei dieser Studie war die methodische Qualität besonders niedrig (PEDro-Wert 4 von 10), woraus ein hohes Verzerrungsrisiko resultiert und folglich die hohen Effektstärken bedingt sein könnten.

Bei der Analyse der Studienkollektive fiel außerdem auf, dass die Studien von Ballesta-Garcia et al. (2019) und Cebria et al. (2018) keine positiven Effekte der Trainingsinterventionen auf die Handgriffkraft zeigten (siehe Tabelle 2).^{87,107} Dies könnte bei der Studie von Cebria et al. (2018) an dem hohen Durchschnittsalter der

Studienpopulation (81.8 Jahre) sowie dem Vorliegen von zahlreichen Komorbiditäten gelegen haben.¹⁰⁷ Hierfür konnten schon Cruz-Jentoft et al. (2011) lediglich geringere Effektstärken von Trainingsinterventionen nachweisen.¹³³ Die Studie von Ballesta-Garcia et al. (2019) enthielt dem Studienprotokoll zufolge vor allem Übungen mit Fokus auf der unteren Extremität, weshalb sehr hohe Effektstärken bei der Beinkraft, aber keine Effekte für die Handgriffkraft resultiert haben könnten (siehe Tabelle 1).⁸⁷

In früheren Studien konnte schon mehrfach nachgewiesen werden, dass jede Trainingsart und vor allem auch Kombinationen von Trainingsarten wirksam zur Therapie und Prävention von altersbedingtem Muskelabbau und zum Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit im Alter sind.^{44,134-136}

Gleichwohl sind Krafttraining und Ausdauertraining weiterhin die häufigsten Trainingsinterventionen in klinischen Interventionsstudien. Ein Grund hierfür könnte sein, dass alleiniges Kraft- oder Ausdauertraining hinsichtlich der Trainingseffekte auf die Muskelkraft am meisten erforscht und die positiven Effekte für unterschiedliche Studienpopulationen nachgewiesen worden sind.^{137,138} Hinzu kommt die unkomplizierte Umsetzbarkeit und Vergleichbarkeit von Krafttrainings- und Ausdauertrainingsprogrammen, wodurch sie als Interventionsart für klinische Studien besonders attraktiv sind. Aktuell fehlen jedoch statistisch signifikante Nachweise, ob alleiniges Kraft- oder Ausdauertraining auch für die Prävention des altersbedingten Muskelabbaus die effektivste Trainingsintervention ist oder ob Multikomponententraining nicht genauso oder sogar effektiver ist. Vergleichsstudien oder systematische Übersichtsarbeiten zu dieser Fragestellung sind in der Literatur noch wenig vorhanden, wobei die vorliegende Arbeit neue Erkenntnisse liefert. Allerdings sind zur Etablierung eines Konzepts für eine strukturierte und evidenzbasierte Präventionsarbeit in Deutschland weitergehende Forschung und Studien mit methodisch hochwertiger Qualität nötig, um eine abschließende Empfehlung bezüglich einer bestimmten Trainingsart für die Prävention des altersbedingten Muskelabbaus geben zu können.

5.1 Limitationen der Studien zur Beinkraft

Körperliches Training zeigte einen starken Effekt (SMD-Werte 1.06) auf die Beinkraft und bewirkte bei allen Interventionsgruppenteilnehmern eine Zunahme der postinterventionellen Testleistung (5%-85%). Hierbei wichen die eingeschlossenen Studien in ihren Effektstärken mit SMD-Werten von 0-2.59 zum Teil stark voneinander ab (siehe Abb. 14). Mögliche Ursachen könnten die Unterschiede in der Anzahl an Studienteilnehmern (23-126), das Durchschnittsalter (67.5-84.9 Jahre) oder die Erfassung der Trainingsintensitäten sein.

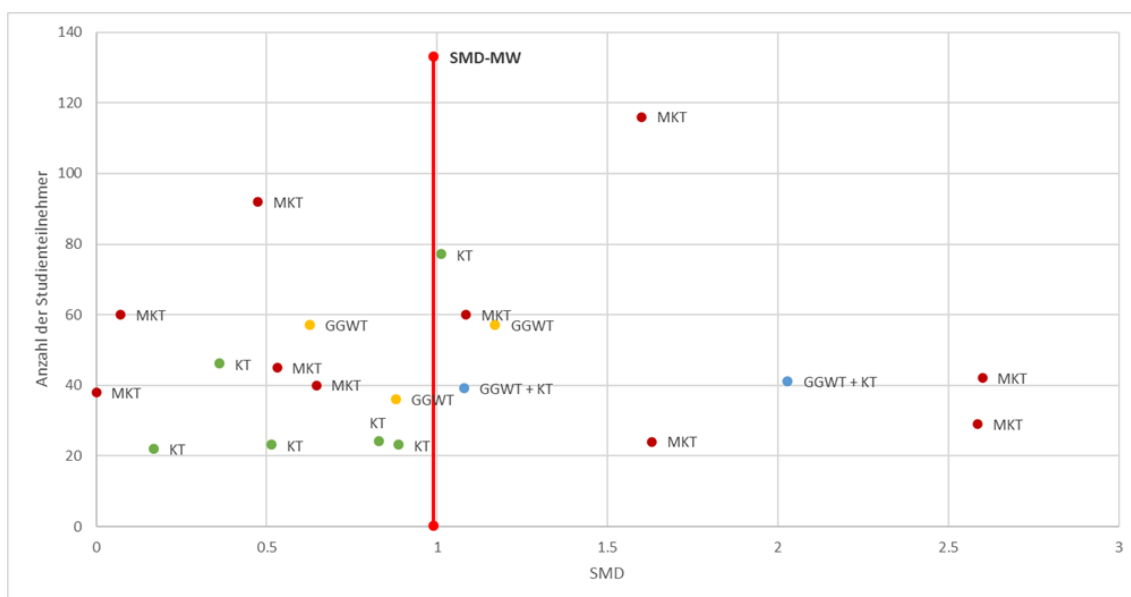


Abbildung 14: Punktdiagramm der SMD-Werte der einzelnen Studien zur Beinkraft unter Angabe der Studienpopulationsgröße und des SMD-Mittelwertes. GGWT Gleichgewichtstraining, GGWT + KT Gleichgewichts- und Krafttraining, KT Krafttraining, MKT Multikomponententraining, MW Mittelwert, SMD standardized mean difference

Im Forest-Plot (Abb. 10) ist zu sehen, dass die Präzision der meisten Studien gering ist und folglich die 95%-KIs breit sind, was durch die kleinen Studienpopulationen bedingt sein könnte. Zusätzlich schneiden 11 der 17 Studien mit ihren Konfidenzintervallen die Kein-Effekt-Linie und zeigen somit keinen signifikanten Unterschied zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe. Dahingegen beinhaltet das 95%-KI der Gesamteffektgröße (0.7159 bis 1.4060) nicht die Kein-Effekt-Linie und deutet somit auf einen signifikanten Effekt von körperlichem Training auf die Beinkraft hin.

Eine weitere Limitation der vorliegenden Arbeit ist die Inhomogenität des Studienkollektivs, welche sich bei der Heterogenitätstestung in einem hohen Grad an Heterogenität ($I^2 = 66.1\%$ [46.4%; 78.6%]) widerspiegelt. Bei der Untersuchung der Ausreißer ($n=3$) fiel auf, dass die Studie von "Lacroix, A. 2016 (SUP)" keine Verblindung bei der Gruppenzuteilung verwendete und körperlich sehr aktive Teilnehmer einschloss. Dahingegen rekrutierten "Toraman, N. F. 2004" und "Ballesta-Garcia, I. 2019 (HIT)" eine

kleine Anzahl an Studienteilnehmern (siehe Abb. 10). Die genannten Studienmerkmale bieten einen mögliche Erklärungsansatz für die extremen Effektstärken. Zur Minimierung des Verzerrungsrisikos wurde das Studienkollektiv von den entsprechenden Studien bereinigt. Die Gesamteffektgröße blieb allerdings nach Ausschluss dieser Ausreißer weiterhin groß (SMD-Wert von 0.845) und ermöglichte eine statistisch präzisere Schätzung der Effektstärke (95%-KI 0.72-1.41) bei einem mittleren Grad an Heterogenität ($I^2 = 27.2\%$ [0.0%; 58.9%]).

Weder der Funnel-Plot noch die statistischen Tests wiesen auf weitere Verzerrungspotentiale durch Publikationsbias oder einen „Small Study“-Effekt hin. Die Studien mit kleineren Studienpopulationen zeigten niedrige Effektstärken als Studien mit größeren, was einem „Small Study Effekt“, welcher bei kleineren Studien meist größere Effektstärken erwartet, widerspricht.^{139,140}

5.2 Limitationen der Studien zur Handgriffkraft

Für die Handgriffkraft zeigte sich ebenfalls ein positiver Effekt von körperlichem Training. Allerdings war die Gesamteffektgröße (SMD-Werte -0.37) kleiner als bei der Beinkraft und es kam nicht bei allen Interventionsgruppen zu einer Zunahme der postinterventionellen Testleistungen (15 von 17). Dafür lagen die Studien mit ihren Effektstärken im Bereich von -1.03 bis 0.22 weniger weit auseinander (siehe Abb. 15).

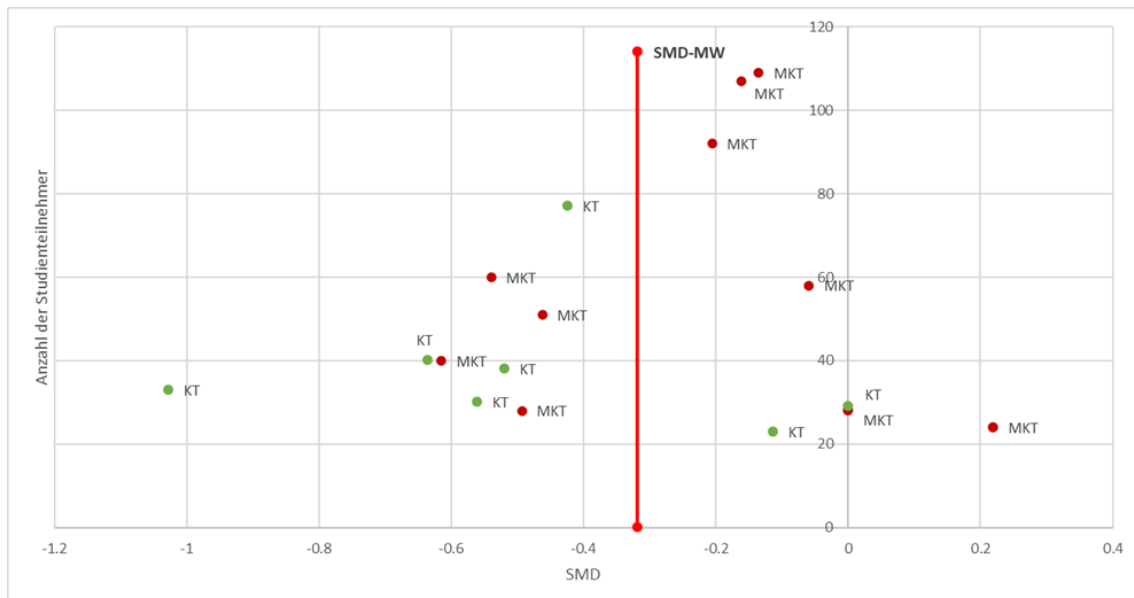


Abbildung 15: Punktdiagramm der SMD-Werte der einzelnen Studien zur Handgriffkraft unter Angabe der Studienpopulationsgröße und des SMD-Mittelwertes. KT Krafttraining, MKT Multikomponententraining, MW Mittelwert, SMD standardized mean difference

Der Forest-Plot (Abb. 11) zeigt folglich ein homogenes Bild des Studienkollektivs ohne Ausreißer, welches in der Heterogenitätstestung bestätigt werden konnte ($I^2 = 0.0\%$ [0.0%; 0.0%]). Die Präzision der Studien ist jedoch gering, da sie alle mit ihren 95%-KIs die Kein-Effekt-Linie schneiden. Vor allem die Studien von Englund et al. (2005) und Fragala et al. (2014) fielen durch ihre besonders breiten 95%-KIs auf.^{88,109} Dies könnte bei Englund et al. (2005) an der großen Standardabweichung durch die Erfassung der Handgriffkraft in Newton und bei Fragala et al. (2014) an der geringen Stichprobengröße ($n=25$) gelegen haben.^{88,109} Dies wurde durch die gepoolte Gesamteffektgröße bereinigt, wobei deren 95%-KI (-0.5220 bis -0.2261) die Kein-Effekt-Linie nicht schneidet und somit weiterhin einen statistisch signifikanten Effekt von Trainingsinterventionen auf die Handgriffkraft nachwies. Weiterhin ergab die vorliegende Arbeit für das Studienkollektiv zur Handgriffkraft keine Hinweise auf eine Verzerrung durch Publikationsbias¹⁴⁰.

Letztlich ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Allgemeinheit aufgrund des hohen Anteils an weiblichen Studienteilnehmer (81.3%) limitiert, da eine geschlechtsabhängige Entwicklung der Muskelkraft im Alter nachgewiesen worden ist und unterschiedliche Grenzwerte für die Messung der Handgriffkraft etabliert wurden.^{120,141}

5.3 Kollektivübergreifende Bias-Risiken

Die methodische Qualität der Studiengesamtheit stellte sich mit einem PEDro-Wert von 5.6 als moderat heraus, wobei mehrere Studien methodische Mängel aufwiesen (siehe Abb. 6). Durch die geringe Anzahl von Studien mit verdeckter Gruppeneinteilung der Studienteilnehmer (bei 30% der Studien) besteht ein erhöhtes Verzerrungsrisiko der Ergebnisse durch ein fehlerhaftes Ausführen der Randomisierung und einer daraus möglicherweise folgenden Stichprobenverzerrung. Hierdurch kann es zu unvorhersehbaren Auswirkungen auf die Effektgrößenstärke kommen („Selection bias“).¹⁴²

Ein weiterer Grund für eine Überschätzung der Effektstärken könnte in der mangelnden Verblindung der Studienteilnehmer und der Therapeuten und der daraus resultierenden Kenntnis der Gruppenzugehörigkeit liegen („Performance bias“). Allerdings macht die Art des Studiendesigns in Form eines Vergleiches einer Interventionsgruppe, welche körperliches Training erhält, mit einer inaktiven Kontrollgruppe eine Verblindung der Therapeuten und der Studienteilnehmer unmöglich. Des Weiteren ist das Verzerrungspotential auf Grund der objektiven Ergebnisparameter als gering einzuschätzen.¹⁴³ Gleiches gilt für die geringe Rate an Verblindungen der Untersucher bei der Endpunkterhebung (bei 30% der Studien), weil hierbei das Verzerrungsrisiko

durch den geringen Ermessensspielraum des Untersuchers kaum, sondern nur durch die Interaktion (z.B. durch verstärkte Motivationsarbeit) mit dem Studienteilnehmer beeinflusst werden kann („Detection bias“).⁶³

Eine weitere Quelle für die mögliche Verzerrung der Studienergebnisse stellt die hohe Drop-Out-Rate und der damit einhergehende Verlust von Daten bei der Endpunktmessung (30% der Studien) dar. Hieraus kann bei ungleicher Verteilung und unterschiedlichen Ursachen der Drop-Outs zwischen der KG und der IG eine Verzerrung des Therapieeffekts entstehen, besonders wenn diese Unterschiede nicht zufällig zustande gekommen sind („Attrition bias“). In Abhängigkeit von der angewandten Analysemethode kann es so zu verzerrten Schätzungen der Effektstärken kommen.¹⁴⁴ In der vorliegenden Arbeit war die Anzahl der Drop-Outs in der IG (53) und KG (49) ähnlich, wobei nur zwei der acht Studien^{87,101} eine Intention-to-Treat-Analyse zur Vorbeugung des „Attrition bias“ verwendeten.

Da keine Subgruppenanalysen unter Ausschluss der Studien mit starken methodischen Mängeln und folglich hohem Biasrisiko durchgeführt wurden, kann insgesamt nicht ausgeschlossen werden, dass die Effektstärken von Trainingsinterventionen auf die Muskelkraft von älteren Menschen überschätzt worden sind. Weitere Studien mit einer höheren methodischen Qualität sind obligat, um die Sicherheit unserer Ergebnisse zu erhöhen und eine abschließende Empfehlung für die effektivste Trainingsgestaltung zur Prävention des altersbedingten Muskelabbaus zu geben.

5.4 Fazit

Zusammenfassend bestätigt diese Arbeit, dass Trainingsprogramme bei älteren Menschen sinnvoll sind, um positive Auswirkungen auf die Muskelkraft und die körperliche Leistungsfähigkeit zu erzielen. Daher ist es empfehlenswert, dass Präventionsansätze zum Erhalt der Alltagskompetenz bei älteren Menschen körperliches Training enthalten und so den physiologischen Alterungsprozessen entgegenwirken. Hierbei scheinen neben dem Krafttraining auch Trainingsarten mit mehreren Komponenten wie Ausdauer-, Gleichgewichts- oder Beweglichkeitstraining effektiv zu sein. Eine klare Empfehlung hin zu einer überlegenen Trainingsart ist anhand der Erkenntnisse aus dieser Arbeit nicht möglich, obgleich einer nicht signifikanten Tendenz hin zu mehrkomponentigen Interventionen. Die Erfassung der Trainingseffekte von Interventionsstudien sollte nicht auf einer alleinigen Messung der Handgriffkraft beruhen, sondern vor allem auch eine Testung der unteren Extremität enthalten, um ein umfassendes und sicheres Abbild der Trainingseffekte zu erhalten. Allerdings sollten die Ergebnisse dieser Arbeit aufgrund methodischer Mängel der eingeschlossenen Studien mit Vorsicht interpretiert werden. Deshalb sind weitere methodisch hochwertige Studien erforderlich, um die Erkenntnisse aus dieser Arbeit zu belegen und eine abschließende Empfehlung zur optimalen Trainingsstrategie für die Prävention von altersbedingtem Muskelabbau in der klinischen Praxis geben zu können.

6. Literaturverzeichnis

1. World Health Assembly, 69. Multisectoral action for a life course approach to healthy ageing: draft global strategy and plan of action on ageing and health: report by the Secretariat. Geneva, World Health Organization; 2016. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/252671> (Zuletzt abgerufen am 01.09.2019).
2. Eurostat, The Statistical Office of the European Union. Population structure indicators at national level. http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?query=BOOKMARK_DS-054158_QID_-AB4CCE8_UID_-3F171EB0&layout=INDIC_DE,L,X,0;GEO,L,Y,0;TIME,C,Z,0;INDICATORS,C,Z,1;&zSelection=DS-054158TIME,2017;DS-054158INDICATORS,OBS_FLAG;&rankName1=INDICATORS_1_2_-1_2&rank (Zuletzt abgerufen am 27.08.2019).
3. Statistisches Bundesamt. Bevölkerung Deutschlands bis 2060. Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt; 2015.
4. Cruz-Jimenez M. Normal Changes in Gait and Mobility Problems in the Elderly. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2017; **28**(4): 713-25.
5. Frontera WR. Physiologic Changes of the Musculoskeletal System with Aging: A Brief Review. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2017; **28**(4): 705-11.
6. Ryall JG, Schertzer JD, Lynch GS. Cellular and molecular mechanisms underlying age-related skeletal muscle wasting and weakness. *Biogerontology* 2008; **9**(4): 213-28.
7. Rosenberg IH. Summary comments : Epidemiological and methodological problem in determining nutritional status of older persons. *The American Journal of Clinical Nutrition* 1989; **50**: 1231-3.
8. SGB 5. Das Fünfte Buch Sozialgesetzbuch – Gesetzliche Krankenversicherung – (Artikel 1 des Gesetzes vom 20. Dezember 1988, BGBl. I S. 2477, 2482), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 16. September 2022 (BGBl. I S. 1454) geändert worden ist.
9. Janssen I, Shepard DS, Katzmarzyk PT, Roubenoff R. The healthcare costs of sarcopenia in the United States. *J Am Geriatr Soc* 2004; **52**(1): 80-5.
10. Cawthon PM, Lui LY, Taylor BC, et al. Clinical Definitions of Sarcopenia and Risk of Hospitalization in Community-Dwelling Older Men: The Osteoporotic Fractures in Men Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2017; **72**(10): 1383-9.
11. Steffl M, Sima J, Shiells K, Holmerova I. The increase in health care costs associated with muscle weakness in older people without long-term illnesses in the Czech Republic: results from the Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe (SHARE). *Clin Interv Aging* 2017; **12**: 2003-7.
12. Beaudart C, Rizzoli R, Bruyere O, Reginster JY, Biver E. Sarcopenia: burden and challenges for public health. *Arch Public Health* 2014; **72**(1): 45.
13. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, 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): 412-23.

14. Faulkner JA, Larkin LM, Claflin DR, Brooks SV. Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2007; **34**(11): 1091-6.
15. Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Schneider SM, 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): 748-59.
16. Papadopoulou SK, Tsintavis P, Potsaki P, Papandreou D. Differences in the Prevalence of Sarcopenia in Community-Dwelling, Nursing Home and Hospitalized Individuals. A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Nutr Health Aging* 2020; **24**(1): 83-90.
17. Montero-Fernandez N, Serra-Rexach JA. Role of exercise on sarcopenia in the elderly. *Eur J Phys Rehabil Med* 2013; **49**(1): 131-43.
18. Batsis JA, Mackenzie TA, Barre LK, Lopez-Jimenez F, Bartels SJ. Sarcopenia, sarcopenic obesity and mortality in older adults: results from the National Health and Nutrition Examination Survey III. *Eur J Clin Nutr* 2014; **68**(9): 1001-7.
19. Sayer AA, Dennison EM, Syddall HE, Gilbody HJ, Phillips DI, Cooper C. Type 2 diabetes, muscle strength, and impaired physical function: the tip of the iceberg? *Diabetes Care* 2005; **28**(10): 2541-2.
20. Morley JE, Anker SD, von Haehling S. Prevalence, incidence, and clinical impact of sarcopenia: facts, numbers, and epidemiology-update 2014. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2014; **5**(4): 253-9.
21. Beaudart C, Biver E, Reginster JY, et al. Validation of the SarQoL(R), a specific health-related quality of life questionnaire for Sarcopenia. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2017; **8**(2): 238-44.
22. De Buyser SL, Petrovic M, Taes YE, et al. Validation of the FNIH sarcopenia criteria and SOF frailty index as predictors of long-term mortality in ambulatory older men. *Age Ageing* 2016; **45**(5): 602-8.
23. World Health Organization. International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). Geneva, World Health Organization; 2001.
24. Taekema DG, Gussekloo J, Maier AB, Westendorp RG, de Craen AJ. Handgrip strength as a predictor of functional, psychological and social health. A prospective population-based study among the oldest old. *Age Ageing* 2010; **39**(3): 331-7.
25. Rantanen T. Muscle strength, disability and mortality. *Scand J Med Sci Sports* 2003; **13**(1): 3-8.
26. Rosenberg IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr* 1997; **127**(5 Suppl): 990S-1S.
27. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 2019; **48**(1): 16-31.
28. Roubenoff R, Heymsfield SB, Kehayias JJ, Cannon JG, Rosenberg IH. Standardization of nomenclature of body composition in weight loss. *Am J Clin Nutr* 1997; **66**(1): 192-6.
29. Anker SD, Morley JE, von Haehling S. Welcome to the ICD-10 code for sarcopenia. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2016; **7**(5): 512-4.
30. Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI). ICD-10-GM Version 2020, Systematisches Verzeichnis, Internationale

- statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision. Köln, 2019.
31. Schaap LA, van Schoor NM, Lips P, Visser M. Associations of Sarcopenia Definitions, and Their Components, With the Incidence of Recurrent Falling and Fractures: The Longitudinal Aging Study Amsterdam. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2018; **73**(9): 1199-204.
 32. Leong DP, Teo KK, Rangarajan S, et al. Prognostic value of grip strength: findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study. *Lancet* 2015; **386**(9990): 266-73.
 33. Jones CJ, Rikli RE, Beam WC. A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Q Exerc Sport* 1999; **70**(2): 113-9.
 34. Pinheiro PA, Carneiro JA, Coqueiro RS, Pereira R, Fernandes MH. "Chair Stand Test" as Simple Tool for Sarcopenia Screening in Elderly Women. *J Nutr Health Aging* 2016; **20**(1): 56-9.
 35. Porto JM, Nakaishi APM, Cangussu-Oliveira LM, Freire Junior RC, Spilla SB, Abreu DCC. Relationship between grip strength and global muscle strength in community-dwelling older people. *Arch Gerontol Geriatr* 2019; **82**: 273-8.
 36. Bohannon RW, Schaubert KL. Test-retest reliability of grip-strength measures obtained over a 12-week interval from community-dwelling elders. *J Hand Ther* 2005; **18**(4): 426-7, quiz 428.
 37. Mathiowetz V, Weber K, Volland G, Kashman N. Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations. *J Hand Surg Am* 1984; **9**(2): 222-6.
 38. Mathiowetz V. Comparison of Rolyan and Jamar dynamometers for measuring grip strength. *Occup Ther Int* 2002; **9**(3): 201-9.
 39. Charette SL, McEvoy L, Pyka G, et al. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *J Appl Physiol (1985)* 1991; **70**(5): 1912-6.
 40. Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, Knuttgen HG, Evans WJ. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol (1985)* 1988; **64**(3): 1038-44.
 41. Stewart VH, Saunders DH, Greig CA. Responsiveness of muscle size and strength to physical training in very elderly people: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 2014; **24**(1): e1-10.
 42. Akune T, Muraki S, Oka H, et al. Exercise habits during middle age are associated with lower prevalence of sarcopenia: the ROAD study. *Osteoporos Int* 2014; **25**(3): 1081-8.
 43. American College of Sports Medicine. Physical activity programs and behavior counseling in older adult populations. *Med Sci Sports Exerc* 2004; **36**(11): 1997-2003.
 44. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2011; **43**(7): 1334-59.
 45. Cress ME, Buchner DM, Prohaska T, et al. Best practices for physical activity programs and behavior counseling in older adult populations. *J Aging Phys Act* 2005; **13**(1): 61-74.

46. Fuzeki E, Vogt L, Banzer W. [German National Physical Activity Recommendations for Adults and Older Adults: Methods, Database and Rationale]. *Gesundheitswesen* 2017; **79**(S 01): S20-S8.
47. Liu CJ, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2009; (3): CD002759.
48. Vlietstra L, Hendrickx W, Waters DL. Exercise interventions in healthy older adults with sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. *Australas J Ageing* 2018; **37**(3): 169-83.
49. Young A, Stokes M, Crowe M. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. *Eur J Clin Invest* 1984; **14**(4): 282-7.
50. Young A, Stokes M, Crowe M. The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clin Physiol* 1985; **5**(2): 145-54.
51. Luff AR. Age-associated changes in the innervation of muscle fibers and changes in the mechanical properties of motor units. *Ann N Y Acad Sci* 1998; **854**: 92-101.
52. Lexell J, Taylor CC, Sjostrom M. What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci* 1988; **84**(2-3): 275-94.
53. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ* 2009; **339**: b2700.
54. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group P. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ* 2009; **339**: b2535.
55. Lacroix A, Hortobagyi T, Beurskens R, Granacher U. Effects of Supervised vs. Unsupervised Training Programs on Balance and Muscle Strength in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2017; **47**(11): 2341-61.
56. Ten Haaf DSM, Nuijten MAH, Maessen MFH, Horstman AMH, Eijsvogels TMH, Hopman MTE. Effects of protein supplementation on lean body mass, muscle strength, and physical performance in nonfrail community-dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2018; **108**(5): 1043-59.
57. Tieland M, Verdijk LB, de Groot LC, van Loon LJ. Handgrip strength does not represent an appropriate measure to evaluate changes in muscle strength during an exercise intervention program in frail older people. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2015; **25**(1): 27-36.
58. Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, 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): M85-94.
59. Chen LK, Woo J, Assantachai P, et al. Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *J Am Med Dir Assoc* 2020; **21**(3): 300-7 e2.
60. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther* 2003; **83**(8): 713-21.

61. Elkins MR, Moseley AM, Sherrington C, Herbert RD, Maher CG. Growth in the Physiotherapy Evidence Database (PEDro) and use of the PEDro scale. *Br J Sports Med* 2013; **47**(4): 188-9.
62. Harrer M, Cuijpers P, Furukawa T, Ebert DD. dmetar: Companion R Package For The Guide 'Doing Meta-Analysis in R'. R package version 0.0.9000. <http://dmetar.protectlab.org> (Zuletzt abgerufen am 18.09.2020).
63. Higgins JP, Altman DG, Gotzsche PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 2011; **343**: d5928.
64. Austin PC. An Introduction to Propensity Score Methods for Reducing the Effects of Confounding in Observational Studies. *Multivariate Behav Res* 2011; **46**(3): 399-424.
65. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Hillsdale (NJ), Erlbaum Press; 1988.
66. Takeshima N, Sozu T, Tajika A, Ogawa Y, Hayasaka Y, Furukawa TA. Which is more generalizable, powerful and interpretable in meta-analyses, mean difference or standardized mean difference? *BMC Med Res Methodol* 2014; **14**: 30.
67. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Wien, Österreich. <https://www.R-project.org/> (Zuletzt abgerufen am 16.09.2020).
68. Schwarzer G, Carpenter JR, Rücker G. Meta-Analysis with R. Springer International Publishing; 2015.
69. Balduzzi S, Rücker G, Schwarzer G. How to perform a meta-analysis with ¹: a practical tutorial. *Evidence-Based Mental Health* 2019; **22**(4):153-160.
70. Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 1965; **52**(3-4): 591-611.
71. Levene H. Contributions to probability and statistics. *Essays in honor of Harold Hotelling* 1960: 278-92.
72. Student. The Probable Error of a Mean. *Biometrika* 1908; **6**(1): 1-25.
73. Scheffe H. The analysis of variance. Hoboken, John Wiley & Sons; 1999.
74. Gastwirth JL, Gel YR, Hui WLW, Lyubchich V, Miao W, Noguchi K. lawstat: Tools for Biostatistics, Public Policy, and Law. <https://CRAN.R-project.org/package=lawstat> (Zuletzt abgerufen am 15.09.2020).
75. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 2003; **327**(7414): 557-60.
76. Cochran WG. The Combination of Estimates from Different Experiments. *Biometrics* 1954; **10**(1): 101-29.
77. Higgins JP, Thompson SG. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med* 2002; **21**(11): 1539-58.
78. Barnett V, Lewis T. Outliers in statistical data. Hoboken, John Wiley & Sons; 1984.
79. Viechtbauer W, Cheung MW. Outlier and influence diagnostics for meta-analysis. *Res Synth Methods* 2010; **1**(2): 112-25.
80. Wickham H, Hester J, Chang W. devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier. <https://CRAN.R-project.org/package=devtools> (Zuletzt abgerufen am 12.09.2020).

81. Sterne JA, Sutton AJ, Ioannidis JP, et al. Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ* 2011; **343**: d4002.
82. Duval S, Tweedie R. Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics* 2000; **56**(2): 455-63.
83. Egger M, Davey Smith G, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ* 1997; **315**(7109): 629-34.
84. Ansai JH, Aurichio TR, Goncalves R, Rebelatto JR. Effects of two physical exercise protocols on physical performance related to falls in the oldest old: A randomized controlled trial. *Geriatr Gerontol Int* 2016; **16**(4): 492-9.
85. Arrieta H, Rezola-Pardo C, Zarrazquin I, et al. A multicomponent exercise program improves physical function in long-term nursing home residents: A randomized controlled trial. *Exp Gerontol* 2018; **103**: 94-100.
86. Baker MK, Kennedy DJ, Bohle PL, et al. Efficacy and feasibility of a novel tri-modal robust exercise prescription in a retirement community: a randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 2007; **55**(1): 1-10.
87. Ballesta-Garcia I, Martinez-Gonzalez-Moro I, Rubio-Arias JA, Carrasco-Poyatos M. High-Intensity Interval Circuit Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Functional Ability and Body Mass Index in Middle-Aged and Older Women: A Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health* 2019; **16**(21).
88. Fragala MS, Fukuda DH, Stout JR, et al. Muscle quality index improves with resistance exercise training in older adults. *Exp Gerontol* 2014; **53**: 1-6.
89. Robertson RJ. Perceived exertion for practitioners : rating effort with the OMNI picture system. Champaign (IL), Human Kinetics; 2004.
90. Haslinger W, Muller L, Sarabon N, Raschner C, Kern H, Lofler S. A Novel Device to Preserve Physical Activities of Daily Living in Healthy Older People. *J Aging Phys Act* 2015; **23**(4): 569-79.
91. Hirase T, Inokuchi S, Matsusaka N, Okita M. Effects of a balance training program using a foam rubber pad in community-based older adults: a randomized controlled trial. *J Geriatr Phys Ther* 2015; **38**(2): 62-70.
92. Hong J, Kim J, Kim SW, Kong HJ. Effects of home-based tele-exercise on sarcopenia among community-dwelling elderly adults: Body composition and functional fitness. *Exp Gerontol* 2017; **87**(Pt A): 33-9.
93. Kobayashi H, Koyama Y, Enoka RM, Suzuki S. A unique form of light-load training improves steadiness and performance on some functional tasks in older adults. *Scand J Med Sci Sports* 2014; **24**(1): 98-110.
94. Kocic M, Stojanovic Z, Nikolic D, et al. The effectiveness of group Otago exercise program on physical function in nursing home residents older than 65years: A randomized controlled trial. *Arch Gerontol Geriatr* 2018; **75**: 112-8.
95. Lacroix A, Kressig RW, Muehlbauer T, et al. Effects of a Supervised versus an Unsupervised Combined Balance and Strength Training Program on Balance and Muscle Power in Healthy Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *Gerontology* 2016; **62**(3): 275-88.

96. Magistro D, Liubicich ME, Candela F, Ciairano S. Effect of ecological walking training in sedentary elderly people: act on aging study. *Gerontologist* 2014; **54**(4): 611-23.
97. Marques EA, Mota J, Machado L, et al. Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women. *Calcif Tissue Int* 2011; **88**(2): 117-29.
98. Schlicht J, Camaione DN, Owen SV. Effect of intense strength training on standing balance, walking speed, and sit-to-stand performance in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001; **56**(5): M281-6.
99. Toraman NF, Erman A, Agyar E. Effects of multicomponent training on functional fitness in older adults. *J Aging Phys Act* 2004; **12**(4): 538-53.
100. Vestergaard S, Kronborg C, Puggaard L. Home-based video exercise intervention for community-dwelling frail older women: a randomized controlled trial. *Aging Clin Exp Res* 2008; **20**(5): 479-86.
101. Zhu LY, Chan R, Kwok T, Cheng KC, Ha A, Woo J. Effects of exercise and nutrition supplementation in community-dwelling older Chinese people with sarcopenia: a randomized controlled trial. *Age Ageing* 2019; **48**(2): 220-8.
102. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982; **14**(5): 377-81.
103. Aranda-Garcia S, Iricibar A, Planas A, Prat-Subiran JA, Angulo-Barroso RM. Comparative effects of horse exercise versus traditional exercise programs on gait, muscle strength, and body balance in healthy older adults. *J Aging Phys Act* 2015; **23**(1): 78-89.
104. American College of Sports M, Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009; **41**(7): 1510-30.
105. Arkkukangas M, Soderlund A, Eriksson S, Johansson AC. Fall Preventive Exercise With or Without Behavior Change Support for Community-Dwelling Older Adults: A Randomized Controlled Trial With Short-Term Follow-up. *J Geriatr Phys Ther* 2019; **42**(1): 9-17.
106. Campa F, Silva AM, Toselli S. Changes in Phase Angle and Handgrip Strength Induced by Suspension Training in Older Women. *Int J Sports Med* 2018; **39**(6): 442-9.
107. Cebria IIMA, Balasch-Bernat M, Tortosa-Chulia MA, Balasch-Parisi S. Effects of Resistance Training of Peripheral Muscles Versus Respiratory Muscles in Older Adults With Sarcopenia Who are Institutionalized: A Randomized Controlled Trial. *J Aging Phys Act* 2018; **26**(4): 637-46.
108. Chen HT, Wu HJ, Chen YJ, Ho SY, Chung YC. Effects of 8-week kettlebell training on body composition, muscle strength, pulmonary function, and chronic low-grade inflammation in elderly women with sarcopenia. *Exp Gerontol* 2018; **112**: 112-8.
109. Englund U, Littbrand H, Sondell A, Pettersson U, Bucht G. A 1-year combined weight-bearing training program is beneficial for bone mineral density and neuromuscular function in older women. *Osteoporos Int* 2005; **16**(9): 1117-23.
110. Kim H, Suzuki T, Saito K, et al. Effects of exercise and tea catechins on muscle mass, strength and walking ability in community-dwelling elderly Japanese

- sarcopenic women: a randomized controlled trial. *Geriatr Gerontol Int* 2013; **13**(2): 458-65.
111. Lichtenberg T, von Stengel S, Sieber C, Kemmler W. The Favorable Effects of a High-Intensity Resistance Training on Sarcopenia in Older Community-Dwelling Men with Osteosarcopenia: The Randomized Controlled FrOST Study. *Clin Interv Aging* 2019; **14**: 2173-86.
 112. Rhodes EC, Martin AD, Taunton JE, Donnelly M, Warren J, Elliot J. Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med* 2000; **34**(1): 18-22.
 113. Schaap LA, Koster A, Visser M. Adiposity, muscle mass, and muscle strength in relation to functional decline in older persons. *Epidemiol Rev* 2013; **35**: 51-65.
 114. Bohannon RW. Considerations and Practical Options for Measuring Muscle Strength: A Narrative Review. *Biomed Res Int* 2019; **2019**: 8194537.
 115. Schaubert KL, Bohannon RW. Reliability and validity of three strength measures obtained from community-dwelling elderly persons. *J Strength Cond Res* 2005; **19**(3): 717-20.
 116. Giampaoli S, Ferrucci L, Cecchi F, et al. Hand-grip strength predicts incident disability in non-disabled older men. *Age Ageing* 1999; **28**(3): 283-8.
 117. Rantanen T, Volpato S, Ferrucci L, Heikkinen E, Fried LP, Guralnik JM. Handgrip strength and cause-specific and total mortality in older disabled women: exploring the mechanism. *J Am Geriatr Soc* 2003; **51**(5): 636-41.
 118. Bohannon RW. Hand-grip dynamometry predicts future outcomes in aging adults. *J Geriatr Phys Ther* 2008; **31**(1): 3-10.
 119. Beaudart C, McCloskey E, Bruyere O, et al. Sarcopenia in daily practice: assessment and management. *BMC Geriatr* 2016; **16**(1): 170.
 120. Dodds RM, Syddall HE, Cooper R, et al. Grip strength across the life course: normative data from twelve British studies. *PLoS One* 2014; **9**(12): e113637.
 121. Leenders M, Verdijk LB, Van der Hoeven L, et al. Protein supplementation during resistance-type exercise training in the elderly. *Med Sci Sports Exerc* 2013; **45**(3): 542-52.
 122. Bohannon RW. Is it legitimate to characterize muscle strength using a limited number of measures? *J Strength Cond Res* 2008; **22**(1): 166-73.
 123. Ploutz-Snyder LL, Manini T, Ploutz-Snyder RJ, Wolf DA. Functionally relevant thresholds of quadriceps femoris strength. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002; **57**(4): B144-52.
 124. Samuel D, Wilson K, Martin HJ, Allen R, Sayer AA, Stokes M. Age-associated changes in hand grip and quadriceps muscle strength ratios in healthy adults. *Aging Clin Exp Res* 2012; **24**(3): 245-50.
 125. Frontera WR, Hughes VA, Fielding RA, Fiatarone MA, Evans WJ, Roubenoff R. Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *J Appl Physiol (1985)* 2000; **88**(4): 1321-6.
 126. Martin HJ, Yule V, Syddall HE, Dennison EM, Cooper C, Aihie Sayer A. Is hand-held dynamometry useful for the measurement of quadriceps strength in older people? A comparison with the gold standard Bodex dynamometry. *Gerontology* 2006; **52**(3): 154-9.

127. Bohannon RW, Magasi SR, Bubela DJ, Wang YC, Gershon RC. Grip and knee extension muscle strength reflect a common construct among adults. *Muscle Nerve* 2012; **46**(4): 555-8.
128. Murphy AJ, Wilson GJ. Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996; **73**(3-4): 353-7.
129. Rodacki ALF, Boneti Moreira N, Pitta A, et al. Is Handgrip Strength a Useful Measure to Evaluate Lower Limb Strength and Functional Performance in Older Women? *Clin Interv Aging* 2020; **15**: 1045-56.
130. Rodosky MW, Andriacchi TP, Andersson GB. The influence of chair height on lower limb mechanics during rising. *J Orthop Res* 1989; **7**(2): 266-71.
131. Skelton DA, Greig CA, Davies JM, Young A. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. *Age Ageing* 1994; **23**(5): 371-7.
132. Smith WN, Del Rossi G, Adams JB, et al. Simple equations to predict concentric lower-body muscle power in older adults using the 30-second chair-rise test: a pilot study. *Clin Interv Aging* 2010; **5**: 173-80.
133. Cruz-Jentoft AJ, Triana FC, Gomez-Cabrera MC, et al. [The emergent role of sarcopenia: Preliminary Report of the Observatory of Sarcopenia of the Spanish Society of Geriatrics and Gerontology]. *Rev Esp Geriatr Gerontol* 2011; **46**(2): 100-10.
134. Landi F, Marzetti E, Martone AM, Bernabei R, Onder G. Exercise as a remedy for sarcopenia. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2014; **17**(1): 25-31.
135. Bray NW, Smart RR, Jakobi JM, Jones GR. Exercise prescription to reverse frailty. *Appl Physiol Nutr Metab* 2016; **41**(10): 1112-6.
136. Kemmler W, von Stengel S, Engelke K, Haberle L, Mayhew JL, Kalender WA. Exercise, body composition, and functional ability: a randomized controlled trial. *Am J Prev Med* 2010; **38**(3): 279-87.
137. Borde R, Hortobagyi T, Granacher U. Dose-Response Relationships of Resistance Training in Healthy Old Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2015; **45**(12): 1693-720.
138. Cadore EL, Pinto RS, Bottaro M, Izquierdo M. Strength and endurance training prescription in healthy and frail elderly. *Aging Dis* 2014; **5**(3): 183-95.
139. Schwarzer G, Carpenter JR, Rücker G. Small-Study Effects in Meta-Analysis. In: Schwarzer G, Carpenter JR, Rücker G, eds. *Meta-Analysis with R*. Cham: Springer International Publishing; 2015: 107-41.
140. Sterne JA, Gavaghan D, Egger M. Publication and related bias in meta-analysis: power of statistical tests and prevalence in the literature. *Journal of clinical epidemiology* 2000; **53**(11): 1119-29.
141. Hughes VA, Frontera WR, Wood M, et al. Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001; **56**(5): B209-17.
142. Odgaard-Jensen J, Vist GE, Timmer A, et al. Randomisation to protect against selection bias in healthcare trials. *Cochrane Database Syst Rev* 2011; (4): MR000012.

143. Wood L, Egger M, Gluud LL, et al. Empirical evidence of bias in treatment effect estimates in controlled trials with different interventions and outcomes: meta-epidemiological study. *BMJ* 2008; **336**(7644): 601-5.
144. Bell ML, Kenward MG, Fairclough DL, Horton NJ. Differential dropout and bias in randomised controlled trials: when it matters and when it may not. *BMJ* 2013; **346**: e8668.

7. Anhang

Schlüsselwort-Kombination:

((("gait stability") OR "gait speed") OR "walking speed"[MeSH Terms]) OR "postural balance"[MeSH Terms])) OR (((("lower extremity strength") OR "leg strength") OR "lower extremity function") OR (("muscle strength"[MeSH Terms]) AND "lower extremity"[MeSH Terms]))) OR ((("muscle strength"[MeSH Terms]) AND "upper extremity"[MeSH Terms]) OR (((("arm strength") OR "upper limb strength") OR "upper extremity strength") OR "arm curl strength")) OR (("muscle strength"[MeSH Terms]) AND "upper extremity"[MeSH Terms]))) OR (((OR "agility") OR "physical mobility") OR "mobility limitation"[MeSH Terms])) OR (((((("muscle cell mass") OR "skeletal muscle mass") OR "skeletal muscle mass index") OR "sarcopenia"[MeSH Terms]) OR "muscular atrophy"[MeSH Terms])) AND (((((((("community dwelling elderly") OR "senior") OR "elderly") OR "frail") OR "geriatric") OR "older adults") OR "frailty") OR "older age")))) AND (((((((("exercise intervention") OR "physical activity level") OR "physical activity exercise") OR "physical exercise") OR "exercise therapy"[MeSH Terms]) OR "home based interventions") OR "frailty/therapy"[MeSH Terms])))

Tabelle 5: Suchbegriffe nach PICOS-Ansatz

Population	"community dwelling elderly" OR "senior" OR "elderly" OR "frail" OR "geriatric" OR "older adults" OR "frailty" OR "older age"
AND	
Outcome	"gait stability" OR "gait speed" OR "walking speed"[MeSH Terms] OR "postural balance"[MeSH Terms] OR "lower extremity strength" OR "leg strength" OR "lower extremity function" OR ("muscle strength"[MeSH Terms] AND "lower extremity"[MeSH Terms]) OR ("muscle strength"[MeSH Terms] AND "upper extremity"[MeSH Terms]) OR "arm strength" OR "upper limb strength" OR "upper extremity strength" OR "arm curl strength" OR ("muscle strength"[MeSH Terms] AND "upper extremity"[MeSH Terms]) OR "agility" OR "physical mobility" OR "mobility limitation"[MeSH Terms] OR "muscle cell mass" OR "skeletal muscle mass" OR "skeletal muscle mass index" OR "sarcopenia"[MeSH Terms] OR "muscular atrophy"[MeSH Terms]

Nur Beinkraft	„AND ("chair rise" OR "5-Times-Chair-Rise-Test" OR "30-s chair stand")”
Nur Handgriffkraft	„AND ("handgrip test" OR "grip strength" OR "handgrip")”
AND	
Intervention	"exercise intervention" OR "physical activity level" OR "physical activity exercise" OR "physical exercise" OR "exercise therapy"[MeSH Terms]) OR "home based interventions" OR "frailty/therapy"[MeSH Terms]
Study design limits	RCT und CCT; nur englische und deutsche Sprache

PEDro-skala – Deutsch

1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet)	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
5. Alle Probanden waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
6. Alle Therapeuten/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
8. Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
9. Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine ‚intention to treat‘ Methode analysiert	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:
11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome	nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> wo:

Die PEDro-Skala basiert auf der Delphi Liste, die von Verhagen und Kollegen an der Universität von Maastricht, Abteilung für Epidemiologie, entwickelt wurde (Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). Diese Liste basiert auf einem "Expertenkonsens", und größtenteils nicht auf empirischen Daten. Zwei zusätzliche Items, die nicht Teil der Delphi Liste waren, wurden in die PEDro-Skala aufgenommen (Kriterien 8 und 10). Wenn mehr empirische Daten zur Verfügung stehen, könnte es in Zukunft möglich werden, die einzelnen Items zu gewichten, so dass eine PEDro-Punktzahl die Bedeutung individueller Items widerspiegelt.

Der Zweck der PEDro-Skala ist es, Benutzern der PEDro-Datenbank dabei zu helfen, schnell festzustellen, welche der tatsächlich oder vermeintlich randomisierten kontrollierten Studien (d.h. RCTs oder CCTs), die in der PEDro-Datenbank archiviert sind, wahrscheinlich intern valide sind (Kriterien 2-9) und ausreichend statistische Information beinhalten, um ihre Ergebnisse interpretierbar zu machen (Kriterien 10-11). Ein weiteres Item (Kriterium 1), welches sich auf die externe Validität (Verallgemeinerungsfähigkeit von Ergebnissen) bezieht, wurde übernommen, um die Vollständigkeit der Delphi Liste zu gewährleisten. Dieses Kriterium wird jedoch nicht verwendet, um die PEDro-Punktzahl zu berechnen, die auf der PEDro Internetseite dargestellt wird.

Die PEDro-Skala sollte nicht als Maß für die „Validität“ der Schlussfolgerungen einer Studie verwendet werden. Insbesondere warnen wir Benutzer der PEDro-Skala, dass Studien, die einen signifikanten Behandlungseffekt anzeigen, und die hohe Punktzahlen auf der PEDro-Skala erreichen, nicht notwendigerweise den Nachweis dafür erbringen, dass die entsprechenden Behandlungen klinisch sinnvoll sind. Weiterführende Überlegungen beinhalten, ob der Behandlungseffekt groß genug gewesen ist, um lohnenswert zu sein, ob die positiven Effekte der Behandlung die negativen aufwiegen, und wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Behandlung ist. Die PEDro-Skala sollte nicht dazu verwendet werden, die „Qualität“ von Studien aus unterschiedlichen therapeutischen Bereichen zu vergleichen, und zwar hauptsächlich deswegen nicht, weil es in manchen Bereichen der physiotherapeutischen Praxis nicht möglich ist, allen Kriterien der Skala gerecht zu werden.

Die PEDro-Skala wurde zuletzt am 21. Juni 1999.

Die deutsche Übersetzung der PEDro-Skala wurde erstellt von Stefan Hegenscheidt, Angela Harth und Erwin Scherler.
Die deutsche Übersetzung wurde im April 2008 fertiggestellt und wurde im Februar 2010 geändert.

Hinweise zur Handhabung der PEDro scale:

- Für alle Kriterien **Punkte werden nur vergeben, wenn ein Kriterium eindeutig erfüllt ist.** Falls beim genauen Lesen einer Arbeit die Möglichkeit besteht, dass ein Kriterium nicht erfüllt wurde, sollte kein Punkt für dieses Kriterium vergeben werden.
- Kriterium 1 Dieses Kriterium gilt als erfüllt, wenn berichtet wird, wie die Probanden rekrutiert wurden, und wenn eine Liste mit Kriterien dargestellt wird, die genutzt wurde, um zu entscheiden, wer geeignet war an der Studie teilzunehmen.
- Kriterium 2 Wenn in einem Artikel steht, dass die Zuordnung zu den Gruppen randomisiert erfolgte, so wird dies von der Studie angenommen. Die genaue Methode der Randomisierung muss dabei nicht näher spezifiziert sein. Methoden wie Münz- oder Würfelwürfe sollten als Randomisierung angesehen werden. Quasi-randomisierte Zuordnungsverfahren wie die Zuordnung durch Krankenaktennummern im Krankenhaus, Geburtsdatum, oder alternierende Zuordnungen, erfüllen dieses Kriterium nicht.
- Kriterium 3 *Verborgene Zuordnung* bedeutet, dass die Person, die entschieden hat ob der jeweilige Proband für eine Teilnahme geeignet war oder nicht, zum Zeitpunkt dieser Entscheidung nicht wissen konnte, welcher Gruppe der jeweilige Proband zugeordnet werden würde. Für dieses Kriterium wird auch dann ein Punkt vergeben, wenn über eine verdeckte Zuordnung nicht berichtet wird, aber in dem Bericht zum Ausdruck kommt, dass die Zuordnung mit Hilfe blickdichter Briefumschläge erfolgte, oder dass die Allokation über Kontaktaufnahme mit einem unabhängigen Verwalter des Allokationsplans, der sich „nicht am Ort der Studiendurchführung“ befand oder „nicht anderweitig an der Studie beteiligt“ war, erfolgte.
- Kriterium 4 In Studien, die therapeutische Interventionen untersuchen, muss jeweils vor Beginn der Intervention mindestens eine Messung hinsichtlich des Schweregrades des zu behandelnden Zustandes, und mindestens ein anderes *zentrales Outcome* beschrieben werden (Eingangsmessungen). Der Gutachter muss ausreichend davon überzeugt sein, dass sich klinisch signifikante Unterschiede in den Gruppen-Outcomes nicht allein schon aufgrund von Unterschieden in den prognostischen Variablen zu Beginn der Studie (also zum Baseline-Zeitpunkt) erwarten ließen. Dieses Kriterium gilt auch dann als erfüllt, wenn nur Baseline-Daten für diejenigen Probanden beschrieben werden, welche bis zum Ende an der Studie teilgenommen haben.
- Kriterien 4,7-11 *Zentrale Outcomes* sind jene Outcomes, welche das primäre Maß für eine Effektivität (oder eine fehlende Effektivität) der Therapie darstellen. In den meisten Studien wird mehr als eine Variable zur Outcome-Messung verwendet.
- Kriterien 5-7 *Blindung* bedeutet, dass die betreffende Person (Proband/in, Therapeut/in oder Untersucher/in) nicht gewusst hat, welcher Gruppe der Proband zugeordnet worden ist. Außerdem wird eine Blindung von Probanden und Therapeuten nur dann als gegeben angenommen, wenn davon ausgegangen werden kann, dass sie nicht in der Lage gewesen wären, zwischen den Behandlungen, die in den verschiedenen Gruppen ausgeführt wurden, zu unterscheiden. In Studien, in denen *zentrale Outcomes* von den Probanden selbst angegeben werden (z.B. Visuelle Analog Skala oder Schmerztagebücher), gilt der Untersucher als geblendet, wenn der Proband geblendet war.
- Kriterium 8 Dieses Kriterium gilt nur dann als erfüllt, wenn die Studie *sowohl* über die Anzahl der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden, *als* auch über die Anzahl der Probanden, von denen tatsächlich zentrale Outcomes festgehalten werden konnten, Auskunft gibt. Bei Studien mit Outcome-Messungen zu mehreren Messzeitpunkten, muss mindestens ein *zentrales Outcome* bei mehr als 85% der Probanden zu einem dieser Zeitpunkte gemessen worden sein.
- Kriterium 9 Eine *Intention to treat* Analyse bedeutet, dass in den Fällen, in denen Probanden die zugeordnete Behandlung (oder Kontrollanwendung) nicht erhalten haben und in denen Ergebnismessungen möglich waren, die Messwerte so analysiert werden, als ob die Probanden die zugeordnete Behandlung (oder Kontrollanwendung) erhalten hätten. Wird eine Analyse nach der „Intention to treat“ Methode nicht erwähnt, gilt dieses Kriterium dennoch als erfüllt, falls explizit zum Ausdruck kommt, dass alle Probanden die Behandlungen oder Kontrollanwendungen wie zugeordnet erhalten haben.
- Kriterium 10 Ein *Zwischen-Gruppen-Vergleich* beinhaltet einen statistischen Vergleich einer Gruppe mit einer anderen Gruppe. Abhängig vom jeweiligen Studiendesign kann es sich dabei um den Vergleich von zwei oder mehr verschiedenen Behandlungen, oder auch um den Vergleich einer Behandlung mit einer Kontrollanwendung (z.B. Placebo-Behandlung, Nicht-Behandlung, Scheinbehandlung) handeln. Die Analyse kann als einfacher Vergleich der Outcomes zwischen den Gruppen erfolgen, die nach einer durchgeführten Behandlung gemessen wurden, oder auch als Vergleich der Veränderungen in einer Gruppe mit den Veränderungen in einer anderen Gruppe (wurde eine faktorielle Varianzanalyse durchgeführt, um die Daten zu analysieren, so wird dies im letzteren Fall häufig als eine „Gruppe x Zeit Interaktion“ berichtet). Der Vergleich kann als Hypothesentestung (die einen „p“-Wert liefert, der die Wahrscheinlichkeit dafür angibt, dass der Unterschied zwischen den Gruppen rein zufällig entstanden ist) oder als Schätzung (z.B. der Differenz des Medians oder des arithmetischen Mittels, der Unterschiede in den Prozentanteile, oder der Number Needed to Treat, oder des relativen Risikos oder der „Hazard Ratio“¹) mit einem dazugehörigen Konfidenz-Intervall durchgeführt werden.
- Kriterium 11 Ein *Punktmäß* ist ein Maß der Größe des Behandlungseffekts. Der Behandlungseffekt kann als Differenz in den Outcomes zwischen zwei Gruppen beschrieben werden, oder auch als Outcome in jeder der Gruppen. *Streuungsmaße* können seit Standardabweichungen, Standardfehler, Konfidenzintervalle, Interquartilsabstände (oder andere Quantilsabstände), und Ranges. Punktmäße und/oder Maße der Streuung können graphisch dargestellt sein (z.B. können Standardabweichungen als Balkendiagramm dargestellt werden), so lange diese Darstellungen eindeutig sind (z.B. so lange klar ist ob die Fehlerbalken Standardabweichungen oder Standardfehler darstellen). Für kategoriale Outcomes (nominal- oder ordinalskaliert) gilt dieses Kriterium als erfüllt, wenn die Anzahl der Probanden für jede Kategorie in jeder Gruppe angegeben ist.

¹ Der Begriff Hazard Ratio („Risikostratifizierungsquotient“) wird auch in der deutschen mehrteiligen Fachliteratur verwendet. Die Hazard Ratio ist der Quotient aus den Eintrittswahrscheinlichkeiten (Häufigkeiten) in den zu vergleichenden Gruppen.

Die PEDro-Skala wurde zuletzt am 21. Juni 1999.

Die deutsche Übersetzung der PEDro-Skala wurde erstellt von Stefan Hegenscheidt, Angela Harth und Erwin Scherler.
Die deutsche Übersetzung wurde im April 2008 fertiggestellt und wurde im Februar 2010 geändert.

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderung der Muskelkraft mit dem Alter modifiziert nach EWGSOP2.	13
Abbildung 2: Klinischer Leitfaden zur Diagnostik einer Sarkopenie modifiziert nach EWGSOP2.	16
Abbildung 3: Grenzwerte für die Sarkopenie-Diagnostik modifiziert nach EWGSOP2.	18
Abbildung 4: PRISMA-Flussdiagramm für die Literaturrecherche zur Beinkraft modifiziert nach PRISMA-Statement.	24
Abbildung 5: PRISMA-Flussdiagramm für die Literaturrecherche zur Handgriffkraft modifiziert nach PRISMA-Statement.	26
Abbildung 6: Bias-Risiko der Studiengesamtheit anhand der PEDro-Skala.	53
Abbildung 7: Funnel-Plot der Effektgrößenschätzungen von Trainingsinterventionen auf die Beinkraft bei älteren Menschen gegen den Standardfehler.	54
Abbildung 8: Funnel-Plot der Effektgrößenschätzungen von Trainingsinterventionen auf die Handgriffkraft bei älteren Menschen gegen den Standardfehler.	55
Abbildung 9: Charakteristik der Interventionsansätze der jeweiligen Studienkollektive.	57
Abbildung 10: Effektstärken von Trainingsinterventionen auf die Beinkraft bei älteren Menschen. Forest-Plot der SMD-Werte mit 95%-KI.	60
Abbildung 11: Effektstärken von Trainingsinterventionen auf die Handgriffkraft bei älteren Menschen. Forest-Plot der SMD-Werte mit 95%-KI.	62
Abbildung 12: Säulendiagramm der mittleren SMD-Werte der einzelnen Trainingsinterventionen zur Beinkraft.	63
Abbildung 13: Säulendiagramm der mittleren SMD-Werte der einzelnen Trainingsinterventionen zur Handgriffkraft.	64
Abbildung 14: Punktdiagramm der SMD-Werte der einzelnen Studien zur Beinkraft unter Angabe der Studienpopulationsgröße und des SMD-Mittelwertes.	71

Abbildung 15: Punktdiagramm der SMD-Werte der einzelnen Studien zur Handgriffkraft unter Angabe der Studienpopulationsgröße und des SMD-Mittelwertes. 72

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Merkmale der eingeschlossenen Studien zur Beinkraft	34
Tabelle 2: Merkmale der eingeschlossenen Studien zur Handgriffkraft	41
Tabelle 3: Physiotherapy Evidence Database (PEDro)-Wert der eingeschlossenen Studien zur Beinkraft	47
Tabelle 4: Physiotherapy Evidence Database (PEDro)-Wert der eingeschlossenen Studien zur Handgriffkraft	50

8. Vorabveröffentlichung von Ergebnissen

Bis zum jetzigen Zeitpunkt kam es zu keiner Vorabveröffentlichung von Ergebnissen.